OPORTUNIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS POR TIPO DE SERVIÇO LOGÍSTICO

Leandro Rocha Barros

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Agosto de 2021

OPORTUNIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS POR TIPO DE SERVIÇO LOGÍSTICO

Leandro Rocha Barros

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Aprovada por: Prof. Márcio de Almeida D'Agosto
Profª. Andréa Souza Santos
Prof. Lino Guimarães Marujo

.

RIO DE JANEIRO – RJ, BRASIL

AGOSTO DE 2021

Barros, Leandro Rocha

Oportunidades de implementação de veículos elétricos por tipo de serviço logístico/ Leandro Rocha Barros. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XIV, 157 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 141-157.

1. Veículos elétricos. 2. Transporte de cargas. 3. Serviços logísticos. I. D'Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Sílvia, ao meu pai, Sérgio, e à minha avó, Lúcia, que sempre fizeram tudo que lhes foi possível para que eu atingisse todos os meus objetivos e pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus e a Nossa Senhora, que me deram forças para concluir este trabalho, principalmente devido ao complicado momento que estamos vivendo.

Ao professor Márcio D'Agosto, meu orientador, que desde o início do Mestrado me acompanhou no desempenho das minhas atividades, sempre me mostrando o melhor caminho para desenvolvê-las.

À professora Andréa e ao professor Lino, por terem aceitado serem membros da banca de defesa deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, por todo conhecimento transmitido.

Aos meus amigos de Mestrado, Juliana, Sérgio, César, Dario, Vinícius, Isabella e todos os demais pelos bons momentos vividos durante minha trajetória no Mestrado e todas as trocas de conhecimentos que tivemos.

À Jane e à dona Helena, que sempre que precisei resolver alguma situação, estiveram prontas para me ajudar.

Ao meu amigo Affonso Caiazzo, engenheiro elétrico, que por desenvolver sua dissertação em tema bastante próximo ao meu, trocou valiosas ideias comigo.

Aos professores da UFF que me auxiliaram logo no início desta jornada com suas cartas de recomendação, sobretudo ao professor Levi, meu orientador na graduação, que despertou em mim a vontade de estudar e trabalhar em algo relacionado a transportes.

Aos meus demais amigos e familiares, que sempre torceram pelo meu sucesso.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida a mim e aos outros estudantes de Mestrado e Doutorado, nos incentivando a cada vez mais desenvolver a pesquisa científica no Brasil e obtermos as respostas para questões fundamentais ao desenvolvimento do país.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

OPORTUNIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS POR TIPO DE SERVIÇO LOGÍSTICO

Leandro Rocha Barros

Agosto/2021

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

O transporte de cargas é essencial para o cotidiano da sociedade e representa um importante fator de crescimento social e econômico. Com o seu crescimento, a demanda de energia também aumentou, porém não houve a preocupação das empresas quanto à utilização de energias limpas e os combustíveis fósseis predominaram, levando a aumentos consideráveis nas emissões de gases de efeito estufa e nas poluições atmosférica e sonora. Nesse cenário, os veículos elétricos surgem como uma oportunidade para contribuir no processo de descarbonização do setor devido às suas inúmeras vantagens, como a ausência de emissões durante sua utilização, benefício expandido se a eletricidade originar de fontes renováveis; ruídos quase inaudíveis; menores custos operacionais; maior eficiência energética; maior facilidade na condução por possuírem sistema de marcha automática, entre outras. Porém, a participação dos veículos elétricos no transporte de cargas ainda é pequena se comparada ao transporte público, e principalmente aos veículos particulares; e por ser uma nova tecnologia, ainda apresenta desafios para o seu crescimento. Os principais são o desconhecimento das empresas sobre essa força motriz e seus benefícios ambientais; altos custos de aquisição; baixa autonomia; a recarga possui alto tempo de duração e a infraestrutura é insuficiente para esta atividade; autodescarga ou resistência interna da bateria elevadas em temperaturas extremas; e baixos níveis de mercado de segunda mão para as baterias e os veículos. Esta dissertação propõe medidas e ações para solucionar estes entraves, bem como políticas públicas que possam viabilizar o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

OPPORTUNITIES FOR ELECTRIC VEHICLES IMPLEMENTATION BY LOGISTICS SERVICES TYPE

Leandro Rocha Barros

August/2021

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

Freight transportation is essential to society's daily life and represents an important social and economic growth factor. With its growth, energy demand also increased, but companies were not concerned about the clean energy use and fossil fuels predominated, leading to considerable increases in greenhouse gas emissions and air and noise pollution. In this scenario, electric vehicles emerge as an opportunity to contribute to the sector's decarbonization process due to its countless advantages, such as emissions' absence during its use, expanded benefit if electricity originates from renewable sources; barely audible noises; lower operational costs; higher energy efficiency; higher easiness in driving as they have an automatic gear system, among others. However, the participation of electric vehicles in freight transportation is still small compared to public transportation, and mainly to private vehicles; and as it is a new technology, it still presents challenges to its growth. The main ones are companies' unfamiliarity about this engine force and its environmental benefits; high acquisition costs; low range; recharging has long duration and the infrastructure is insufficient for this activity; high battery self-discharge or internal resistance at extreme temperatures; and low levels of second-hand market for batteries and vehicles. This master's degree work proposes measures and actions to solve these obstacles, as well as public policies that can enable the electric vehicles growth in freight transportation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO…….. 1
1.1 Contextualização sobre o tema da pesquisa..... 3
1.1.1 Fatores econômicos..... 5
1.1.2 Fatores sociais..... 7
1.1.3 Fatores ambientais..... 8
1.2 Problema de pesquisa..... 10
1.3 Objetivos geral e específicos..... 14
1.4 Justificativa.....15
1.5 Metodologia..... 17
1.6 Estrutura..... 20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA…… 21
2.1 Histórico dos veículos elétricos..... 21
2.1.1 Um pouco da experiência internacional.....21
2.1.2 Brasil..... 26
2.2 O transporte de carga no Brasil..... 27
2.2.1 Frota..... 27
2.2.2 Fontes de energia utilizadas..... 28
2.2.3 Poluentes atmosféricos e GEE..... 31
2.2.3.1 Materiais particulados (MP)..... 31
2.2.3.2 Óxidos de nitrogênio (NOx) e demais poluentes atmosféricos..... 33
2.3 Tipos de veículos elétricos..... 35
2.3.1 Híbridos (HEVs)..... 36
2.3.1.1 Veículos híbridos serial-paralelos..... 37
2.3.1.2 Veículos híbridos em série..... 38
2.3.1.3 Veículos híbridos em paralelo..... 38
2.3.2 Veículos elétricos a bateria (BEVs)..... 38
2.3.3 A célula-combustível (FCEVs)..... 39
2.3.4 Alimentados diretamente pela rede elétrica..... 41
2.4 Baterias..... 42
2.4.1 Parâmetros das baterias..... 43
2.4.1.1 Vida útil..... 43
2.4.1.2 Tempo de recarga..... 44
2.4.1.3 Densidade energética..... 44
2.4.1.4 Energia específica..... 45
2.4.2 Tipos de bateria..... 45
2.4.2.1 Baterias de íon de lítio..... 45
2.4.2.2 Baterias de chumbo-ácido..... 53
2.4.2.3 Baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH)..... 54
2.4.2.4 Baterias Zebra..... 54
2.5 Incentivos, investimentos e projetos realizados pelo mundo..... 54
2.6 Análise dos modelos de veículos elétricos de carga no mercado.....64
3. IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS POR TIPO DE SERVIÇO……...……75
3.1 Entregas urbanas..... 75
3.2 Entregas em domicílio..... 78
3.3 Longa distância (*Long-haul*)..... 83
3.4 Serviços auxiliares..... 87
3.4.1 Coleta de lixo.....87

3.4.2 Entrega de correspondências..... 90
4. PROPOSTAS PARA A AMPLIAÇÃO DO USO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE DE CARGAS…….. 94
4.1 Soluções de apoio à geração de energia limpa..... 95
4.2 Esquemas operacionais.....98
4.2.1 Desconsolidação de carga..... 98
4.2.2 Frotas mistas……..…… 99
4.2.3 *Last mile* (última milha)..... 99
4.2.4 Terceirização dos serviços..... 100
4.2.5 Entregas noturnas.....101
4.3 Propostas de soluções para as barreiras ao crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas..... 101
4.3.1 Recarga dos veículos elétricos..... 101
4.3.1.1 Tipos e capacidade das estações de recarga..... 104
4.3.1.2 Localização das estações de recarga..... 107
4.3.2 Custos de aquisição..... 108
4.3.3 Desconhecimento dos usuários..... 109
4.3.4 Autonomia..... 112
4.3.5 Mercado de segunda mão..... 113
4.3.5.1 Pirometalurgia..... 120
4.3.5.2 Hidrometalurgia..... 122
4.3.5.3 Reciclagem direta..... 123
4.3.6 Temperaturas extremas.....124
4.4 Políticas públicas de incentivo sugeridas..... 130
5. CONCLUSÃO……. 135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS……. 141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Metodologia de pesquisa 20
Figura 2: Modelo Electruck 24
Figura 3: Modelo Gurgel Itaipu E-400 26
Figura 4: Exemplo de caminhão *trolley* 42
Figura 5: Piscinas utilizadas no processo de extração do lítio 49
Figura 6: Terminal de transbordo da cidade de Barcelona 64
Figura 7: Demanda de energia necessária para as entregas em domicílio 79
Figura 8: Técnica IPT para entregas de longa distância 86
Figura 9: Demanda de energia diária para o sistema OnC 88
Figura 10: Triciclos elétricos utilizados pelos Correios 91
Figura 11: Sistemas fotovoltaicos *on grid* e *off grid* de geração de energia elétrica 97
Figura 12: Sistema de produção de eletricidade pela energia das ondas 97
Figura 13: Exemplo de carregador nível 1 - SAE J1772 104
Figura 14: Exemplo de carregador nível 2 105
Figura 15: Modelo de *DC Fast Charger* utilizado nos EUA 106
Figura 16: Tipos de geometria das células - a) cilíndrica, b) prismática e c) em bolsa. 115
Figura 17: Dissipador de calor paralelo para as baterias 126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Emissões de CO_2 do setor de transportes em 2016 12
Tabela 2: Frota brasileira que tem como uma das funções realizar o transporte de cargas em julho de 2021 27
Tabela 3: Estados brasileiros com maior capacidade instalada das energias eólica e solar 30
Tabela 4: Classificação dos materiais particulados 32
Tabela 5: Demais poluentes emitidos pelos veículos 34
Tabela 6: Maiores produtores mundiais dos materiais das LIBs 47
Tabela 7: Incentivos financeiros e investimentos em infraestrutura pelo mundo 58
Tabela 8: Dados técnicos de veículos elétricos utilizados atualmente para o transporte de cargas 74
Tabela 9: Serviços de transporte de carga e suas especificações 92
Tabela 10: Benefícios técnicos e/ou econômicos das propostas para promover o crescimento dos VEs no transporte de cargas 127

SIGLAS

A - Ampère

BEV – *battery electric vehicle*, veículo elétrico a bateria

BMS – *battery management system*, sistema de gerenciamento de bateria

B2B – *business-to-business*

B2C- *business-to-consumer*

CDU – centro de distribuição urbano

CO – monóxido de carbono

CO_2 – dióxido de carbono (gás carbônico)

CoM – *charge-on-the-move*

COS – *charge-on-the-stop*

COSP – *charge-on-the-stop points*

COV – composto orgânico volátil

cv – cavalo-vapor

DM – depósito móvel

ENCLOSE - *Energy Efficiency in City Logistics for Small and Mid-Sized European Historic Towns*

FCEV – *Fuel cell electric vehicle*

FMC - fumaça

g CO_2/km – gramas de dióxido de carbono por quilômetro

GEE – gases de efeito estufa

GW – gigawatt

GWh – gigawatt-hora

h – hora

HC - hidrocarboneto

HEV – *hybrid electric vehicle*, veículo elétrico híbrido

IPT – *Inductive power transfer*

IPVA – imposto sobre a propriedade de veículos automotores

JIT – *just-in-time*

kg – quilograma

kg/kWh – quilograma por quilowatt-hora

kgfm – quilograma-força metro

km - quilômetro

km/h – quilômetro por hora

kW - quilowatt

kWh – quilowatt-hora

kWh/kg – quilowatt-hora por quilograma

kWh/km – quilowatt-hora por quilômetro

LEZ – *less emission zone*, zona de baixa emissão

LFP – *lithium iron phosphate*, fosfato de lítio-ferro

LIB – *lithium-ion battery*, bateria de íon de lítio

$LiPF_6$ – hexafluorosfato de lítio

Li_2CO_3 – carbonato de lítio

m – metro

m^2 - metro quadrado

m^3 - metro cúbico

MCI – motor a combustão interna

mm - milímetro

MP – material particulado

$MP_{2,5}$ – partículas inaláveis finas

MP_{10} – partículas inaláveis

MW – megawatt

MWh – megawatt-hora

NCA – *lithium nickel cobalt aluminium oxide*, óxido de lítio níquel cobalto alumínio

NiMH – *nickel metal hydride*, níquel-hidreto metálico

Nm – Newton-metro

NMC – *lithium nickel manganese cobalt oxide*, óxido de lítio níquel manganês cobalto

NOx – óxido de nitrogênio

O_3 - ozônio

O&M – *operation and maintenance*, operação e manutenção

OEM – *original equipment manufacturer*, fabricante do equipamento original

OMS – Organização Mundial da Saúde

OnC – *overnight charging*

PEV - *plug-in electric vehicle*

PHEV – *plug-in hybrid electric vehicle*, veículo elétrico híbrido *plug-in*

PIB – Produto Interno Bruto

ppm – partes por milhão

PTS – partículas totais em suspensão

PVDF – *polyvinylidene fluoride,* fluoreto de polivinilideno

RCHO - aldeído

R$ - real

SoC – *state of charge*, estado de carga

SoH – *state of health*

SOx – óxido de enxofre

SUV – *sport utility vehicle,* veículo utilitário esportivo

t – tonelada

t/km – tonelada por quilômetro

TCO – *total cost of ownership*, custo total de propriedade

TTW – *Tank-to-wheel*

UE – União Europeia

US$ - dólar

US$/kWh – dólar por quilowatt

V - volt

VE – veículo elétrico

VLCE – veículo leve de carga elétrica

VPS – *vision position sensor,* sensor de posição de visão

V2G – *vehicle-to-grid*

W/l – watt por litro

Wh/kg – watt-hora por quilograma

Wh/l – watt-hora por litro

WTT – *well-to-tank*

WTW – *well-to-wheel*

€ - euro

¥ - iene

£ - libra

µm – micrômetro

1. INTRODUÇÃO

Com a urbanização, a globalização, o crescimento populacional, a densidade habitacional e o desenvolvimento cada vez maior das grandes cidades por todo o mundo, e o crescimento em larga escala do comércio eletrônico nos últimos anos, deu-se por consequência a expansão da circulação de veículos e bens nas vias urbanas, e o transporte de cargas se tornou cada vez mais um suporte vital para atender às necessidades da população e promover o desenvolvimento social e econômico dos países, sendo um fator de grande importância no PIB (Produto Interno Bruto) das nações, e levou também a um grande aumento na demanda de energia.

Todavia, tal crescimento não foi acompanhado de um desenvolvimento sustentável e as emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa (GEE) atingiram valores alarmantes, o que levou à preocupação global sobre suas consequências para o planeta, sendo as principais delas as mudanças climáticas e a maior ocorrência de eventos climáticos extremos, como furacões, tempestades e desertificações em decorrência do aquecimento global. De acordo com Mirhedayatian e Yan (2018), para ocorrer a estabilização climática é necessária uma mudança para frotas predominantemente compostas por veículos elétricos até o período entre os anos de 2040 e 2050. Segundo Vaz *et al*. (2015), um dos motivos que levou a esta situação é a predominância do modo rodoviário para o transporte de cargas, com 67% de todo o volume no Brasil, fato ainda agravado pelos constantes congestionamentos de tráfego que provocam. Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas e este número tende a crescer para 68% em 2050 (EHRLER *et al*., 2019).

Devido a este contexto, é cada vez mais essencial promover o desenvolvimento sustentável, e os administradores públicos têm o difícil desafio de desenvolver políticas públicas para implantá-lo no transporte urbano de cargas, proporcionando concomitantemente que os sistemas de distribuição de bens atendam com eficiência às necessidades dos cidadãos, que todos os resíduos decorrentes do processo tenham um descarte adequado, garantir a mobilidade urbana e serem lucrativos para os diversos agentes envolvidos no negócio, tendo como principal objetivo atingir o equilíbrio entre o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável.

Tratados internacionais sobre mudanças climáticas, como o Protocolo de Kyoto,

promulgado em 1992, e mais recentemente, o Acordo de Paris, cuja promulgação ocorreu em 2015, estipularam um limite de toneladas de carbono que os países podem emitir na atmosfera, dessa forma cada um deles precisa definir um limite de emissões de GEE por cada setor, como industrial e de transportes, sendo o segundo o único que vem aumentando seus níveis de emissões desde 1990 (KAWAKAMI *et al*., 2018). O Acordo de Paris estabeleceu parâmetros que se seguidos ajudariam a limitar o aquecimento da temperatura global até o final do século em no máximo 2º C (FGV, 2017), e de preferência limitar a 1,5º C (MCTI, 2018). De acordo com Sovacool *et al*. (2019), para haver uma chance de 66% do aumento da temperatura global ficar abaixo de 2º C, as emissões de carbono relacionadas ao uso de energia devem cair 70% até 2055 comparadas aos níveis de 2020, o que exigiria grandes esforços, como triplicar a taxa anual de melhoria da eficiência energética. Neste contexto, o dióxido de carbono é responsável por quase 83% das emissões de GEE do transporte rodoviário no mundo (ZHAO *et al*., 2019).

Avanços nesse objetivo já são claramente percebidos, como na tendência da substituição dos combustíveis fósseis pela eletricidade na área da mobilidade, que vem ocorrendo de forma lenta, porém contínua. Segundo Talebian *et al*. (2018), a eletrificação pode resultar numa redução das emissões de GEE e da contaminação do ar em larga escala se a energia for gerada a partir de fontes renováveis ou se as instalações de produção estiverem equipadas com tecnologias de captura de carbono, fato que deve ser considerado, já que Juan *et al*. (2016) demonstraram que o setor de transportes representa mais de 25% do total do consumo mundial de energia, e de acordo com Fiori e Marzano (2018), em 2014, apenas cerca de 27% do consumo total de fontes renováveis foram nos transportes. Segundo Huda *et al*. (2018), a Agência Internacional de Energia (IEA) demonstrou que a participação dos veículos elétricos em cerca de 40% do crescimento das vendas reduziria a concentração de GEE em aproximadamente 450 ppm.

Nesse contexto, a eletrificação do transporte rodoviário vem surgindo como a principal alternativa para melhorar a eficiência energética e reduzir a emissão de poluentes atmosféricos e de GEE e a poluição sonora, tendo sido vendidos 2 milhões de veículos elétricos no mundo em 2016 (KAWAKAMI *et al*., 2018), valor em ascensão, mas ainda bem abaixo do ideal. A frota atual de VEs no mundo é dominada pela China, que possui

40% dos VEs globais (aproximadamente 3,1 milhões), seguida pelos EUA, com 24%, Japão, com 7% e Noruega, com 6% (VOLAN *et al.*, 2019). Porém, uma pegada ecológica discreta no ambiente urbano é feita pelo transporte de mercadorias, já que os estudos e pesquisas sobre a eletrificação do transporte urbano de cargas ficaram relegados a terceiro plano em comparação com os veículos elétricos destinados ao transporte público e principalmente com os carros particulares, já apresentando em ambos grandes impactos no planejamento de transportes e formulação de políticas públicas.

Segundo Ehrler *et al*. (2020), muitos países ainda não implementaram políticas e medidas de apoio para substituir o transporte urbano de cargas de veículos convencionais por elétricos, apenas algumas empresas individualmente estão implementando os VEs em suas frotas, e ainda enfrentam a dificuldade da oferta limitada de veículos, já que a maioria das opções de modelos de VEs atuais são carros pequenos ou veículos destinados a aplicações específicas, como tratores. Além disso, os efeitos negativos dos transportes dificilmente são levados em consideração no desenvolvimento das atuais políticas de planejamento das cidades e estratégias logísticas. Com isso, o objetivo deste trabalho será demonstrar quais os desafios ainda existentes para o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas e propor soluções e políticas públicas para resolver estes entraves.

1.1 Contextualização sobre o tema da pesquisa

Historicamente, os veículos rodoviários são movidos por um motor a combustão interna que geram energia mecânica, queimando na câmara de combustão um combustível líquido, mais frequentemente gasolina ou diesel, e geram gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos expelidos pelo escapamento, principalmente nos momentos de partida do motor e aceleração. Também produzem poluição sonora, que no caso de operações específicas, como os coletores de lixo, pode levá-los a perda parcial ou total da audição com o decorrer do tempo, além do fato da maior parte deste serviço ser realizada no período noturno, horário em que há a exigência de silêncio.

Com a busca cada vez maior pelo desenvolvimento sustentável, os veículos elétricos surgem como alternativa, com seu sistema apresentando maior eficiência, que corresponde ao percentual de energia elétrica transformado em energia útil para o

veículo, entre 59 a 62%, valor calculado pela multiplicação da eficiência da bateria e do carregador (90% cada), e do motor elétrico (entre 72,4% a 76,2%), esta última já ajustada para perdas no inversor, transmissão e sistemas auxiliares (VAZ *et al*., 2015). A eficiência do motor elétrico sem considerar essas perdas também é de cerca de 90%, e do motor a combustão interna, de 40% (BARAN e LEGEY, 2011). O valor da eficiência de um veículo a combustão interna é aproximadamente 35% (TANCO *et al*., 2019), e além do motor, também perdem energia na transmissão.

De acordo com Wang e Thoben (2017), quando os motores a combustão interna convertem energia química em energia mecânica, eles perdem mais de 50% de energia em atrito, bombeamento de ar e calor desperdiçado. Segundo Yuksel e Michalek (2015), os VEs possuem alta eficiência de recarga, de aproximadamente 87%, que representa a eficiência do carregador mais a do equipamento de recarga do VE, ou seja, a taxa de energia fornecida pela rede que pode ser carregada na bateria, sem considerar perdas que possam ocorrer entre o carregador e a bateria, valor esse que pode variar de acordo com o tipo e nível das estações de recarga. Segundo Vaz *et al*. (2015), considerando essas possíveis perdas, a eficiência do sistema carregador e bateria seria estimada em 81% (90% cada).

Além disso, não emitem poluentes atmosféricos pelo tubo de escape; emitem ruídos praticamente imperceptíveis, e por isso são adequados para entregas noturnas, aumentando sua flexibilidade operacional; apresentam menores custos operacionais, que possuem um papel crucial nos transportes de carga, já que percorrem maiores quilometragens anuais, fato que pode ajudar na expansão dos veículos elétricos, de seguro e de manutenção, este último de 20 a 30% (QUAK *et al*., 2016a; MARGARITIS *et al*., 2016; EHRLER *et al*., 2019), quando não inclui a substituição de peças e especialmente da bateria, já que esta, o motor e a eletrônica apresentam poucos problemas, o que aumenta a confiabilidade nesses veículos e sua vida útil, além do motor possuir um número bastante inferior de peças móveis de rotação sujeitas a desgaste, entre 20 a 30 contra 130 a 170 dos motores a combustão (MONIOS E BERQVIST, 2019), o que facilita o processo; o motor e o sistema de transmissão, que possui apenas uma engrenagem, são menores e mais leves; não necessitam da substituição de filtros e fluidos operacionais; não consomem energia quando parados no trânsito e sua aceleração é mais rápida devido à maior eficiência energética, ao

deslocamento suave dos motores elétricos e a pneus menos resistentes ao rolamento (NICOLAIDES *et al*., 2018b), além de ser perfeitamente linear e sem solavancos; apresentam menores consumo e custo com energia por quilômetro percorrido devido a *powertrains* mais eficientes, sendo a energia elétrica necessária para recarregar as baterias em média seis vezes mais barata que o combustível dos veículos a combustão interna (KIJEWSKA *et al*., 2019), e existe a tendência de reduzirem ainda mais nos próximos anos; seu sistema de direção elétrica exige menos potência do motor, o que reduz o consumo de energia dos veículos, aumentando a eficiência energética em cerca de 85%, é mais confortável, permite maior variação na assistência da condução conforme a velocidade e requer menos manutenções (DIAS E RODRIGUEZ, 2018); são mais fáceis e confortáveis de serem conduzidos devido a não possuírem sistema de embreagem, sendo assim veículos de marcha automática; e apresentam valor de torque elevado e constante em qualquer faixa de rotação do motor, o que proporciona um menor consumo de energia comparado aos veículos convencionais em terrenos acidentados (MA *et al*., 2019).

Fatores econômicos, sociais e ambientais são avaliados para a viabilização do crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas brasileiro.

1.1.1 Fatores econômicos

O fator econômico mais importante são os denominados custos totais de propriedade (TCO), que Wang e Thoben (2017) definiram como uma ferramenta de compra e filosofia que visa entender o verdadeiro custo de comprar um determinado bem ou serviço de um determinado fornecedor.

Tanco *et al*. (2019) demonstraram que os TCO analisam todos os custos incorridos durante o ciclo de vida de um veículo, fornecendo uma ferramenta adicional para a tomada de decisão de possíveis compradores. Para os veículos elétricos, os TCO incluem os custos de investimento (preço de compra e infraestruturas), operacionais (custos de eletricidade, manutenção e reparo), custos de propriedade (custos de seguro, licença, registro, depreciação, encargos e impostos sobre veículos) e de segunda mão (descarte e reciclagem ou outro processo para baterias e veículos em fim de vida útil). Os custos de investimento e de propriedade são os custos fixos dos veículos e os operacionais, os custos variáveis. Os proprietários de frotas são significativamente mais

sensíveis ao TCO em relação ao mercado de veículos particulares e utilizam o período de retorno como critério para tomar uma decisão de compra, tendo como fator chave de competitividade a utilização dos veículos, na qual os custos operacionais devem ter uma economia significativamente alta para compensar os altos custos de aquisição. A alta utilização dos VEs destinados ao transporte de cargas pode tornar o período de retorno destes menor que de carros elétricos particulares (HOEKSTRA, 2019). As empresas devem obter uma taxa de retorno superior ao custo de capital investido, que corresponde ao total de recursos, próprios ou de terceiros, que financiam as necessidades em longo prazo das empresas, para obter assim um aumento no seu valor de mercado (PRATES, 2016).

Em relação ao transporte, os custos totais de propriedade referem-se aos custos dos veículos, dos tempos de jornada, das instalações rodoviárias, dos estacionamentos, dos congestionamentos, dos pagamentos de tráfego e ambientais. Os veículos apresentam como custos externos possíveis acidentes, que também devem ser analisados de forma social; as instalações rodoviárias, o desgaste que sofrem devido à utilização e às intempéries; os custos ambientais, os ruídos, a poluição atmosférica, as emissões de GEE, a intrusão visual, as mudanças climáticas e perdas de biodiversidade. As externalidades que mais influenciam nos custos do transporte de carga são os acidentes, seguidos pelas mudanças climáticas, empatadas com os congestionamentos (FOLTYNSKI, 2014). Cada externalidade deve ser adequadamente precificada para a definição de pagamentos adequados nas políticas de transporte. São prejudiciais à economia dos países, como na região da União Europeia, onde representam cerca de 8,5% do PIB (JUAN *et al*., 2016).

Kampker *et al*. (2018) definiram três etapas sequenciais para calcular o TCO. Na primeira, através das condições de condução, dos parâmetros físicos do veículo e das empresas desenvolvedoras, cálculos são realizados, é configurado o *powertrain* do veículo, definindo seus parâmetros para um modelo elétrico que atenda o serviço utilizado, e previsto o consumo de energia necessário. Taefi *et al*. (2017) demonstraram que uma dificuldade ainda existente é que dados realistas sobre o consumo de energia de veículos elétricos de carga são escassos, por isso estes valores são estimados em testes de laboratório baseados em dados de limite de velocidade impostos pelos fabricantes, ou calculados aplicando o planejamento de horários, paradas para recarga,

distâncias percorridas, inclinação das pistas e ciclos de condução da vida real, este segundo mais adequado. Para Wang e Thoben (2016), os modernos conceitos de *Internet of Things* (IoT) e Indústria 4.0 são essenciais para coletar dados do consumo de energia dos veículos em tempo real, nos mais variados ciclos de condução, e auxiliarão os agentes diretamente relacionados à logística urbana e os fabricantes dos veículos. Na segunda, são analisadas as taxas de juros, depreciação e os preços do combustível e eletricidade, e estes são testados nos mais diversos cenários, através de iterações e ajustes, para estimar o valor futuro do TCO. Na terceira, por meio da quilometragem e da vida útil esperadas, é definido o tipo de força motriz a ser utilizado, se elétrico ou convencional.

De acordo com Feng e Figliozzi (2012), à medida que os veículos envelhecem, seus custos operacionais e de manutenção por quilômetro percorrido aumentam e sua autonomia e valor residual diminuem, causando prejuízos para o TCO. Esses valores variam de acordo com o modelo do veículo. Quando os custos de O&M atingem níveis altos, pode ser rentável substituir os veículos, já que a economia destes custos pode compensar o alto custo de capital na compra de novos veículos. O mesmo raciocínio vale para as substituições de baterias, que devido ao seu alto percentual no preço de aquisição de um veículo elétrico, tem seu valor residual computado de forma separada.

1.1.2 Fatores sociais

Como fatores sociais, deve-se discorrer sobre os ruídos e a poluição atmosférica. Os ruídos, quando frequentemente elevados, podem ocasionar problemas na saúde dos trabalhadores, como estresse, depressão, surdez, entre outras doenças (SBO, 2014), principalmente àqueles que estão mais sujeitos em suas tarefas, como os coletores de lixo. Os veículos elétricos evitam essas doenças, porém, para Ehrler e Hebes (2012) e Wang e Thoben (2017), podem ocasionar problemas de segurança, já que os motores elétricos são tão silenciosos, principalmente quando trafegam em velocidades baixas, que os pedestres e outros motoristas têm dificuldade em ouvi-los se aproximando, o que pode provocar acidentes e consequentes congestionamentos nas rodovias urbanas. Já os poluentes atmosféricos podem levar ao surgimento de doenças pulmonares, cardiorrespiratórias, câncer e males de Alzheimer e Parkinson (SOCESP, 2020).

De acordo com Wang e Thoben (2016), além da saúde humana, outros parâmetros

relacionados às dimensões sociais dos transportes são a equidade, educação, comunidade, acessibilidade e participação pública. Entre esses parâmetros, o mais estudado pelos pesquisadores da área de transportes é a acessibilidade, que no ramo do transporte de cargas, se refere à capacidade dos bens de alcançar os serviços e destinos necessários.

1.1.3 Fatores ambientais

Quanto aos fatores ambientais, três abordagens para o consumo de energia e para as emissões de GEE são estudadas: WTT (*Well-to-tank*), que corresponde à etapa desde a produção da energia elétrica até o seu fornecimento para o usuário nas estações de recarga, TTW (*Tank-to-wheel*), correspondente ao intervalo em que os veículos são recarregados na rede elétrica até o seu consumo durante as jornadas, e a WTW (*Well-to-Wheel*), que corresponde à soma das duas primeiras abordagens. É importante observar que é menos eficaz os veículos elétricos não emitirem gases de efeito estufa durante suas jornadas de trabalho se durante a produção da energia elétrica houver emissões de GEE, sendo fundamental a utilização de fontes renováveis na origem da eletricidade. Wang e Thoben (2016) descreveram a norma europeia EN 16258, que através de uma metodologia de cálculo após a declaração do consumo de energia, obtém as emissões de GEE, inclusive na armazenagem e manuseio das mercadorias, com o objetivo de determinar seus prejuízos ao meio ambiente e buscar maneiras para reduzi-los. Para facilitar esse cálculo, converte-se diferentes unidades de consumo de energia e emissões de GEE para megajoule (MJ) e quilograma equivalente de CO_2 ($kgCO_2eq$), respectivamente.

Uma das formas de avaliar o consumo de energia é considerá-lo como um parâmetro acumulativo, realizando a sua soma ao final de cada ano. O consumo de energia anual é avaliado de acordo com o peso transportado, o tamanho e a massa do veículo e a distância percorrida, e visa obter as economias de eletricidade por t/km comparada aos anos anteriores e de custos operacionais comparados a veículos a combustão interna de mesma carga útil, utilizando como importante valor nessa avaliação o preço da eletricidade por t/km no ano de análise. Além disso, a economia de eletricidade pode ser calculada baseada na estimativa de energia necessária, utilizando dados nessa avaliação como o coeficiente de arrasto aerodinâmico, a resistência ao rolamento e as acelerações.

Para Luna *et al*. (2019), é essencial que os consumidores saibam qual a origem da produção da energia elétrica, pois além da desconfiança ainda existente quanto à nova tecnologia dos VEs, ao alto custo de aquisição, entre outras barreiras ao crescimento dos veículos elétricos, não conhecer a fonte energética da qual se origina a eletricidade pode levá-los a pensar que estão apenas substituindo a fonte causadora da poluição atmosférica. De acordo com Yuksel e Michalek (2015), é de grande importância computar no ciclo de vida também a necessidade de não haver emissões durante o fornecimento das matérias-primas, que junto à produção de eletricidade, constituem a etapa de cadeia de suprimentos.

Outro problema ambiental enfrentado é a falta de um mercado de segunda mão para as baterias e os veículos elétricos, com os processos de reciclagem e reutilização ainda em níveis muito abaixo do ideal no Brasil, especialmente o primeiro. No país, para a reciclagem das baterias de íon de lítio, que são as mais utilizadas, ainda não foi estabelecido um modelo de negócios viável devido às baixas taxas de coleta e à tecnologia imatura. A concorrência entre os fabricantes de equipamentos originais (OEM) por recursos escassos demonstra a importância da reciclagem dos VEs e baterias em fim de vida útil. Um fator que pode facilitar a revenda dos caminhões elétricos, apesar de impactar negativamente para a transportadora, é o seu valor residual bastante inferior ao de compra, devido à alta depreciação que sofre com o decorrer dos anos, situação na qual uma manutenção adequada poderia diminuir o prejuízo, e sua revenda costuma ocorrer mais rapidamente comparada aos veículos particulares. A alta depreciação é provocada pelo fato de os veículos elétricos serem uma nova tecnologia que vem continuamente se aprimorando, e por isso, quando os VEs mais antigos são revendidos, já há novos VEs disponíveis para venda com recursos mais avançados.

A depreciação é o maior custo incorrido na propriedade e operação dos veículos, principalmente por volta dos primeiros cinco a seis anos, período no qual o veículo perde a maior parte do seu valor. No último levantamento realizado no Brasil, no ano de 2018, a idade média dos veículos comerciais leves era de 7 anos e 11 meses, e dos caminhões de 11 anos e 4 meses, e as previsões direcionam para um contínuo envelhecimento da frota nacional (SINDIPEÇAS, 2019), o que contribui para o aumento das emissões de ruídos e materiais particulados em adição com os GEE.

1.2 Problema de pesquisa

Cada vez mais se busca o desenvolvimento sustentável, e o setor de transportes é o quarto maior emissor de CO_2 no Brasil, ficando atrás da mudança de uso do solo e florestas, agropecuária e setor energético, nesta ordem, sendo responsável por 6% das emissões de dióxido de carbono no Brasil. O transporte de cargas foi responsável pela emissão de 98.007.952 toneladas de CO_2 em 2020 (SEEG BRASIL, 2021). Estes fatos são agravados pela predominância do modo rodoviário no transporte de passageiros e cargas, inadequada para um país de dimensões continentais, e este modo é o maior produtor de emissões do setor, demonstrando total ineficiência do ponto de vista ambiental, além de ser aquele que mais consome energia por quantidade de carga transportada. De acordo com Palencia *et al*. (2017), o transporte rodoviário representa aproximadamente 75% das emissões globais de CO_2 do setor de transportes. E segundo Mobilize Brasil (2018), essas emissões são complementadas por 11% dos modos aéreo e hidroviário e 3% do modo ferroviário.

Atualmente, o setor de transportes responde por aproximadamente um quarto das emissões globais de gases de efeito estufa relacionadas à produção de energia (MOBILIZE BRASIL, 2018), valores semelhantes aos europeus (PLÖTZ *et al*., 2019). Segundo Foltynski (2014), nas áreas urbanas europeias são emitidos 69% do CO_2 do continente, 70% dos poluentes e nessas regiões, é consumida 75% da energia dos transportes. Giordano *et al*. (2018) demonstraram que na Europa, a mobilidade urbana é responsável por cerca de 25% das emissões de gases de efeito estufa relacionadas aos transportes, e cerca de um quarto desse valor provém da logística urbana, enquanto a produção de energia para utilização no transporte de cargas e a produção dos veículos para tal finalidade representam juntas pouco mais de 25% das emissões de poluentes atmosféricos relacionadas aos transportes na região. O continente vem reduzindo suas emissões de poluentes atmosféricos nas últimas décadas, porém as concentrações ainda são muito altas e cerca de 90% dos habitantes urbanos estão expostos aos seus perigos para a saúde (AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, 2020). De acordo com Fiori e Marzano (2018), 82,6% do consumo de energia do setor de transportes no continente é proveniente do modo rodoviário.

De acordo com Kampker *et al*. (2018) e Navarro *et al*. (2016), o transporte rodoviário é responsável por 23% das emissões de CO_2 na região da União Europeia, e o setor de

transportes completo responde por 30% das emissões de dióxido de carbono na localidade, ficando abaixo apenas do setor energético, com 38%. Em suas áreas urbanas, cerca de 40% do CO_2 são emitidos pelos transportes. Segundo Ferro *et al*. (2018), o setor de transportes é responsável por aproximadamente 24,4% das emissões de GEE na região, e o modo rodoviário emite a maior parte dos GEE do setor, com aproximadamente 73% do total, sendo 19% desse valor proveniente de caminhões semipesados e pesados dos 33% das emissões que os transportes de carga são responsáveis, conforme exposto por Margaritis *et al*. (2016), que também demonstraram previsões que o transporte de mercadorias aumentará cerca de 57% no período entre 2010 a 2050 e que o setor de transportes se tornará a maior fonte de emissões de CO_2 na região, superando o setor energético.

Yuksel e Michalek (2015) demonstraram que nos EUA, o setor de transportes é responsável por 28% das emissões de GEE e por 32% do CO_2 emitido no país, e que um fator determinante desta situação é que 70% do petróleo americano é consumido pelos transportes. Segundo Lee *et al*. (2018) e Gangloff *et al*. (2017), a maior parte dessas emissões é advinda de veículos leves, entre eles carros particulares, veículos utilitários esportivos e picapes; e em segundo lugar de caminhões médios, semipesados e pesados, que mesmo sendo uma pequena parcela dos veículos estadunidenses, emitem 26% dos GEE dos transportes do país e são os principais responsáveis pelas emissões de poluentes como óxidos de nitrogênio e materiais particulados MP 2,5 e MP 10.

Conforme exposto por Sen *et al*. (2017), outro motivo desta situação é que mais de 92% dos caminhões americanos atuais utilizam combustíveis fósseis e há uma previsão que o crescimento da economia local entre 2013 e 2040 está causando um aumento médio no consumo de diesel de 0,8% ao ano, com os caminhões sendo responsáveis por grande parte disso, o que leva ao aumento da necessidade de importar petróleo para a realização das atividades relacionadas aos transportes no país. Além disso, segundo Lee *et al*. (2018), estes caminhões são os veículos, *on-road, off-road* e por modo, que vêm apresentando o maior crescimento na demanda de energia no país.

Mobilize Brasil (2018) apresentou dados que demonstram que mundialmente, as emissões de CO_2 do setor de transportes chegam a 5,9 trilhões de toneladas anuais, e segundo Liimatainen *et al*. (2019), o transporte de cargas é responsável por pouco

menos da metade dessas emissões, mesmo sendo uma pequena parcela dos veículos nas rodovias urbanas, entre 6 e 18% do total no mundo (MIRHEDAYATIAN e YAN, 2018), e aproximadamente 16% no Brasil (SINDIPEÇAS, 2019). Há uma tendência de crescimento dessas emissões entre 56% e 70% no período entre 2015 e 2050 devido ao grande crescimento esperado na demanda, o que compromete os avanços obtidos na eficiência energética (LIIMATAINEN *et al.*, 2019), e comprova a urgência de se promover o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas.

Segundo Gangloff *et al*. (2017), a estimativa de aumento na quilometragem percorrida por caminhões é de 80% em 2050 comparada aos níveis de 2010. Jaoua *et al*. (2019) e Ehrler *et al*. (2019) demonstraram que os veículos para transporte urbano de cargas percorrem um terço da quilometragem total dos transportes. De acordo com Fiori e Marzano (2018), outro motivo que vem agravando essa situação é que os movimentos de cargas nas áreas urbanas estão crescendo mais rapidamente que os de passageiros. A Tabela 1 apresenta o crescimento das emissões de CO_2 nos continentes relacionadas aos transportes, e dos modos aéreo e hidroviário internacionais, no período entre 2000 e 2016; e o percentual das emissões de CO_2 pela qual cada continente e modo respondem.

Tabela 1: Emissões de CO_2 do setor de transportes em 2016

Localidade	**Crescimento das emissões de CO_2 (2000 a 2016)**	**% das emissões de CO_2 em 2016**
África	84%	5%
Ásia	92%	27%
Europa	-4%	16%
América Latina e Caribe	50%	8%
América do Norte	3%	25 %
Oceania	21%	2%
Aviação internacional	47%	8%
Navegação internacional	33%	9%

Fonte: Mobilize Brasil (2018)

Segundo Foltynski (2014), os transportes são responsáveis por cerca de metade do consumo mundial de petróleo, e de acordo com Palencia *et al*. (2017), do total de energia utilizada no transporte de cargas, mais da metade corresponde a derivados do

diesel apenas para caminhões médios, semipesados e pesados, o que é mais um motivo para a urgência da introdução dos veículos elétricos no transporte de cargas. Segundo Nicolaides *et al*. (2018b), se acredita que o setor de transporte rodoviário de cargas é mais difícil de descarbonizar do que o transporte individual de passageiros e este é outro motivo pelo qual a maioria das estratégias de descarbonização prevê que a proporção do total de emissões de gases de efeito estufa devido ao transporte rodoviário de cargas aumentará significativamente no futuro. Concluem então que um progresso substancial em direção a um transporte mais sustentável requer uma contribuição significativa do setor de transporte de cargas.

Melo *et al*. (2014) discorreram sobre as mudanças nos padrões de demanda, favorecendo entregas flexíveis como nas soluções *just-in-time* (JIT), que provocaram a quase inexistência de estoques nas lojas e levaram a crescentes movimentos de carga, já que os fornecedores entregam para as lojas pequenos volumes por remessa na frequência desejada utilizando veículos de menores capacidades, as impossibilitando de manterem um estoque de segurança. O sistema de produção JIT apresenta inúmeras vantagens, como reduzir custos, evitar desperdícios, maior controle sobre todo o processo de fabricação e a maximização do fluxo de trabalho (ESCOLA EDTI, 2018), mas também possui desvantagens, como o maior número de entregas realizadas pelos fornecedores para as lojas, o que leva à diminuição da mobilidade dos sistemas de transporte urbano de passageiros e cargas devido à falta de aumento de capacidade das vias e estacionamentos e por consequência, diminuição da segurança viária, maior emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, menor eficiência do consumo de combustível e maior número de viagens de retorno sem carga.

Outro fator que leva ao agravamento dos congestionamentos são as frequentes paradas dos veículos de carga para descarregamento das mercadorias, o que contribui com a redução da capacidade das rodovias e se agravam quanto maiores forem os caminhões, a fila de espera, o tempo para as entregas e o número de paradas em áreas de estacionamento não permitido. Segundo Chaud *et al*. (2012), algumas soluções para esta situação são a delimitação de zonas e a definição de janelas horárias de acesso para os veículos realizarem estas atividades nas vias, e que os destinatários ofereçam espaço para as entregas sem a necessidade de realizá-las nas vias urbanas. Para Ehrler e Hebes (2012), as entregas realizadas por VEs poderiam ocorrer em áreas de pedestres e com

janela de tempo estendida.

Como a predominância rodoviária no setor do transporte de cargas não se modificará de forma rápida, uma forma de atenuar a poluição causada é a introdução de veículos elétricos no ramo, e apesar das inúmeras vantagens que apresenta, também possui barreiras ao seu desenvolvimento, sendo as principais a falta de informações da população e das empresas sobre este tipo de força motriz e seus benefícios ambientais, o que gera uma desconfiança de muitos e faz com que seu potencial não seja explorado ao máximo; os altos custos de aquisição, impulsionados principalmente pelos custos de pesquisa, desenvolvimento e das baterias; a baixa autonomia, que pode exigir recargas frequentes, inclusive entre clientes de uma mesma distribuição ou coleta, já que reduzir o número de entregas não é uma opção lucrativa, e aumento da capacidade da bateria, o que aumenta o seu tamanho, preço e massa; e o longo tempo de recarga.

Wang e Thoben (2017) concluíram então que o objetivo dos pesquisadores é desenvolver uma bateria leve, pequena e de alta capacidade, aumentando a proporção do alcance sobre o tamanho da bateria e a carga útil e reduzindo o peso e dimensões dos veículos, mas os custos totais ainda limitam os seus maiores desenvolvimento e emprego. Outro entrave é que a infraestrutura de recarga necessária aos veículos elétricos ainda está em estado bastante inicial, o que leva a descrença em sua efetividade e limita os usuários, que por ter o risco de não ter onde recarregá-los a tempo, se sentem menos dispostos a adquiri-los. Devem-se encontrar soluções para resolver essas desvantagens e possibilitar o crescimento do uso dos veículos elétricos no transporte de cargas.

1.3 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral desse estudo é, por meio de uma abordagem sistêmica envolvendo os diversos fatores relacionados ao sistema dos veículos elétricos, como fontes de energia, tipos dos VEs, baterias, porte dos veículos, operações do transporte de cargas, formas de recarga, entre outros, avaliar o potencial de expansão da participação dos veículos elétricos no transporte de cargas, e propor medidas e ações para viabilizar o uso dos VEs no transporte de mercadorias.

Como objetivos específicos, o trabalho visa sugerir políticas públicas de promoção dos

veículos elétricos, sabendo-se que cada porte de caminhão e os veículos leves apresentam logísticas diferentes, o que necessita diferentes investimentos em cada um destes setores. Também visará detalhar as dificuldades encontradas para o crescimento dos veículos elétricos no transporte de carga nacional, já que os investimentos neste ficaram atrasados comparados ao transporte público e principalmente ao particular, e propor soluções para isto, baseadas em aspectos técnicos e/ou econômicos. Além disso, deve-se combinar o perfil dos veículos leves e caminhões utilizados por capacidade de carga útil nos diferentes tipos de operação, entender em que segmento de carga são mais adequados, e definir qual a forma de recarga mais adequada para cada operação.

1.4 Justificativa

A poluição do ar leva ao surgimento de doenças pulmonares, cardiorrespiratórias, câncer, males de Alzheimer e Parkinson (SOCESP, 2020); e a poluição sonora pode levar ao estresse, depressão, surdez, entre outras doenças (SBO, 2014). Estima-se que na capital paulista cerca de quatro mil pessoas morrem por ano devido a problemas causados pela poluição atmosférica, além de gastos de 1,5 bilhão de dólares pelo governo estadual (VAZ *et al*., 2015). Os problemas ambientais são responsáveis por cerca de 80% dos casos de pneumonia registrados nas grandes cidades (CHAUD *et al*., 2012). Tais motivos tornaram a melhoria da qualidade do ar local uma das principais preocupações em curto prazo para as autoridades por todo o mundo. A ausência de produção de poluição atmosférica e sonora pelos veículos elétricos reduziria em grande número os investimentos dos governos na área da saúde devido às doenças citadas anteriormente e então, os governos poderiam investir os recursos disponíveis em áreas da saúde que apresentem maior necessidade.

Outra preocupação é as consequências para o planeta dos altos índices de emissões de gases de efeito estufa, sendo as principais delas as mudanças climáticas e a maior ocorrência de eventos climáticos extremos, como furacões, tempestades e desertificações decorrentes do aquecimento global.

Na área de mercado há limitações, como uma pequena quantidade e variedade de modelos de veículos elétricos, sobretudo de vans e caminhões maiores (QUAK *et al*., 2016a), já que até agora os VEs foram desenvolvidos para soluções tecnológicas

isoladas e não em um conceito geral de logística, salvo poucas exceções (EHRLER *et al*., 2020). As montadoras devem receber incentivos para aumentarem e criarem produções em série neste ramo, proporcionando assim variadas opções de veículos capazes de satisfazer diferentes requisitos das empresas e alterarem as condições de condução, apesar de que o advento dos VEs já levou algumas grandes fabricantes de veículos a investirem em suas vendas ou locações nos últimos anos e ao surgimento de *startups* destinadas somente aos veículos elétricos.

Uma dificuldade enfrentada pelos veículos elétricos é o baixo número de oficinas para manutenção, reparos e trocas de peças, que são muito distintas em relação aos veículos convencionais, fato que ocorre devido a ser um produto ainda em sua fase inicial, pouco utilizado, e ao baixo número de especialistas no ramo, poucos conhecem as especificações técnicas dos VEs para corrigi-los. Quando ocorrem problemas com os VEs, ainda há o risco considerável de não haver disponibilidade de peças e recursos para resolver de imediato os problemas técnicos dos veículos (QUAK *et al*., 2016b), podendo chegar a meses de reparo, o que limita a flexibilidade das empresas. O motivo é que muitos fabricantes ainda não oferecem suporte eficiente quando comparados ao suporte rápido das montadoras de veículos convencionais, além de apresentarem alto custo quando for necessário o reparo, o que pode fazer com que muitos motoristas se decepcionem com a nova tecnologia e se desmotivem para continuarem conduzindo VEs (QUAK *et al*., 2016a), reduzindo sua competitividade no mercado. Também é necessário propor soluções para aumentar o tempo de autonomia, que corresponde a quantos quilômetros o veículo pode percorrer com a energia máxima contida na bateria, e a velocidade máxima, proporcionando deslocamentos mais rápidos de passageiros e cargas.

Outro problema ainda mais grave que apresentam é que os processos de extração e refino de elementos como o lítio e o cobalto, principais componentes das baterias, emitem uma considerável quantidade de GEE, que podem variar entre 48 e 216 kg/kWh (HOEKSTRA, 2019). Além disso, um veículo elétrico necessita de controle sobre o seu maior peso e para isso, utilizam metais de alto desempenho como ferro, alumínio e o cobre, que juntos representam cerca de 10% da composição dos veículos (ZIVANCEV *et al*., 2018), em partes como o chassi e a carroceria; além de metais de terra rara, sobretudo nos ímãs que estão por todo o veículo, principalmente no motor, o que leva a

emissões de em média 8 toneladas de CO_2 para a produção de seus componentes excetuando-se as baterias (REPARAÇÃO AUTOMOTIVA, 2018), valores ainda maiores no caso dos caminhões, além é claro das extrações desses elementos. Os componentes eletrônicos dos VEs e as baterias também possuem um alto consumo de energia na etapa de produção, que é compensado nas suas fases de uso (JUAN *et al.*, 2016). Expandir a economia circular dos elementos dos VEs e avançar nas técnicas de produção de baterias são soluções para isso e deve-se mostrar como devem ser realizadas.

A produção de baterias gera em média cerca de 65 kg de GEE para cada kWh produzido, levando em consideração todos os países e diferentes químicas (HOEKSTRA, 2019). Por exemplo, uma bateria de 100 kWh emitiu 6,5 toneladas de GEE durante seu processo de produção, principalmente devido à produção de materiais ativos, além de outras emissões provenientes da sua montagem, estas em número bem menor. Veículos elétricos com bateria de íon de lítio NMC ou LFP emitem mais CO_2 na sua fase de produção que um veículo a combustão interna semelhante, cerca de 20% na produção da bateria (QIAO *et al.*, 2017).

Outra dificuldade que enfrentam é que em temperaturas extremas, como no verão ou no inverno, ou em condições climáticas variáveis, como as chuvas, as condições do ar como um componente dos acessórios dos veículos, principalmente das baterias, consomem uma quantidade de eletricidade e reduzem massivamente o alcance de condução. De acordo com Ehrler *et al*. (2020), limpadores, aquecedores e sistemas de ar-condicionado se enquadram nesta situação, sendo o segundo o equipamento auxiliar de maior consumo de energia em muitos veículos. Resumidamente, os problemas que ainda impedem a substituição em grande número dos veículos convencionais pelos elétricos no transporte de cargas são a maturidade tecnológica insuficiente e o caso comercial ainda não comprovadamente viável.

1.5 Metodologia

A metodologia adotada neste estudo consiste em uma pesquisa exploratória, porque têm como base uma revisão sistemática da literatura, e análise de exemplos pelo mundo relativos ao assunto proposto extraídos de artigos internacionais. Na primeira fase da pesquisa, foram pesquisados artigos científicos, teses, dissertações e monografias

relacionadas ao tema proposto, selecionados inicialmente a partir do título e resumo de cada um deles, para realizar um estudo inicial sobre o tema, definir os capítulos, seções e subseções que fazem parte deste trabalho, e dar início a escrita desta dissertação.

Os artigos foram pesquisados nas bases de dados *Web of Science*, *Science Direct* e *Scopus* e avaliados rigorosamente, garantindo a qualidade daqueles selecionados como base para o desenvolvimento deste trabalho. A princípio, foram escolhidas 6 palavras-chave: *electric vehicles, trucks, batteries, energy efficiency, electric power systems* e *freight transportation*. Como a palavra-chave *electric vehicles* é a que mais apresentou resultados quando colocado o operador booleano "*or*" com todas as palavras-chave juntas e é a mais importante no contexto do desenvolvimento deste trabalho, foram usadas combinações suas com o operador booleano "*and*" com todas as demais separadamente.

Porém, foi realizada uma revisão das palavras-chave e os termos *batteries*, *eletric power systems* e *energy efficiency* foram substituídos por dois novos termos, *urban delivery* e *last mile*, pois apresentaram um número excessivo de publicações, e outro motivo que levou a substituição foi que os 3 termos excluídos levam a publicações sobre as formas de produção de energia elétrica e o objetivo principal da dissertação não será esse, e sim demonstrar como essa energia será utilizada no transporte de cargas. A palavra-chave *electric vehicles* foi mantida como fonte de combinações com cada uma das demais separadamente por ser a mais importante no contexto da dissertação, além de novamente ter sido a que mais apresentou resultados com o uso do operador booleano "*or*" com todas as palavras-chaves juntas.

A segunda etapa desta pesquisa ocorreu após a obtenção de um maior conhecimento sobre o tema através da revisão de literatura inicial. Após a definição dos tópicos contidos desta dissertação, foi realizada uma nova busca de artigos para servirem de base para esta pesquisa, nas bases de dados *Science Direct* e *Research Gate*, com foco nos seguintes temas: vantagens e desvantagens dos veículos elétricos, histórico no mundo e no Brasil, frota, descrição detalhada dos diferentes tipos de veículos elétricos (híbridos, somente elétricos, à célula combustível e alimentados diretamente pela rede elétrica), tipos e especificidades das baterias, políticas públicas e investimentos realizados mundialmente, sem delimitação espacial. Para as operações de transporte

urbano de cargas, cada uma delas foi descrita detalhadamente e definidos qual o porte do caminhão e o tipo de recarga adequado para cada uma, além de detalhar para cada sistema de recarga seus benefícios e barreiras de desempenho. Foram avaliados também serviços essenciais para a população, como coleta de lixo e entrega de correspondências, e métodos para a segunda utilização das baterias após o fim de sua vida útil. Nestas duas etapas de seleção de trabalhos, foi realizada a leitura destes e foram selecionados aqueles que apresentaram uma maior gama de informações a respeito do tema proposto, em uma análise quali-quantitativa. Foram buscados trabalhos no período de 2011 a 2020, devido a apresentarem o que há de mais recente sobre o tema desta dissertação, sem delimitação espacial.

Também foram pesquisados nos sites de grandes empresas automobilísticas os veículos elétricos utilizados atualmente no transporte de cargas, suas informações técnicas como capacidade da bateria, autonomia, carga útil e formas de recarga; valor de compra e situação dos modelos no Brasil. Foram pesquisados também artigos nacionais, relatórios, bancos de dados e cadernos técnicos atuais sobre o transporte de cargas e os veículos elétricos no Brasil. Para tópicos observados nos artigos que necessitaram de informações adicionais, foram realizadas pesquisas em sites especializados, como revistas *online* de tecnologia, notas publicitárias e governamentais, entre outros.

Após a análise de todos estes itens, suas principais informações foram sintetizadas de acordo com o escopo e a partir disso, foram propostas soluções para resolver cada barreira que ainda impede uma maior utilização dos veículos elétricos no mercado de transporte de cargas, baseadas em aspectos técnicos e/ou econômicos; sugeridas políticas públicas para implantação destas medidas, além de apresentar tecnologias já existentes e demonstrar como estas podem ser utilizadas para auxiliar no objetivo desta dissertação. A figura 1 resume a metodologia adotada nesta dissertação.

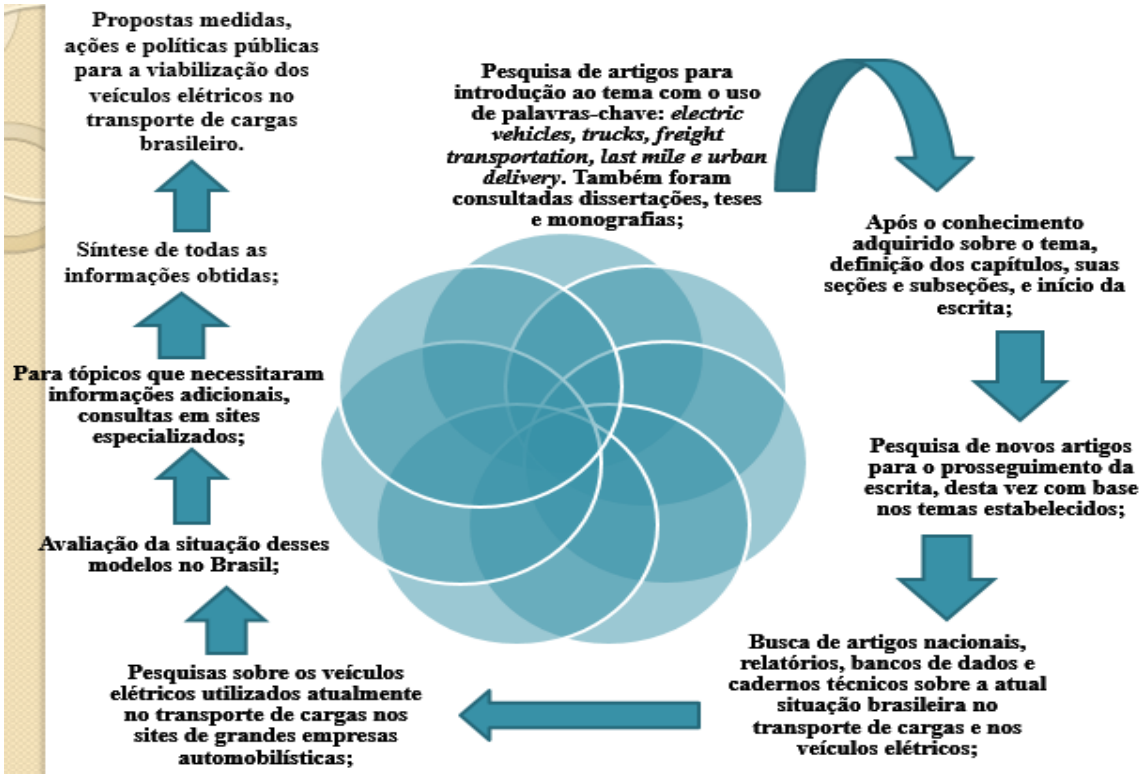

Figura 1: Metodologia de pesquisa. **Fonte**: Elaboração própria

1.6 Estrutura

Este trabalho será dividido em mais quatro capítulos além desta introdução. No segundo, será realizada uma revisão bibliográfica apresentando o histórico dos veículos elétricos, internacionalmente e no Brasil, dados sobre o transporte de carga brasileiro, os tipos de veículos elétricos e de baterias utilizadas neles, incentivos e investimentos realizados mundialmente para a ampliação dos veículos elétricos no mercado e dados técnicos sobre os principais modelos de veículos elétricos utilizados atualmente no transporte urbano de cargas. No terceiro capítulo, será avaliado como os veículos elétricos devem ser implementados nos mais diferentes serviços de transporte de carga, sejam estes entregas urbanas ou em domicílio, coleta de lixo, serviços de correspondências, de longa distância, entre outros. No capítulo 4, serão propostas medidas e ações para a ampliação do uso dos veículos elétricos no transporte de cargas brasileiro, recomendando soluções para cada desafio ainda existente, e serão sugeridas políticas públicas de incentivo para seu crescimento no mercado, além das citadas anteriormente no texto referentes às finanças e à infraestrutura. No capítulo 5 será apresentada a conclusão deste trabalho, e logo a seguir, as referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica foi dividida em seis seções: 2.1 Histórico dos veículos elétricos, apresentando a evolução dos VEs desde o seu surgimento até os dias de hoje; 2.2 O transporte de carga no Brasil, detalhando a frota brasileira de veículos de carga, além das fontes de energia mais utilizadas e os poluentes e GEE mais emitidos no país; 2.3 Tipos de veículos elétricos, detalhando cada um dos tipos de VEs existente; 2.4 Baterias, apresentando os modelos de baterias mais utilizados nos VEs atualmente; 2.5 Investimentos e projetos realizados pelo mundo, demonstrando o que já foi realizado mundialmente para o crescimento dos VEs; e 2.6 Análise dos modelos de veículos elétricos de carga no mercado, apresentando os dados técnicos e situação no Brasil dos VEs de cargas mais utilizados atualmente.

2.1 Histórico dos veículos elétricos

Esta seção apresenta o histórico dos veículos elétricos, um pouco da experiência internacional e no Brasil.

2.1.1 Um pouco da experiência internacional

Segundo Lebkowski (2017), o surgimento dos veículos elétricos ocorreu em 1832, quando o empresário escocês Robert Anderson inventou o primeiro carro elétrico. Porém, de acordo com Baran e Legey (2011), só vieram a experimentar um desenvolvimento contínuo no final do século XIX, devido à criação das baterias de chumbo e ácido, que foram desenvolvidas primeiramente pelo belga Gaston Planté em 1859. Essa bateria alimentou os carros elétricos surgidos na década de 1880 nos EUA, Reino Unido e França. Também nesta época, foram desenvolvidos outros dois tipos de baterias: a de níquel-zinco e a de zinco-ar. E em 1901, Thomas Edison, empresário estadunidense que foi um dos primeiros a aplicar os princípios da produção massiva ao processo de invenção, interessado em melhorar o potencial dos veículos elétricos, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento de energia 40% maior que as de chumbo e ácido, porém com custos de produção muito mais elevados.

Ainda nessa época, foram realizados estudos quanto à tecnologia da frenagem regenerativa, que transforma energia cinética do automóvel em movimento em energia elétrica que é restaurada na bateria para uso futuro, e relativos ao sistema híbrido, composto por eletricidade e gasolina. Segundo Lebkowski (2017), em 1895, a empresa

americana Riker Electric Motor Company começou a produzir os primeiros caminhões elétricos, que eram utilizados principalmente em áreas urbanas para transportar leite, pão, entre outros alimentos, e peças de museus; e em serviços essenciais à sociedade, como policial, ambulância, bombeiro e correios. Atingiam velocidade máxima de 50 km/h e possuíam autonomia de 60 km. De acordo com Gonçalves (2016), em 1899, um VE foi o primeiro automóvel a superar os 100 km/h. Segundo Ehrler *et al*. (2020), na década de 1900, os veículos elétricos passaram a realizar a entrega de laticínios matinais a famílias em áreas urbanas do Reino Unido, e este serviço continua até os dias de hoje.

Porchera *et al*. (2016) e Baran e Legey (2011) demonstraram que entre 1901 e 1906, foi produzido um modelo híbrido parecido com os modelos paralelos atuais: o motor de combustão interna era utilizado para fornecer tração e recarregar a bateria, o motor elétrico fornecia potência extra ao motor a combustão e a parte elétrica funcionava sozinha em trânsito lento. Já em 1903, foi produzido o primeiro automóvel híbrido com as características de um híbrido em série. Foram desenvolvidos para compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos e a precária estrutura de distribuição de energia elétrica da época. De acordo com Vaz *et al*. (2015), as áreas rurais não tinham acesso à eletricidade e as urbanas tinham sérias limitações, nas vias públicas havia pouca iluminação e nas residências, apenas os mais ricos tinham acesso. Nesse momento, havia mais veículos elétricos do que a combustão interna circulando nas ruas. Os veículos elétricos possuíam inúmeras vantagens em relação a seus concorrentes, como maior facilidade de operação, pois não requeriam troca de marchas, e ausências de vibração, barulho e odor. Os veículos a gasolina necessitavam do acionamento manual de uma manivela para iniciar a operação, já que a partida elétrica só foi criada posteriormente.

Contudo, mesmo com as vantagens da tração elétrica, as décadas seguintes viram o estabelecimento do motor a combustão interna. Em 1912, Charles Kettering inventou a partida elétrica, eliminando as dificuldades do acionamento manual via manivela, e nessa mesma época, o silenciador foi incorporado ao automóvel, reduzindo muito os ruídos de operação. Neste mesmo ano em Nova Iorque, a frota de automóveis a gasolina já era trinta vezes maior que a de elétricos (BARAN e LEGEY, 2011). No ano seguinte, Henry Ford iniciou um sistema de produção em massa, através de uma linha de produção em série, barateou os custos de produção e permitiu que os veículos a gasolina

passassem a custar cerca de US$ 650, aproximadamente três vezes mais baratos comparados aos elétricos (VAZ *et al*., 2015), e com isso, os tornou populares, já que anteriormente eram voltados às camadas mais ricas da população. Além disso, a descoberta de reservas de petróleo no Texas, tornou a gasolina barata e de fácil acesso e dificultou o desenvolvimento de outras tecnologias. Inúmeros postos de abastecimento surgiram nos EUA e consequentemente o motor a combustão interna tornou-se o padrão dominante da indústria automobilística. Na década de 1920, o desenvolvimento econômico dos EUA propiciou um maior e melhor sistema de rodovias, que interligavam diversas cidades, o que aumentou a demanda por veículos de maior autonomia.

Segundo Gonçalves (2016) e Vaz *et al*. (2015), a partir de 1935, os veículos elétricos perderam cada vez mais espaço e passaram a ser produzidos em escala cada vez menor, sendo quase extintos do mercado devido principalmente a quatro desvantagens em relação aos de combustão interna: baixa autonomia; elevado custo de aquisição; dificuldades de recarga, já que a energia elétrica não se encontrava disponível em todas as regiões, além do tempo elevado desta atividade; e de manutenção, já que eram poucos os especialistas destinados a tal função em sistemas com motor e bateria. De acordo com Baran e Legey (2011), os VEs continuaram a ser utilizados apenas em algumas cidades dos EUA e do Reino Unido para atividades de entregas, coleta de lixo e distribuição de leite. Também demonstraram que em alguns momentos durante as duas guerras mundiais, houve nesses países um racionamento de gasolina e diesel, o que levou ao aumento da produção de VEs nessas ocasiões, fato que também ocorreu no Japão no período logo após a segunda guerra mundial, porém a produção voltou aos baixos valores quando o racionamento cessou. Segundo Ehrler *et al*. (2020), em 1942, Berlim ainda utilizava os veículos elétricos para entregas de alimentos vendidos em padarias, e durante a década de 1950, em frotas para serviços de correios.

Segundo Vaz *et al*. (2015), o domínio dos veículos a combustão interna só foi ameaçado na crise do petróleo entre 1973 e 1974. O embargo dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) resultou na escassez do fornecimento de petróleo e aumento considerável do preço do barril, o que impactou diretamente a gasolina e gerou uma crise de relevância mundial. Antes baratos e abundantes, a crise levou diversos países a repensarem suas políticas em relação aos combustíveis fósseis.

Havia claramente a necessidade de maior independência do fornecimento desses insumos e do desenvolvimento de tecnologias alternativas de propulsão, entre essas a elétrica.

Um desses países foram os EUA. Em 1976, foi promulgado pelo congresso americano o *Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, and Demonstration Act*, que autorizou o Ministério da Energia a apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento em veículos híbridos e elétricos. Nessa mesma época, as empresas Sebring-Vanguard e American Motors Corporation apresentaram carros elétricos no mercado. A primeira fabricou um pequeno carro elétrico de uso pessoal, o Citicar, que vendeu cerca de duas mil unidades. A segunda produziu 350 carros do modelo Electruck, veículo comercial leve para uso dos correios americanos, que alcançava uma velocidade máxima de 53 km/h e sua autonomia era de apenas 47 km, em razão do regime de operação de constantes paradas para entregas. Sua recarga completa levava cerca de oito horas e custava o dobro do preço de um modelo similar movido a combustível fóssil. A figura 2 apresenta o modelo Electruck.

Figura 2: Modelo Electruck. **Fonte**: Barn Finds (2018)

No início da década de 1990, as atenções voltaram-se novamente para os VEs, com o intuito de reduzir as emissões de poluentes nas grandes cidades. De acordo com Gonçalves (2016), em 1990, o governo americano implementou a Lei do Ar Limpo, e segundo Baran e Legey (2011), no mesmo ano, o estado da Califórnia implementou suas

primeiras normas regulatórias de emissão zero. Foi definida então uma cota de vendas de veículos sem emissões para as fabricantes de automóveis e a cada veículo desses vendido, as montadoras receberam um bônus de US$ 5 mil. Porém, algumas das principais companhias de petróleo contribuíam financeiramente para campanhas de políticos que se opunham aos veículos elétricos, financiavam propagandas contrárias aos VEs, e devido a isso, o projeto não foi bem-sucedido. Em 1992, durante a conferência Rio-92, foi estabelecida a Agenda 21, que consiste em um plano de ação que deve ser seguido por toda a sociedade em questões relacionadas ao meio ambiente. Neste plano é enfatizada a gravidade dos problemas causados pelo uso extensivo de combustíveis fósseis, como por exemplo, o aquecimento global e suas consequências; a necessidade de os países desenvolvidos reduzirem seu consumo de energia e a busca pela transição para fontes renováveis de energia.

O primeiro automóvel híbrido a ser lançado no mercado americano foi o Honda Insight, em 1999, e foi um sucesso imediato. O Toyota Prius, lançado no Japão em 1997, foi o primeiro veículo elétrico produzido em massa, chegou aos EUA em 2000 e teve seu número de vendas muito acima da expectativa da montadora no mercado americano e sucessivamente no europeu. Este automóvel impulsionou de vez o mercado de VEs, que passou desde então a assistir a muitos lançamentos de veículos híbridos, inclusive os híbridos *plug-in*, e sobretudo nesta última década, de veículos puramente elétricos, apoiados por incentivos dos governos aos fabricantes e usuários destes veículos.

Na década de 2000, o governo americano continuou seus investimentos na promoção de energias renováveis e veículos mais limpos, e em 2007 promulgou o *Energy Independence and Security Act*, que destinou US$ 95 milhões anuais entre 2008 e 2013 à pesquisa e desenvolvimento de um sistema de veículos elétricos e à formação de especialistas no ramo. Em 2009, foi promulgada outra lei, a *American Clean Energy and Security Act 2009*, que determinou que a Secretaria de Energia, as agências reguladoras estaduais e as distribuidoras de energia não reguladas deveriam apresentar projetos para o desenvolvimento de *smart grids* integradas até julho de 2012. *Smart grids* são redes de distribuição de energia elétrica capazes de comunicar em tempo real os consumidores aos produtores, possibilitando o acompanhamento do fluxo de energia na rede e o controle sobre os aparelhos que consomem eletricidade. Além disso, foram destinados o total de US$ 50 bilhões às montadoras de automóveis híbridos e

fabricantes de autopeças até 2020.

2.1.2 Brasil

Segundo Assumpção (2016), Gonçalves (2016) e Vaz *et al*. (2015), uma tentativa inicial de introdução dos veículos elétricos no Brasil ocorreu no final da década de 1970 e início dos anos 1980, quando a Gurgel em parceria com as Furnas Centrais Elétricas desenvolveu o Gurgel Itaipu, que possuía uma autonomia entre 60 e 80 km, motor elétrico de 3,2 kW (4,2 cv) e velocidade máxima de 50 km/h, sendo assim o primeiro veículo elétrico brasileiro. Porém, seu preço era insatisfatório em comparação aos demais veículos; havia restrições no funcionamento, principalmente devido às baixas vidas úteis das baterias; e com o fim da crise do petróleo, que levou os barris de volta aos seus preços normais de venda, este veículo não passou de um projeto sem sucesso.

De acordo com Quatro Rodas (2020a), outra tentativa foi realizada com o Gurgel Itaipu E-400, que possuía bateria de chumbo-ácido, motor com potência de 10 kW, consumo médio de 0,4 kWh/km, velocidade máxima entre 70 e 75 km/h; e utilizando um limitador de potência que permitia que a bateria chegasse a no máximo 45 km/h, a autonomia chegava a 100 km, porém este apresentou problemas técnicos e econômicos semelhantes, e por isso, também não foi bem-sucedido. Uma ideia precursora que as empresas tiveram foi o *leasing* das baterias, que os motoristas fariam a opção se seria diário ou após um certo período. A figura 3 apresenta o modelo Gurgel Itaipu E-400.

Figura 3: Modelo Gurgel Itaipu E-400. **Fonte**: QUATRO RODAS (2020a)

Segundo Vaz *et al*. (2015), o desenvolvimento de veículos elétricos no país manteve-se tímido até os anos 1990, quando questões ligadas à sustentabilidade ambiental ganharam maior relevância impulsionadas pela Rio-92, despertando maior conscientização pela melhoria da qualidade do ar nas cidades e consequente busca da redução das emissões de GEE e poluentes através da substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas e da redução da dependência do petróleo. O Brasil é privilegiado na produção e consumo de energias renováveis, com 81,9% da capacidade instalada de geração de energia elétrica e 87,8% da produção total verificada no país (MME, 2018). Porém, um problema que o Brasil enfrenta é que a maior parte dos principais centros de pesquisa veiculares estão localizados nos países desenvolvidos, e por isso, a adoção de novas tecnologias tende a ocorrer lentamente no país, após sua consolidação nos mercados principais.

2.2 O transporte de carga no Brasil

Esta seção traz uma contextualização sobre a frota de veículos de carga no Brasil, as fontes de energia utilizadas, os principais poluentes e gases de efeito estufa oriundos do setor.

2.2.1 Frota

No Brasil, os veículos de carga são separados com base no peso bruto total (PBT) em seis categorias: comercial leve (menor que 3,5 toneladas), caminhão semileve (de 3,5 a 6 toneladas), caminhão leve (de 6 a 10 toneladas), caminhão médio (de 10 a 15 toneladas), caminhão semipesado (de 15 a 40 toneladas) e caminhão pesado (maior que 40 toneladas) (MMA, 2013 *apud* ASSUMPÇÃO, 2016). O peso bruto total corresponde à capacidade de carga útil mais o peso da cabine, chassi, carroceria e *powertrain*, que compõem o peso próprio do veículo. A Tabela 2 apresenta a frota brasileira que tem como uma de suas funções principais realizar o transporte de cargas no mês de julho de 2021, observando-se que as caminhonetes e camionetas podem ser utilizadas apenas para o transporte particular, e sem contar os veículos que podem ser adaptados para o serviço, como triciclos e bicicletas.

Tabela 2: Frota brasileira que tem como uma das funções realizar o transporte de cargas em julho de 2021

Tipo de veículo	**Quantidade**
Caminhão	2914702

Caminhão-trator	771170
Caminhonete	8534387
Camioneta	3821492
Reboque	1938944
Semirreboque	1122128
Utilitário	1213592
Total	20316415

Fonte: Ministério da Infraestrutura (2021)

Segundo Kampker *et al*. (2018), os veículos leves e os médios têm sido o foco principal de projetos de pesquisa e desenvolvimento por dois motivos: a pressão regulatória global para reduzir o tráfego pesado e as emissões em áreas urbanas, e porque os veículos com estes tamanhos se assemelham com os veículos particulares e de passageiros no setor dos veículos elétricos, muito mais amadurecidos tecnologicamente. Além disso, para os caminhões semipesados e pesados, que emitem 25% do CO_2 global do setor de transportes, há projeções que esse valor irá aumentar, devido ao aumento previsto da demanda (PLÖTZ *et al*., 2019), e este é mais um fator que leva à urgência do crescimento da utilização dos veículos elétricos no transporte de cargas.

Segundo Quak *et al*. (2016b), a maioria dos operadores logísticos acreditam que atualmente os veículos elétricos não conseguem substituir todos os movidos a combustão interna no transporte de cargas, porém os veículos comerciais leves podem conseguir desempenhar tal tarefa se a roteirização, os processos de entrega e o planejamento das jornadas forem otimizados e adequados às características dos VEs, aproveitando-se de sua maior eficiência e solucionando suas desvantagens, como a possível necessidade de recarga entre clientes. Além disso, demonstraram também que os veículos de capacidade até 3,5 t são aqueles que apresentam a menor diferença de preço em relação aos convencionais, custando em torno do dobro do preço de aquisição, e estão representados em maior número, enquanto vans maiores ou caminhões normalmente são feitos sob medida ou produzidos em lotes menores. Juan *et al*. (2016) detalham como motivo para tal situação as condições de custo atuais e veem como soluções a disponibilidade de baterias de vida útil maior, a tendência ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e a redução dos preços de compra dos veículos elétricos.

2.2.2 Fontes de energia utilizadas

O Brasil ocupa uma posição privilegiada mundialmente no setor energético pelo seu alto índice de produção e consumo de energias renováveis, porém o setor de transporte

nacional apresenta baixa eficiência tendo em vista a predominância do modo rodoviário, responsável por 90% das emissões de gases poluentes e de CO_2 (PESSANHA *et al.*, 2011). Ainda, de acordo com os autores, existem outros problemas que impedem uma expansão do mercado de veículos elétricos no Brasil, como os elevados preços e um mercado bem desenvolvido de combustíveis derivados da cana de açúcar.

Os veículos que têm como base o petróleo são a maioria, com 68,9% do consumo total de energia proveniente de seus derivados, sendo o principal o óleo diesel e o segundo a gasolina (VAZ *et al.*, 2015). Alternativas para substituí-lo vêm sendo testadas para combater a dependência dos combustíveis fósseis ainda existente; por ser uma fonte não-renovável, tem a natureza do seu fornecimento finita; além de emitir poluentes atmosféricos nocivos à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente, e GEE. Talebian *et al*. (2018) descreveram a situação que vem ocorrendo na Colúmbia Britânica, Canadá, e que se enquadra na situação brasileira, em que outros combustíveis, como etanol e biodiesel, vêm sendo misturados à gasolina e ao diesel, respectivamente, com a proporção aumentando gradativamente, porém o uso de biocombustíveis vem causando preocupações quanto à segurança alimentar e à manutenção da biodiversidade, além de sua atual quantidade ser insuficiente e a futura ser incerta.

As fontes renováveis seguem sendo inseridas a passos largos na geração de energia elétrica no Brasil, com a região Nordeste já possuindo aproximadamente 60% de sua energia elétrica proveniente de parques eólicos quando os ventos apresentam maior intensidade (NEOENERGIA, 2021), e a geração por fonte solar obteve nos anos de 2016 e 2017 um aumento de 300%, mesmo com a crise enfrentada pelo país (GOMES *et al*., 2018). A alta produção afasta o risco existente de desequilíbrio das redes elétricas por serem energias intermitentes, e pode ser bastante útil para as temperaturas extremas registradas no país, como o forte calor registrado nos estados do Nordeste e o intenso frio da região Sul, já que nessas condições haverá maior oferta de energia limpa para recarregar os veículos, que apresentarão uma demanda de energia extra devido às maiores perdas que ocorrerão durante a recarga. As variações regionais e estaduais das emissões de GEE no país provenientes da geração de eletricidade estão de acordo com o mix das fontes que deram origem à energia. O mix com variadas energias renováveis é ainda mais necessário para manter a taxa de emissões zero durante o período noturno, quando não é possível utilizar a energia solar, a não ser que haja um gerador com banco

de baterias conectado ao sistema fotovoltaico para armazenar a energia e utilizá-la à noite (BLUESOL ENERGIA SOLAR, 2017). A Tabela 3 apresenta os estados brasileiros que possuem maior capacidade de potência instalada das fontes eólica e solar de geração de energia elétrica.

Tabela 3: Estados brasileiros com maior capacidade instalada das energias eólica e solar

Fonte eólica		**Fonte solar**	
Estado	**Capacidade instalada (MW)**	**Estado**	**Capacidade instalada (MW)**
RN	5266,2	MG	1220,3
BA	5094,7	SP	837,3
CE	2385,1	RS	802,6
PI	2354,7	MT	501,9
RS	1835,9	PR	356,1

Fonte: ABEEólica (2021) e Absolar (2021)

A região Nordeste é responsável por aproximadamente 88,7% dos 18,6 GW da capacidade de energia eólica no Brasil, sendo que dos seus nove estados, apenas Alagoas não possui parques eólicos. Nestes, a região também predomina, tendo 617 dos 713 localizados em sua área, com a predominância da Bahia, com 196 parques e em segundo, do Rio Grande do Norte, com 183, apesar da maior capacidade eólica instalada. A região Sul vem em segundo lugar, com 95 parques instalados, sendo a grande maioria localizada no Rio Grande do Sul, que possui 80 em seu território. O único parque não localizado nestas duas regiões encontra-se no Sudeste, mais precisamente no estado do Rio de Janeiro (ABEEÓLICA, 2021).

Outro fator que ajuda o país é a sua produção de eletricidade majoritariamente por hidráulicas, com 58,9% do total em setembro de 2021 (ABSOLAR, 2021). De acordo com Tanco *et al*. (2019), essas tendências também são observadas em outros países da América Latina, o que reduz em larga escala as emissões de CO_2 em uma abordagem WTW. Na região, o setor de transportes é responsável por 19% das emissões de CO_2. Também demonstraram que, além do Brasil, outro país que apresenta grandes quantidades de energia renovável na região é o Uruguai, com 96,2% da geração total em 2018. A utilização destas fontes de produção de energia é fundamental, pois além de serem limpas, suprirão a demanda e o consumo extras que serão verificados com a expansão dos veículos elétricos no mercado, o que levará a impactos técnicos, econômicos e operacionais no sistema elétrico e à necessidade de investimentos em projetos de modernização e ampliação das distribuidoras de energia elétrica para

garantir a segurança energética dos países. Além disso, se a região conseguir simultaneamente explorar sua crescente matriz de energia renovável e seu sistema de distribuição de energia elétrica, que além de apresentar alta confiabilidade, possui custos menores comparados aos de combustíveis líquidos, os veículos elétricos poderão penetrar em todos os segmentos da maioria dos países em no máximo duas décadas.

2.2.3 Poluentes atmosféricos e GEE

As emissões de gases de efeito estufa necessitam ser zeradas, em uma transição para zero carbono, pois conforme abordado anteriormente, causam impactos sem precedentes no planeta, devido ao aumento na intensidade e frequência dos eventos extremos climáticos, como temperaturas extremas e a subida do nível do mar (MOBILIZE BRASIL, 2018). É necessário atingir emissões líquidas zero até 2050 de acordo com o IPCC (WRI BRASIL, 2019b). Já os poluentes atmosféricos causam inúmeras doenças que trazem graves riscos à saúde da população. O etanol e o biodiesel, apesar de ajudarem na redução da emissão de poluentes, emitem CO_2 em suas queimas, mesmo que em proporções bem menores que a gasolina, o que comprova que o melhor caminho para combater as emissões de poluentes e GEE dos transportes é a energia elétrica. Segundo Feldman (2018), a situação se agrava porque a cana-de-açúcar, ao se desenvolver no campo, absorve da atmosfera esse mesmo dióxido de carbono que é emitido pelo escapamento do automóvel, pois o seu crescimento é a partir do processo de fotossíntese, que precisa do CO_2 que está na atmosfera, o que acaba compensando negativamente em parte os valores da redução de CO_2 emitidos, em uma avaliação da etapa WTT do etanol.

Os caminhões e veículos comerciais leves emitem grande parte dos poluentes atmosféricos, como materiais particulados (MP), óxidos de nitrogênio (NOx), ozônio (O_3), óxidos de enxofre (SOx), monóxido de carbono (CO), aldeídos (RCHO), hidrocarbonetos (HC) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que prejudicam a qualidade do ar e consequentemente, a saúde da população.

2.2.3.1 Materiais particulados (MP)

São denominados materiais particulados o conjunto de poluentes constituído de poeira, fumaças e materiais sólidos e líquidos que se mantém suspensos na atmosfera por causa de seus pequenos tamanhos e apresentam características físicas e químicas diversas.

Também se formam na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar. O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores, mais nocivos são os efeitos. Além disso, podem também reduzir a visibilidade na atmosfera (CETESB, 2019).

Além da queima dos combustíveis fósseis, também são emitidos no setor de transportes em obras e pavimentação de vias (MMA, 2020). Os MP provocam doenças cardiorrespiratórias, arteriosclerose e câncer, principalmente nos grandes centros urbanos, como São Paulo, onde na forma de uma poeira mais fina que penetra nos pulmões, apresentam valores por m^3 em torno de 50 microgramas, acima do limite permitido pela OMS, que é de 20 microgramas (CHAUD *et al*., 2012). São classificados como partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP_{10}), partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) e fumaça (FMC), descritos na Tabela 4:

Tabela 4: Classificação dos materiais particulados

Poluente	Descrição
PTS	Definidas como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 µm. Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde e outra parte pode afetar prejudicialmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições visuais do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.
MP_{10}	São aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 2,5 a 10 µm, podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.
$MP_{2,5}$	São aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 µm. Devido ao seu tamanho reduzido, penetram profundamente no sistema respiratório e têm maiores chances que as anteriores de atingir os alvéolos pulmonares. São os materiais particulados mais emitidos pelos transportes rodoviários.
FMC	Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em

	um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

Fonte: CETESB (2019) e Rastani *et al*. (2019)

2.2.3.2 Óxidos de nitrogênio (NOx) e demais poluentes atmosféricos

Nas grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio (CETESB, 2019). De acordo com Pena (2015), os altos índices de emissões de NOx dos caminhões a diesel levam à formação do *smog*, que consiste em quando o acúmulo da poluição atmosférica nas cidades misturado ao vapor d'água forma uma grande neblina de fumaça na atmosfera próxima à superfície, diminuindo a qualidade do ar e a visibilidade no ambiente urbano, inviabilizando as viagens de aviões, helicópteros e veículos rodoviários. Um de seus causadores é o fenômeno da inversão térmica, que consiste na retenção de ar frio próxima à superfície das cidades, com uma camada de ar quente se formando sobre a cidade. É um fenômeno natural, mas gera problemas ao não permitir que os poluentes atmosféricos se dispersem mais facilmente. Costuma ocorrer em épocas mais frias, quando a radiação solar não é suficiente para aquecer o solo em níveis necessários, por isso, o ar frio da superfície, que é mais pesado, fica parado e dificulta a movimentação do ar.

Os óxidos de nitrogênio geram o *smog* fotoquímico, quando participam de reações sob a presença de luz, mais frequentemente em dias muito quentes e secos, e geram outras substâncias altamente prejudiciais à qualidade do ar, como o ácido nítrico (HNO_3) e o ozônio troposférico. Um exemplo disso é o óxido nítrico (NO), que sob a ação de luz solar, se transforma em dióxido de nitrogênio (NO_2), que através de reações químicas com os COVs, também sob presença da radiação solar, formam oxidantes fotoquímicos como o ozônio (O_3). Também são responsáveis pela formação da chuva ácida e apresentam efeitos sobre as mudanças climáticas que vêm ocorrendo.

Suas fontes podem ser naturais, como os vulcanismos, ações bacterianas e descargas elétricas, ou antropogênicas, como veículos a combustão interna e usinas siderúrgicas. As emissões naturais são em maior escala que as antropogênicas, porém, em razão de sua distribuição sobre o planeta, têm menor impacto sobre as concentrações deste poluente nos centros urbanos. Como principais danos à saúde, levam a problemas

respiratórios, pulmonares e agravamento à resposta das pessoas sensíveis a alérgenos (MMA, 2020). Em agosto de 2019, o fenômeno ocorreu pela primeira vez no Brasil, na cidade de São Paulo.

A tabela 5 apresenta os demais poluentes: ozônio (O_3), óxidos de enxofre (SOx), monóxido de carbono (CO), aldeídos (RCHO), hidrocarbonetos (HC) e compostos orgânicos voláteis (COV).

Tabela 5: Demais poluentes emitidos pelos veículos

Poluente	Descrição
O_3	É um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente, mas sim formado a partir de outros poluentes atmosféricos, e é altamente oxidante e tóxico na troposfera. Porém, é encontrado naturalmente na estratosfera, onde tem a função de absorver radiação solar, impedindo que grande parte dos raios ultravioletas cheguem à superfície terrestre. Seus principais danos à saúde são o agravamento dos sintomas de asma, de outras doenças pulmonares como enfisemas e bronquites, e cardiovasculares, como a arteriosclerose.
SOx	O mais conhecido é o SO_2 (dióxido de enxofre), que é um gás tóxico e incolor emitido por fontes naturais ou antropogênicas que pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando materiais particulados finos. Sua principal fonte natural de emissão são os vulcões, porém sua maior quantidade se origina das emissões antropogênicas causadas pela queima de combustíveis fósseis que contêm enxofre em sua composição, como o óleo diesel e a gasolina, em atividades como o uso veicular. Como principais comprometimentos à saúde, agravam os sintomas da asma e demais problemas respiratórios. Também podem reagir com a água na atmosfera formando chuvas ácidas e com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera.
CO	É um gás inodoro e incolor formado quando a queima de combustíveis de origem orgânica, como os combustíveis fósseis e a biomassa, ocorrem em condições não-ideais devido a não haver oxigênio suficiente para realizá-la por completo. A maior parte de suas emissões em áreas urbanas são decorrentes dos veículos automotores. Como efeitos negativos à saúde, tem

	alta afinidade com a hemoglobina no sangue, substituindo o oxigênio e reduzindo a alimentação deste ao cérebro, coração e restante do corpo durante o processo de respiração. Em baixa concentração causa fadiga e dor no peito, em alta concentração pode levar a asfixia e morte.
RCHO	São compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois ou de reações fotoquímicas na atmosfera envolvendo hidrocarbonetos. Mais frequentemente são emitidos na queima de combustível em veículos automotores, especialmente naqueles que utilizam etanol. Seus principais efeitos são a irritação das mucosas, dos olhos, do nariz e das vias respiratórias e podem causar crises asmáticas, além de serem potenciais cancerígenos.
HC	São compostos formados de carbono e hidrogênio que podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotas. São divididos em hidrocarbonetos totais (THC), metano (CH4) e hidrocarbonetos não-metano, que correspondem à diminuição do primeiro pelo segundo. São provenientes de uma grande variedade de processos industriais e naturais. Nos centros urbanos as principais fontes emissoras são os carros, ônibus e caminhões, nos processos de queima e evaporação de combustíveis. Também são precursores para a formação do ozônio troposférico e potenciais causadores do efeito estufa através do metano.
COV	São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, indústrias, processos de estocagem, transferência de combustíveis, entre outros. Muitos destes compostos participam ativamente das reações de formação do ozônio. Dentre os compostos orgânicos voláteis presentes na atmosfera urbana estão os compostos aromáticos monocíclicos como benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos.

Fonte: CETESB (2019) e MMA (2020)

A seção 2.3 apresenta os tipos de veículos elétricos existentes atualmente.

2.3 Tipos de veículos elétricos

Os veículos elétricos são aqueles acionados por ao menos um motor elétrico e de acordo com o sistema de propulsão, configurações e fontes da energia elétrica, podem ser classificados em quatro tipos:

2.3.1 Híbridos (HEVs)

Vaz *et al*. (2015) descreveram os veículos híbridos (HEVs) como aqueles que combinam um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos para propulsão, e por combinar os dois tipos, os motores a combustão interna têm menor porte que nas configurações convencionais. Segundo Iwan *et al*. (2014), apresentam como vantagens em relação aos veículos convencionais reduções no consumo e custo com combustível por distância percorrida, das emissões de GEE e poluentes nocivos à atmosfera e do nível de ruídos emitidos. Como desvantagens, apresentam peso e dimensões acima dos veículos convencionais devido à estrutura sofisticada e ao peso da bateria, e devido a isso, um custo superior de aquisição.

Conforme demonstrado por Assumpção (2016), os HEVs vêm sendo utilizados na transição para veículos somente elétricos até que a produção de novos modelos de bateria aumente e consequentemente, seus custos, os de ciclo de vida e aquisição dos veículos diminuam e a densidade energética aumente. Seu uso reduz a falta de confiança no uso de veículos elétricos por estes serem uma tecnologia ainda em iniciação. Steward *et al*. (2019) demonstraram que a taxa de crescimento anual de vendas entre 2017 e 2020 é de cerca de 56% para híbridos *plug-in* e de 42% para BEVs, comprovando que os veículos híbridos estão sendo utilizados como transição no caminho para os totalmente elétricos. Segundo Vaz *et al*. (2015), apresentam eficiência entre 30% e 40% maior que os veículos a combustão interna.

O motor elétrico, o alternador e a bateria são maiores quanto maior for o nível de hibridização (micro, *mind, full*) e menor é o motor a combustão. Porém, a bateria não pode ser recarregada diretamente a rede elétrica e o veículo precisa ser abastecido com combustível. O próprio motor a combustão e mecanismos como a frenagem regenerativa, que reduz o consumo de combustível de 25% a 30% (NICOLAIDES *et al*., 2018b) e o desgaste dos freios (QUAK *et al*., 2016b), transmitem a carga para um gerador que recarrega a bateria (IWAN *et al*., 2014). O alternador tem como função gerar energia, transformando energia mecânica em elétrica, necessária para recarregar a bateria e alimentar todos os componentes, como o sistema de ignição e os demais equipamentos elétricos (TRIBUNA DO NORTE, 2010).

A exceção é dos *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEVs), que se diferem daqueles de

nível de hibridização *full* por apresentarem o motor elétrico, o alternador e a bateria ainda maiores, possibilitando a operação totalmente elétrica, já que a bateria pode ser recarregada diretamente na rede. Segundo Nicolaides *et al*. (2018b), são mais adequados para o transporte de grandes cargas divisíveis e de combustíveis ou líquidos perigosos. Podem utilizar a infraestrutura de CoM (*Charge-on-the-move*) para recarregar em longas distâncias, além de contarem com um motor a combustão interna para recarregar as baterias e fornecer um alcance estendido ao operar fora do sistema CoM. Essas operações fora da rede CoM poderiam ser realizadas em velocidades relativamente baixas e, portanto, exigiriam menos energia do que as viagens de longa distância em vias de trânsito rápido. Apresentam custo de aquisição maior e operacional menor do que os demais veículos híbridos.

De acordo com Vora *et al*. (2017), a proliferação de veículos híbridos leves não se repetiu no segmento pesado por várias razões. A principal delas é que a maior consideração dos proprietários de frotas de veículos pesados e dos operadores logísticos é a rentabilidade econômica das operações realizadas, enquanto para os leves, são levados em conta também fatores como conforto, utilidade, estilo e a imagem da marca. Além disso, a diversidade de aplicações dificulta o projeto de um sistema único com bom desempenho para diferentes perfis de carga útil e ciclos de condução.

Os veículos híbridos possuem três tipos diferentes de arquitetura: em paralelo, em série e serial-paralela, combinando os recursos e vantagens das duas primeiras.

2.3.1.1 Veículos híbridos serial-paralelos

Segundo Borthakur e Subramanian (2018), um *powertrain* serial-paralelo consiste em um motor a combustão interna de tamanho reduzido (MCI), um gerador, um motor de tração, um dispositivo de armazenamento de energia e dispositivos de acoplamento mecânico, como um acoplador de velocidade e outro de torque, arranjo esse que fornece mais flexibilidade na operação do motor em sua região otimizada de velocidade de torque. O MCI é utilizado para fornecer os requisitos de energia em estado estacionário, enquanto a potência do motor elétrico é projetada para atender à aceleração inicial e percorrer inclinações em baixa velocidade.

De acordo com Autonomie (2020), nessa arquitetura, a potência do motor é dividida em

dois caminhos: um vai ao gerador para produzir eletricidade e o outro passa por um sistema de engrenagem mecânica para mover as rodas. O caminho em série geralmente é evitado por apresentar menor eficiência. A configuração mais utilizada para esta função é denominada divisão de entrada, e é composta por um dispositivo de transmissão e duas máquinas elétricas arranjadas concentricamente. Em um híbrido de divisão de potência de modo único, uma das máquinas controla a velocidade do motor enquanto a outra fornece a energia necessária para o veículo seguir seu percurso. No sistema de dois modos, o tamanho das máquinas pode ser minimizado, pois ambas controlam a rotação dos motores, mas sob diferentes condições. Outra configuração são as engrenagens planetárias, que captam as altas velocidades do motor e as convertem em torques elevados, melhorando assim o funcionamento dos veículos (ENGRENAGENS POZELLI, 2020).

2.3.1.2 Veículos híbridos em série

É a arquitetura mais adequada para caminhões semipesados e pesados utilizados em áreas urbanas por apresentarem maior rendimento (CASTRO *et al*., 2013). Na arquitetura em série, o motor a combustão interna opera o tempo todo dentro de uma faixa ótima de rotação, acionando o gerador que fornece energia ao motor elétrico, que impulsiona as rodas do veículo, enquanto qualquer excesso de energia é armazenado na bateria (IWAN *et al*., 2014).

2.3.1.3 Veículos híbridos em paralelo

O acionamento paralelo é o mais usado e nele, tanto o motor a combustão interna quanto o elétrico impulsionam as rodas do veículo, podendo assim os motores operarem juntos ou um de cada vez, de acordo com as condições da estrada. Durante uma viagem lenta na cidade, o veículo utiliza apenas o motor elétrico, e quando é necessária mais potência, como por exemplo, para obter maiores velocidades em uma rodovia, o motor a combustão interna é ligado (IWAN *et al*., 2014). O motor a combustão interna também é utilizado para recarregar a bateria (BARAN E LEGEY, 2011).

2.3.2 Veículos elétricos a bateria (BEVs)

Os veículos puramente elétricos possuem a propulsão somente elétrica, sem motor a combustão, sendo alimentados por um ou mais motores elétricos. São denominados *Battery Electric Vehicles* (BEVs), tendo sua energia armazenada na bateria, que

alimenta o motor elétrico e assim propulsiona as rodas e sua recarga é realizada pela conexão à rede elétrica, através de tomadas de fácil instalação. Juntamente aos *Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, podem ser denominados *Plug-in Electric Vehicles* (PEVs). Não produzem qualquer tipo de emissão de GEE e poluentes na etapa TTW, porém a energia elétrica usada para recarregar a bateria pode emitir CO_2 se as usinas que a produzem não utilizarem fontes renováveis ou tecnologias de captura de carbono. Apresentam economia de energia superior aos veículos híbridos.

Para Vaz *et al*. (2015), os BEVs abrem oportunidades para novas montadoras e a eletrificação veicular plena tem capacidade de reconfigurar a indústria automotiva. Isso ocorre porque a tração puramente elétrica é mais simples e um motor elétrico tem menos componentes que um motor a combustão interna, além de ser menor e mais leve, o que o torna mais fácil de ser montado. Seu *powertrain*, que consiste no conjunto entre a bateria, o motor e sistemas de transmissão que convertem a energia armazenada no veículo em energia cinética, possibilitando sua movimentação, é mais fácil de ser desenvolvido. Segundo Feldman (2019), outra vantagem do motor elétrico é que esquenta pouco, diferentemente do motor a combustão, e por isso não exige um sistema de arrefecimento, porém este sistema é necessário para o ar-condicionado, o conversor de corrente alternada para contínua e em alguns modelos, para o sistema de baterias.

2.3.3 A célula-combustível (FCEVs)

Seu abastecimento é feito por meio de uma célula-combustível, normalmente a hidrogênio, que tem sua energia química convertida em energia elétrica através do processo de oxidação e esta é transferida diretamente para o motor elétrico (IWAN *et al.*, 2014). Assim como os BEVs, não emitem poluentes e GEE na etapa TTW, porém comparados aos mesmos, apresentam menores reduções na etapa WTW em relação aos veículos a combustão interna, devido a maiores emissões na fase WTT, que deve explorar melhor o hidrogênio gerado por fontes renováveis. Hoekstra (2019) demonstrou que outro benefício do hidrogênio é que quando produzido pelas energias solar ou eólica e utilizado nas fases de produção do aço e do alumínio, torna quase nula as emissões, o que impacta diretamente e positivamente na fabricação das baterias e seus componentes, dos veículos, painéis solares e turbinas eólicas e beneficia o Brasil, devido ao alto índice de energias renováveis do país.

De acordo com Lee *et al*. (2018) e FGV (2017), podem ser classificados de três formas pela configuração do sistema de energia do veículo: os dominantes a bateria, que possuem uma bateria de grande capacidade e a maior parte de sua energia é extraída da rede elétrica, com o sistema a hidrogênio funcionando como extensor de alcance; os dominantes a célula-combustível, nos quais a bateria é menor e são alimentados principalmente pela eletricidade das células-combustível a hidrogênio; e os totalmente a célula-combustível, tipo predominantemente utilizado, que são abastecidos com hidrogênio que na célula-combustível, em contato com o oxigênio, gera energia elétrica para os motores, sem a necessidade de acumuladores internos de armazenamento de energia como as baterias.

Os *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEVs) possuem como vantagens a emissão apenas de vapor d'água; recursos naturais de hidrogênio praticamente ilimitados (ASSUMPÇÃO, 2016); autonomia comparada a dos veículos convencionais, entre 300 e 500 quilômetros, e por isso são mais adequados para o transporte de cargas (FGV, 2017); e reabastecem muito mais rapidamente, em apenas alguns minutos, semelhantes aos veículos que têm como base o petróleo (LEE *et al*., 2018).

Como desvantagens, apresentam a dificuldade em manter o hidrogênio no estado líquido no tanque; risco de um acidente grave causado por um vazamento de hidrogênio, que faz uma mistura explosiva com o ar, já que possui o ponto de ignição relativamente baixo; falta de infraestrutura para fornecimento de hidrogênio na maioria dos países, com exceção dos Estados Unidos e de Tóquio, capital japonesa (IWAN *et al*., 2014); baixa durabilidade das células a combustível; os elevados volume e peso do sistema de armazenamento de hidrogênio; o aumento das emissões de NO_x derivado do enriquecimento de hidrogênio (TALEBIAN *et al*., 2018); e a eficiência média do sistema a hidrogênio está apenas entre 19 e 23% (NICOLAIDES *et al*., 2018b).

Segundo Lee *et al.* (2018) e Monios e Bergqvist (2019), os FCEVs possuem taxas mais caras de transferência, armazenamento e consumo de energia comparadas a dos BEVs, que devem reduzir com economias de escala, que consistem no aumento da produção sem aumento dos custos dessa etapa; com redução do preço de venda; e melhor utilização das estações de reabastecimento de hidrogênio.

2.3.4 Alimentados diretamente pela rede elétrica

De acordo com Plötz *et al*. (2019), há veículos que se movimentam alimentados diretamente pela rede elétrica através do sistema de catenária, com a ausência de estoque de energia em quantidade suficiente em acumuladores internos como as baterias, e podem ser denominados RPEV (*Road Powered Electric Vehicle*). Os exemplos mais conhecidos são dos trens e dos antigos bondes. No meio rodoviário, o exemplo mais conhecido são os caminhões *trolley*, que foram introduzidos no transporte de carga em 2016, na Suécia. Por capacidade de carga, consistem em caminhões médios, semipesados e pesados, e suas primeiras aplicações foram para atividades de mineração e próximas a portos.

Segundo Nicolaides *et al*. (2018b) e Plötz *et al*. (2019), é necessária uma altura mínima do veículo para que este sistema seja utilizado, o que os torna inadequados para carros e por isso, os custos operacionais e de infraestrutura teriam que ser suportados apenas pelo setor de transporte de cargas. Outros desafios inerentes a estes veículos são que os fios de alta tensão acima da pista podem representar uma ameaça significativa à segurança, sendo que no caso de uma colisão entre um veículo e um poste de apoio na estrada, realizar seu reparo exigiria grande esforço; por serem uma carga inflexível, seu impacto no sistema de energia é de grande relevância; e a implantação desta infraestrutura demanda altos investimentos.

Outro modelo de caminhão *trolley* que vem sendo utilizado consiste em um caminhão híbrido, cujas finalidades do motor a combustão interna e da bateria são funcionar como extensor de alcance para operar em estradas com a ausência de linhas aéreas, e permitir a ultrapassagem de outros veículos. As baterias têm autonomia entre 50 e 100 quilômetros para a operação conjunta com os motores convencional e elétrico fora do sistema de catenária (PLÖTZ *et al.*, 2019). Um sistema sofisticado de pantógrafo coleta a energia elétrica dos cabos aéreos e pode conectar e desconectar autonomamente à medida que o veículo entra e sai das seções eletrificadas da estrada, respectivamente. A figura 4 demonstra um exemplo de caminhão *trolley*.

Figura 4: Exemplo de caminhão *trolley*. **Fonte**: EVObsession (2015)

Para uma maior substituição dos caminhões convencionais pelos *trolley* no transporte urbano de cargas, será necessária uma demanda de energia elétrica extra, que deverá ser fornecida pelas usinas de energia. Com grande participação de fontes renováveis na produção de eletricidade, o Brasil está privilegiado nesta situação, com baixas emissões de CO_2 por energia gerada. De acordo com Plötz *et al.* (2019), o padrão de carga dos *trolleys* apresenta uma demanda suave com um leve pico de longa duração durante todos os dias úteis, que farão que a geração de energia extra necessária seja pequena, sendo que se os *trolleys* representassem metade do mercado de veículos elétricos, esse valor seria de apenas 10%. Também demonstraram que, mesmo na Europa, onde emissões adicionais de CO_2 serão verificadas na etapa WTT, as emissões totais de dióxido de carbono na fase WTW serão reduzidas, o que ocorrerá principalmente pela alta eficiência dos motores elétricos.

2.4 Baterias

As baterias são acumuladores elétricos que armazenam energia química que sucessivamente é convertida em energia elétrica. De acordo com Naumanen *et al.* (2019), o progresso das tecnologias das baterias, em toda sua cadeia de valor e economia circular; nas etapas de exploração, mineração, processamento de matérias-primas, design, produção, utilização e gerenciamento no fim da vida útil, determina sua economia e sustentabilidade no ciclo de vida. A maioria dos veículos utiliza uma bateria

de íon de lítio, que vem experimentando reduções de preço nos últimos anos em decorrência de sua maior utilização (KAWAKAMI *et al.*, 2018), porém ainda apresentam baixa energia específica, entre 0,15 e 0,2 kWh/kg, contra 12 kWh/kg da gasolina (MARGARITIS *et al.*, 2016; NICOLAIDES *et al*., 2018b).

Segundo Assumpção (2016), são responsáveis pela maior parte do peso dos veículos elétricos, por serem compostas por muitos metais. Quanto maior for o seu número, com o intuito de aumentar a autonomia do veículo, há redução de carga útil, que é compensada pela ausência de partes dos veículos a combustão interna, como a caixa de câmbio e o tanque de combustível, além do motor e sistema de transmissão serem mais leves, compensando parcialmente a diferença na tara dos veículos. Têm como principais parâmetros de avaliação a vida útil, o tempo de recarga, a densidade energética e a energia específica.

2.4.1 Parâmetros das baterias

As baterias possuem quatro parâmetros principais que serão descritos nessa seção: vida útil, tempo de recarga, densidade energética e energia específica.

2.4.1.1 Vida útil

A vida útil é baseada no número de ciclos de recarga que uma determinada bateria é capaz de suportar. A bateria deve ser dimensionada para que sua vida útil seja o maior possível de forma a evitar a sua substituição (ASSUMPÇÃO, 2016), cujos custos são muito elevados. Tal fato beneficia principalmente os TCO de frotas de veículos com baterias de maior capacidade. Segundo Quak *et al*. (2016a), uma bateria cuja profundidade de descarga seja limitada durante uma viagem aumenta a vida útil, mantém os valores de alcance e reduz significativamente os custos de recarga do veículo elétrico. A profundidade de descarga corresponde à capacidade de carga retirada da bateria num ciclo e é expressa em percentagem da capacidade nominal desta. Recargas rápidas, realizadas em poucos minutos, são prejudiciais à bateria e podem reduzir sua vida útil. Além disso, necessitam de uma elevada potência da rede, que nem sempre está disponível. Sobrecargas frequentes e manter a bateria por longos períodos com altos valores de SoC (*State of charge*) também diminuem com o passar do tempo o alcance da bateria. A defasagem algumas vezes ocorrida entre o tempo de vida útil previsto e o real faz com que a participação acionária seja menor que a cota de mercado

para determinadas empresas do ramo (PALENCIA *et al.*, 2017), fato que ocorre também com a autonomia, e é prejudicial para os operadores logísticos, devido à necessidade de uma substituição da bateria mais rápida que o esperado.

Segundo Tanco *et al*. (2019), o envelhecimento da bateria se dá por dois aspectos: o calendário e o ciclo. O envelhecimento pelo calendário consiste na degradação da bateria com o decorrer do tempo e depende de fatores como a temperatura e o SoC. Pelo ciclo, o envelhecimento ocorre pela capacidade nominal da bateria que é perdida a cada vez que ela é descarregada e recarregada, e depende da profundidade de descarga, percentual de carga e descarga e tensão. De acordo com Romão *et al*. (2019), as baterias atuais costumam durar de 500 a 2000 ciclos, e Hoekstra (2019) demonstrou que a tendência é que esses ciclos aumentem para valores entre 5000 e 10000 até 2030. Segundo Wang e Thoben (2016), as baterias atuais com 3000 ciclos duram em média 8,2 anos se forem recarregadas completamente uma vez por dia. A vida útil da bateria termina quando a voltagem de uma célula, módulo ou pacote perde 20% de sua tensão máxima, atingindo 80% do seu *State of Health* (SOH) inicial. Taefi *et al*. (2017) asseveram então, que o número de substituições das baterias e o tempo entre cada uma devem ser considerados nos cálculos de TCO, pois podem prejudicar a competitividade dos VEs de carga.

2.4.1.2 Tempo de recarga

O tempo de recarga é o tempo que uma bateria completamente descarregada leva para ser totalmente recarregada. Quanto menor o tempo de recarga melhor, pois o veículo precisará ficar menos tempo parado. Veículos elétricos apresentam um tempo de recarga muito alto em comparação com o tempo de abastecimento de um veículo a combustão interna, sendo esta uma desvantagem considerável (ASSUMPÇÃO, 2016).

2.4.1.3 Densidade energética

A densidade energética é a energia armazenada por unidade de volume da bateria, que deve ser a maior possível, proporcionando o uso de menores células ou quantidades de células nos veículos, reduzindo o espaço do banco de baterias e aumentando a carga útil (ASSUMPÇÃO, 2016). O aumento da densidade energética que vem ocorrendo é decorrente de mudanças nas químicas das células das baterias (GROUPE RENAULT, 2017).

2.4.1.4 Energia específica

Assumpção (2016) descreveu energia específica como a energia armazenada por unidade de massa. Os valores de energia específica apresentados pelas baterias de veículos elétricos são muito inferiores às utilizadas nos combustíveis convencionais. Porém, como os veículos elétricos são mais eficientes que os convencionais, esta grande diferença em termos de energia específica acaba sendo compensada.

2.4.2 Tipos de bateria

Existem diversos tipos de baterias de VEs no mercado, que se diferem em capacidade e química, conforme será demonstrado a seguir.

2.4.2.1 Baterias de íon de lítio

Para Zhang e Yu (2019), as baterias de íon de lítio (LIBs) estão dominando o mercado de veículos elétricos e vêm aumentando seus índices de utilização devido a parâmetros de eficiência muito vantajosos, como alta densidade energética, longa vida útil, longos ciclos de carga e descarga, alta tensão nominal e boa estabilidade. Conforme demonstrado por Steward *et al.* (2019) e Hoekstra (2019), são as mais utilizadas para armazenamento de eletricidade em larga escala e em dispositivos portáteis, onde são utilizadas quase exclusivamente; possuem uma previsão de grande crescimento nos próximos 15 a 20 anos na área da eletrônica de potência; e são fundamentais para o crescente suprimento de energia através de fontes renováveis, como solar e eólica.

De acordo com Zivancev *et al*. (2018), as LIBs representam cerca de 37% do mercado mundial de baterias recarregáveis atualmente. Segundo Chen *et al*. (2019), no período entre 1996 e 2016, as vendas de LIBs aumentaram em média 16% ao ano, e projeta-se que em 2025 suas vendas atinjam mais de US$ 15 bilhões apenas com os BEVs e híbridos. Sua escala crescente de fabricação fez seu preço médio reduzir de 1000 US$/kWh em 2005 para 200 US$/kWh em 2016. Sonoc *et al*. (2015) apresentaram previsões que por volta de 2030, das químicas de baterias já existentes, apenas as de íon de lítio irão satisfazer os requisitos dos veículos elétricos; em 2040, o crescimento das LIBs fará com que seus resíduos cheguem a 340000 toneladas por ano; e em 2050, a produção de VEs chegará a 100 milhões anuais.

Segundo Gao *et al*. (2019), seu ânodo é uma placa de cobre com uma mistura de grafite,

natural ou artificial, que é condutor de eletricidade; aglutinante de fluoreto de polivinilideno (PVDF) e aditivos como o hexafluorosfato de lítio (LiPF6) revestidos na placa. De acordo com Steward *et al*. (2019), o grafite ainda predomina nos ânodos das LIBs, mas pesquisadores vêm introduzindo o silício como uma alternativa por suas vantagens de menores custos e maior capacidade de energia. Carvalho *et al*. (2014) demonstraram que o silício é o segundo elemento de maior abundância no planeta, ocupando 28% da crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio, que compõe quase 50% da crosta. O lítio é o principal componente eletrolítico e do cátodo, que é uma placa de alumínio com uma mistura entre metais ativos que possuem qualidades elétricas, um aglutinante de PVDF, um condutor e aditivos revestidos na placa. Os dois tipos mais comuns nas baterias de BEVs são o de óxido de lítio-níquel-manganês-cobalto (NMC) e o de óxido de lítio-níquel-cobalto-alumínio (NCA), que apresentam as maiores vida útil, densidade energética e energia específica.

Hoekstra (2019) demonstrou que enquanto cerca de 43 kg/kWh de GEE são emitidos na fase de produção do cátodo NCA, esse valor para o NMC varia entre 37 e 58 kg/kWh, ambos os dados medidos nos EUA. Essas emissões podem ser menores no Brasil devido ao alto índice de energias renováveis do país. Conforme demonstrado por GALT Energia (2018), o cátodo NMC é dividido igualmente em um terço de níquel, manganês e cobalto; e o NCA é composto por 80% de níquel, 15% de cobalto e 5% de alumínio. Segundo Steward *et al.* (2019), o eletrólito orgânico, o separador, o ânodo e o cátodo são laminados e comprimidos juntos para criar um contato elétrico entre eles. O eletrólito atua como um componente inerte e os separadores normalmente são feitos de finas folhas de plástico. Diferentes materiais eletrolíticos são utilizados, incluindo um eletrólito não-aquoso feito de sais de lítio solubilizados em solvente orgânico, outro aquoso de sais de lítio solubilizado em água, eletrólitos poliméricos e aditivos para retardar as reações secundárias. Segundo Sonoc *et al*. (2015), no eletrólito não-aquoso, o sal geralmente é o $LiPF_{6,}$ que é responsável por 10% do peso do eletrólito e o solvente normalmente é uma mistura dos carbonatos de etileno e de propileno. O eletrólito corresponde a cerca de 12% a 14% da massa de uma célula de baterias de automóveis de geometria em bolsa e absorve o conteúdo poroso da célula.

De acordo com Steward *et al*. (2019), uma ameaça que as LIBs enfrentam é que a extração atual dos materiais nas minas é limitada a alguns países, criando problemas de disponibilidade, suprimento e variações de preço, além de manter a dependência de

importar matérias-primas. Há a perspectiva de dificuldades para realizar o suprimento de lítio e cobalto devido ao enorme aumento da demanda esperado para os próximos anos, combinados com a oferta limitada, o que pode interromper a produção de novos modelos de VEs. A situação será pior no caso do cobalto, porque cerca de 59% da sua produção está concentrada na República Democrática do Congo, onde há graves conflitos étnicos pela exploração do metal (DW, 2018).

Segundo Steward *et al*. (2019), é projetado para esta década o desenvolvimento de cátodos que sejam mais ricos em níquel e com baixo teor ou livres de cobalto. O cátodo NMC passaria a ter 60% ou 80% de níquel e 20% ou 10% de manganês e cobalto (NMC 622 e NMC 811, respectivamente). Esta tendência é verificada também para os cátodos NCA, os mais utilizados nos caminhões da Tesla, principal montadora mundial de veículos elétricos. Esta medida, junta à introdução do ânodo de silício, utiliza elementos de maior abundância na natureza para auxiliar no aumento da demanda pelos VEs que será verificado. Além do grafite, mostrado na Tabela 6, o Brasil produz 8,3% do manganês mundial, 3,8% do níquel (USGS, 2017), 3% do silício (CARVALHO *et al*., 2014), e é o 14º maior produtor mundial de alumínio, com uma produção de 659 mil toneladas, e este elemento representa 1,7% das exportações nacionais (ABAL, 2018). A Tabela 6 mostra os três países líderes na produção de cada material que compõem as LIBs.

Tabela 6: Maiores produtores mundiais dos materiais das LIBs

	Países			
Produto	**1º lugar**	**2º lugar**	**3º lugar**	**Total (ton)**
Níquel	Filipinas (11%)	Canadá (10%)	Rússia e Austrália (9%)	2,1 milhões
Manganês	África do Sul (33%)	China (16%)	Austrália (14%)	16 milhões
Cobalto	RD Congo (59%)	Rússia (5,1%)	Austrália (4,6%)	110 mil
Alumínio	China (54%)	Rússia (6%)	Canadá (5%)	60 milhões
Grafite	China (67%)	Índia (13%)	Brasil (8%)	1,2 milhão
Lítio	Austrália (43%)	Chile (32,8%)	Argentina (13,5%)	43 mil
Silício	China (66,4%)	Rússia (9,1%)	EUA (4,7%)	2,1 milhões

Fonte: USGS (2017) e Carvalho *et al*. (2014)

Zivancev *et al*. (2018) apresentaram uma previsão que até 2024, a indústria de baterias demandará a quantidade de lítio que atualmente é suficiente para todas as finalidades.

Segundo Karasinski (2013), o lítio é difícil de ser encontrado, o que torna o processo caro e muito trabalhoso para que se consiga extrair alguns quilos do elemento. Normalmente se encontram em regiões de características muito peculiares, como áreas vulcânicas e próximas a desertos de sal, como o Salar de Uyuni, na Bolívia, e o Deserto de Atacama, no Chile, países que possuem as maiores reservas mundiais do metal. O Chile possui a segunda maior reserva de lítio do mundo e ocupa a mesma classificação na produção, atrás da Austrália, e a Bolívia ainda estuda como explorar o recurso no qual possui a maior reserva mundial, o que pode lhe proporcionar grandes benefícios no futuro. De acordo com Zivancev *et al*. (2018), outro país que possui grandes reservas de lítio é a Sérvia, com cerca de 227 milhões de toneladas na Bacia do Jadar, mas segundo Gomez e Savic (2019), apenas 1 milhão de toneladas dessa reserva já está catalogada no centro de pesquisa geológico dos EUA (*US Geological Survey*), e o país também ainda não definiu como explorar o elemento, que muito provavelmente será um investimento seguro devido ao alto volume de lítio do país.

Devido às particularidades da localização, desenvolveu-se uma nova forma de extrair o elemento. Magnus Mundi (2016) demonstrou que o lítio costuma ser encontrado a cerca de 45 metros de profundidade e não é encontrado em estado nativo, mas sim dissolvido em água salgada na forma de uma salmoura de lama grossa, e toda a matéria-prima é bombeada para a superfície e derramada em piscinas rasas de evaporação, onde é seca devido ao forte calor dos desertos, que também faz com que o material atinja um alto grau de saturação, a água seja evaporada e o lítio obtido com alto grau de concentração química. O processo tem duração de tempo entre 18 e 24 meses e varia de acordo com o local que é realizado, e sua concentração chega a atingir um nível sessenta vezes maior que quando foi primeiramente extraído. Após isso, o lítio é refinado e separado de outros elementos como o sódio. A figura 5 apresenta as piscinas utilizadas nesse procedimento.

Figura 5: Piscinas utilizadas no processo de extração do lítio. **Fonte**: Magnus Mundi (2016)

Quando utilizadas nos VEs, normalmente duram em média entre oito e dez anos de uso (VOLAN *et al*., 2019). São classificadas como materiais perigosos da categoria 9 (substâncias e artigos perigosos diversos) devido às suas qualidades térmicas e elétricas instáveis; porque contém uma alta porcentagem de metais pesados perigosos; e ao risco de fuga térmica se manuseados incorretamente durante o transporte, por isso devem passar por rigorosos testes antes do envio por vias terrestres, aéreas ou marítimas, que ainda enfrenta aumento dos custos devido à classificação (CHEN *et al*., 2019; ZIVANCEV *et al*., 2018).

Quando a bateria é recarregada, os elétrons do lítio se desintercalam do óxido de metal e são intercalados em uma unidade de armazenamento de grafite, onde ficam presos até o momento em que se ligam a um eletrólito repleto de sais de lítio, que permite que voltem a fluir de forma controlada para dentro da corrente e alimentem os equipamentos. Durante a descarga da bateria, o processo ocorre de forma oposta. Os problemas ocorrem quando um pequeno defeito ou dano é sofrido pelos finos separadores que impedem que elementos da bateria entrem em contato direto, levando a um curto-circuito interno e consequentemente, ao rápido acúmulo de calor. Esse calor causa a "fuga térmica", na qual a bateria fica superaquecida e pode entrar em combustão, o que pode fazer com que células adjacentes também fiquem excessivamente quentes,

originando uma perigosa reação em cadeia que pode causar um incêndio (ROCHA, 2015), um grave problema que precisa ser superado com a evolução tecnológica das baterias, que teria como ideal serem inertes. Sua temperatura de trabalho deve ser controlada abaixo dos 50º C para evitar que a capacidade da bateria seja reduzida (ZHANG E YU, 2019). Conforme demonstrado por Iwan *et al*. (2014) e Wang *et al*. (2020), em muitos dos carros elétricos atuais, diferentes variações desta bateria são aplicadas, como cátodos com base em fosfatos ou espinélios e ânodos com base em titânio, o que ajuda a aumentar sua eficiência e vida útil.

As desvantagens desse tipo de bateria são o comprometimento de seus parâmetros ao longo do tempo e sua produção envolve componentes muito nocivos e relativamente dispendiosos. Produzem no máximo 3,6 V em uma única célula; podem acumular o dobro de energia em comparação com as baterias de níquel-hidreto metálico; e não apresentam o risco de sofrerem problemas devido ao "efeito memória", que consiste em uma queda abrupta na voltagem fornecida pela bateria próxima ao ponto em que quase não resta mais nenhuma carga e consequentemente, o desligamento do veículo, originado quando as baterias não são descarregadas até o SoC mínimo ou quando são mantidas no carregador em funcionamento além do tempo necessário para recarga. O carregador começa a provocar mudanças químicas na estrutura da bateria, mudando o hidróxido de níquel de sua forma de cristais 'beta', que produz mais energia, para sua forma de cristais 'gama', que produz menos energia, fazendo com que estas partes passem a enviar corrente durante o uso com uma voltagem menor (SIQUEIRA, 2019). Sua tensão prática mais baixa é de 3 V, e um módulo de proteção do circuito junto a uma faixa de compressão e uma caixa protetora do pacote, evitam que a bateria descarregue abaixo desse valor e possíveis sobrecargas (SONOC *et al*., 2015). Apresentam altos valores de energia específica, entre 150 e 200 Wh/kg (MARGARITIS *et al*., 2016) e de densidade energética, entre 185 e 220 Wh/l (HARDING ENERGY, 2020), quando comparadas a outras baterias, porém ainda é necessário que esses valores sejam maiores.

Outro problema que enfrentam é que a reciclagem do lítio das baterias após o término de sua vida útil ainda não é habitual e pouco foi reciclado ao longo dos últimos anos, com taxas inferiores a 1%, o que ocorre porque o preço do lítio reciclado é até cinco vezes mais caro do que outros processos a base de salmoura (TANCO *et al*., 2019). Com uma taxa de reciclagem de 100% das LIBs, no mínimo 90% do lítio seria

recuperado, o que garantiria o suprimento necessário para todo o século XXI junta à extração de lítio realizada, além de aumentar as eficiências energética e de recursos. A reciclagem de baterias de VEs deve vir a fornecer aproximadamente 50% do lítio necessário para a produção de novas baterias em 2040. O lítio está entre 5% e 7% da composição das LIBs (ZIVANCEV *et al*., 2018).

O processo mais adequado para sua recuperação é a moagem criogênica, que consiste em quando se utiliza nitrogênio líquido a – 196º C para diminuir a temperatura do elemento e reduzi-lo a um tamanho de partícula. Nessa temperatura, o lítio dentro das células não reage. Após isso, as baterias são trituradas e imersas em água. O íon de lítio reage com a água e produz hidróxido de lítio e gás hidrogênio, que é queimado acima da solução (AVEKA, 2020; SONOC *et al*., 2015). Um aspecto positivo é que o crescente uso deste tipo de bateria nos veículos elétricos vem aumentando seu total de reciclagem, com a capacidade global total para fabricação de LIBs de veículos crescendo de 31 GWh em 2016 para valores entre 120 e 549 GWh em 2020, o que exigiu mais de 550000 toneladas dos materiais lítio, cobalto, manganês, níquel e grafite somados (STEWARD *et al*., 2019; WANG *et al*., 2020).

Os resíduos de baterias são importantes fontes secundárias de metais, que podem estar em concentrações muito altas, em alguns casos até superiores às encontradas nos minérios (ZIVANCEV *et al*., 2018). Na União Europeia, a reciclagem de VEs em fim de vida útil atingiu 95% em 2015, para recuperar peças e principalmente os metais que constituem as baterias. Em 2016, foram geradas entre 8 e 9 milhões de toneladas de resíduos de VEs na região e entre 80 e 100% dos materiais dos veículos foram recuperados ou reciclados. No mesmo ano, mais de 94000 toneladas de baterias foram recicladas mundialmente, sendo 50% na Europa e 33% na China. Nos EUA, quase todos os automóveis são reciclados e aproximadamente 86% dos materiais destes veículos são recuperados ou utilizados para produção de energia (STEWARD *et al*., 2019).

Com o crescimento das LIBs no mercado, é necessário realizar investimentos que garantam a disponibilidade de infraestrutura para quando o nível de reciclagem necessário atingir um maior volume. Wang e Thoben (2016) demonstraram que a projeção do total de VEs e baterias a serem reciclados nos próximos anos corresponde às vendas de veículos elétricos nos anos anteriores aliadas à sua vida útil e taxas

históricas de descarte. Segundo Volan *et al*. (2019), para isso ocorrer, depende de grande empenho dos governos para incentivar as montadoras a reciclar as baterias dos VEs, assim como dos fabricantes de baterias, que devem optar por um *design* que facilite a reciclagem e realizar a identificação dos componentes utilizados, aumentando a segurança do processo. Economias de escala devem ajudar a reduzir os custos de reciclá-las e tornar o processo ainda mais econômico comparado à extração de novos materiais. Para Chen *et al*. (2019), a reciclagem das LIBs é de fundamental importância por três razões principais: reduzir as incertezas associadas à flutuação dos custos dos materiais, equilibrar as desiguais distribuição e produção de materiais essenciais, e abordar a situação do transporte durante o descarte dessas baterias.

À medida que as baterias de íon de lítio se tornaram as líderes em utilização nos veículos elétricos, aumentou o número de pesquisas cujos objetivos são melhorar seu desempenho e reduzir custos. De acordo com Steward *et al*. (2019), os esforços das pesquisas estão concentrados em seis áreas: reduzir as dimensões dos materiais ativos, que são aqueles que sofrem redução ou oxidação, para melhorar o transporte de íons e aumentar a estabilidade mecânica; melhorar as propriedades mecânicas dos meios condutores; ajustar a química das baterias para melhorar o transporte de elétrons; aumentar as estabilidades química e térmica; ajustar a morfologia das partículas; e desenvolver revestimentos para reduzir a decomposição de materiais ativos e as modificações de soluções eletrolíticas. Segundo Zhang e Yu (2019), o aumento na sua utilização, ao mesmo tempo que está aumentando a potência e diminuindo o volume, está aumentando também o calor, o que pode colocar em risco a vida útil e a segurança das baterias.

Steward *et al*. (2019) demonstraram que as previsões para as próximas décadas são de alterações na química das baterias, pois atualmente já se investiga ânodos de metal de lítio, baterias de estado sólido que empregam eletrólito inorgânico ou polimérico e baterias de lítio-enxofre com cátodos contendo altos volumes de enxofre e ânodos de lítio. As baterias de metal de lítio têm energia específica mais de 10 vezes maior que o ânodo das LIBs, as de estado sólido podem oferecer altas energia e densidade de potência, enquanto as de lítio-enxofre tem o maior potencial para alcançar um alto valor de densidade energética a baixo custo (LEBEDEVA *et al*., 2020). Hoekstra (2019) demonstrou que esta última tem custos e impactos ambientais menores que as de íon de lítio; que avanços como o eletrólito sólido aumentarão a vida útil, e por consequência, a

distância percorrida pelos veículos, tornarão as baterias não-inflamáveis e proporcionarão segurança na abertura das baterias após serem totalmente descarregadas durante o processo de reciclagem.

De acordo com Sonoc *et al.* (2015), os íons de lítio estão presentes no eletrólito sólido como carbonato, fluoreto ou polímeros orgânicos, todos de lítio, e em quantidades muito menores que os íons de lítio livres. Os carbonatos e fluoretos não são reativos e os polímeros orgânicos são menos reativos que os íons livres. Zivancev *et al.* (2018) demonstraram que uma bateria que já vem sendo testada é a de lítio-ar, que utiliza oxigênio do ar e tem a energia específica mais alta do que qualquer outra tecnologia de bateria, de 3500 Wh/kg, o que daria a um VE uma autonomia superior a 500 quilômetros.

2.4.2.2 Baterias de chumbo-ácido

Historicamente as mais antigas, desenvolvidas inicialmente em 1859, consistem em várias células de chumbo-ácido conectadas em série que geram energia eletromotriz ao nível de 2,1 V, que corresponde à soma de todas as células (IWAN *et al*., 2014). Qiao *et al*. (2017) demonstraram que são compostas por aproximadamente 6% de polipropileno, 69% de chumbo, 8% de ácido sulfúrico, 2% de fibra de vidro, 14% de água e 1% de outros elementos. Como vantagens, seu processo de reciclagem é mais fácil que nas de íon de lítio, por apresentarem uma única fórmula química (CHEN *et al*., 2019); é lucrativo porque o chumbo reciclado possui alta pureza e pode ser reciclado novamente após o fim da vida útil das novas baterias, enquanto a solução eletrolítica é drenada e sujeita a processamento químico adicional (STEWARD *et al*., 2019). Sua taxa de reciclagem atualmente chega a atingir cerca de 99% do total de baterias (VOLAN *et al*., 2019). De acordo com Sonoc *et al.* (2015), existe um procedimento no qual as fabricantes de veículos são obrigadas a coletá-las ao fim de sua vida útil e recebem um valor para devolvê-las aos seus fabricantes para posterior reciclagem.

Possuem a resistência interna pequena, tornando possível o fluxo de grandes correntes, motivo pelo qual as baterias de chumbo-ácido são aplicadas juntas ao motor a combustão interna nos veículos híbridos. Suas principais desvantagens são o peso relativamente alto e risco de vazamento de eletrólito (IWAN *et al*., 2014). Apresentam baixa densidade energética, variando entre 50 e 82 Wh/l; e limitada energia específica, com valores entre 18 e 56 Wh/kg (D'AGOSTO, 2015 *apud* ASSUMPÇÃO, 2016).

2.4.2.3 Baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH)

As baterias de níquel hidreto-metálico são caracterizadas por uma menor eficiência, que corresponde a 65% do total das de chumbo-ácido, porém, são muito mais leves e oferecem uma vida útil mais longa, podendo ser utilizadas por longos períodos, chegando a durar cerca de 10 anos quando utilizadas em carros híbridos, o correspondente a percorrer aproximadamente 160000 quilômetros. No entanto, sua capacidade cai consideravelmente em baixas temperaturas, apresentando um alto nível de resistência interna, o que exige um ciclo de recarga especial (IWAN *et al*., 2014). Apresentam altos valores de densidade energética, variando entre 152 e 215 Wh/l, e limitada energia específica, com valores entre 54 e 80 Wh/kg (D'AGOSTO, 2015 *apud* ASSUMPÇÃO, 2016).

2.4.2.4 Baterias Zebra

As baterias Zebra são baseadas em cloreto de alumínio fundido e cloreto de sódio como eletrólitos, formando o tetracloroaluminato de sódio (NaAlCl4). A tecnologia é por vezes referida como "tecnologia de sal quente", devido à necessidade de aquecer a bateria antes de usá-la, e são caracterizadas por uma durabilidade considerável (milhares de ciclos de recarga). As desvantagens desta solução são esta necessidade de aquecer a bateria antes de utilizá-la e de mantê-la numa temperatura especificada (cerca de 270°C), o que leva a custos adicionais; e a baixa densidade de potência, ao nível de 120 W/l (IWAN *et al*., 2014).

A seção 2.5 a seguir irá tratar dos incentivos, investimentos e projetos realizados pelo mundo para o crescimento dos veículos elétricos.

2.5 Incentivos, investimentos e projetos realizados pelo mundo

Muitos países ao redor do mundo vêm tomando medidas e ações ambiciosas para reduzir as emissões de GEE originadas dos transportes. Para Pessanha *et al*. (2011), políticas públicas aliadas às estratégias financeiras em diversos países demonstram uma tendência mundial crescente e irreversível de penetração dos VEs no mercado, as quais se juntam à necessidade de conter a dependência dos combustíveis fósseis, os poluentes originados da sua queima e a emissão de gases de efeito estufa.

Fiori e Marzano (2018) demonstraram que a meta da União Europeia (UE) é reduzir em

80% suas emissões de gases de efeito estufa até 2050 em relação aos níveis de 1990, e segundo Rastani *et al*. (2019), a meta para o setor de transportes é de 60%, reduzindo pela metade o número de veículos a combustão interna até 2030 e eliminá-los no ano de fim da meta nos principais centros urbanos, e outra meta é que a atividade de logística esteja livre de emissões de CO_2 até 2030. De acordo com Baran e Legey (2011), em 1992, o bloco econômico definiu sua política de transportes através da expressão "uma estratégia para a mobilidade sustentável". Segundo Kampker *et al*. (2018), a União Europeia pretende reduzir os valores de emissões de CO_2 para veículos semipesados e pesados em 15% para 2025 e em ao menos 30% para 2030, comparadas aos valores de 2019. De acordo com Ehrler *et al*. (2020), dez prefeitos de capitais da União Europeia em conjunto solicitaram que as emissões de carbono relacionadas aos transportes na região até 2050 tenha zero como meta. Também demonstraram que o bloco econômico lançou o projeto *Green eMotion* para promover o uso de fontes renováveis no transporte rodoviário, incluindo na pauta durante reunião em Bruxelas em 2011, o uso de VEs.

Para Volan *et al*. (2019), substituir completamente os veículos a combustão interna por VEs na região é possível no futuro, pois já há países implementando políticas e regulamentações proibindo a venda de veículos movidos a combustíveis fósseis. De acordo com Giordano *et al*. (2018), a Holanda quer proibir as vendas de veículos a combustão interna até 2025 e a Alemanha até 2030, e que alguns países membros do bloco, como a Noruega, por volta dos anos de 2007 e 2008, começaram a implementar um sistema de tributação para fabricantes de automóveis baseado nas emissões de CO_2. Segundo Juan *et al*. (2016), foi desenvolvido na região o princípio "usuário e poluidor-pagador" relativo ao uso da infraestrutura, no qual por exemplo, os condutores pagam maiores tarifas de pedágio em áreas montanhosas se seus veículos poluem o ar. O grupo de países da organização acredita que estas medidas reduzirão a dependência dos transportes europeus dos combustíveis fósseis, que é de 94%, sendo 84% destes importados (PARLAMENTO EUROPEU, 2013). Porém, da mesma forma que ocorreu no Brasil, as políticas quanto aos veículos elétricos de carga ficaram atrasadas em comparação aos veículos particulares, já que os subsídios governamentais para a aquisição do segundo não se aplicam aos veículos elétricos de maior capacidade de carga, sendo utilizados apenas para veículos comerciais leves. Esses incentivos contribuíram para que em 2017 houvesse um aumento de 37% nas vendas de veículos elétricos particulares em comparação com o mesmo período do ano anterior na UE,

porém isso representa uma participação de mercado total de apenas 1,4% (KAMPKER *et al*., 2018).

Naumanen *et al*. (2019) demonstraram que a União Europeia implementou medidas para o progresso das tecnologias de baterias com seis objetivos: garantir o acesso às matérias-primas de países ricos em recursos fora da região; apoiar a fabricação de células de baterias em larga escala na região e uma cadeia de valor competitiva, reunindo os principais agentes da indústria e as autoridades nacionais e regionais; reforçar a liderança industrial apoiando à investigação e introdução de tecnologias disruptivas; desenvolver e fortalecer uma força de trabalho altamente qualificada em sua cadeia de valor; apoiar a fabricação de células de bateria com a menor pegada ambiental possível; e garantir consistência com uma estrutura mais ampla de habilitação e regulamentação em apoio à implantação de baterias e armazenamento de energia. O projeto é denominado Plano de Ação Estratégico sobre Baterias. Para a fabricação de células com baixa pegada ambiental e sua posterior colocação em módulos e pacotes, Hoekstra (2019) demonstrou estudos que estimam a produção de altos volumes com emissões de GEE de apenas 2 a 5 kg/kWh.

De acordo com Talebian *et al*. (2018), na Colúmbia Britânica, Canadá, há a meta de reduzir as emissões em 80% até 2050 comparadas aos valores de 2007, reduzindo as emissões dos veículos de transporte de cargas em 50% até 2027 em relação aos níveis de 2010, porém um problema para que este objetivo seja cumprido é a previsão de crescimento de 20% do PIB na província, o que está diretamente ligado ao aumento do número de caminhões de carga, e seria difícil com isso obter a meta desejada e garantir simultaneamente o crescimento econômico.

Conforme demonstrado por Kawakami *et al*. (2018), a meta japonesa até 2050 é reduzir as emissões de GEE em 80% em relação aos níveis de 2016, e em 26% no período de 2013 a 2030. Porém, Palencia *et al*. (2017) discursaram que apesar da implantação em larga escala dos veículos elétricos, há a previsão que a gasolina e o diesel ainda representarão mais da metade da energia consumida em 2050, o que impediria a realização das metas de redução de emissões de GEE e evidenciaria a dificuldade em descarbonizar o transporte rodoviário de mercadorias.

Tanco *et al.* (2019) discorreram sobre a América Latina e apresentaram que uma barreira que a região ainda enfrenta à expansão do uso dos VEs é a diferença de regulamentos e incentivos pelos países: nas regras, enquanto o Chile adotou o plano Euro VI de redução de emissões, o Uruguai ainda não tem nenhum regulamento neste aspecto. Nos incentivos, a Colômbia tem isenção de IVA (Imposto sobre Valor Agregado) para BEVs, enquanto Argentina, Chile e Uruguai não. Isenções de tarifas de importação também existem somente em alguns países.

De acordo com Iwan *et al*. (2019), a adoção dos VEs nos países em desenvolvimento tem características e problemas próprios. Mudanças nas prioridades políticas, nas estruturas governamentais e regulatórias, com a ausência de continuidade de muitos projetos após trocas no governo; benefícios da legislação e subsídios a combustíveis fósseis para apoiar objetivos políticos; taxas instáveis de desenvolvimento; altas taxas de juros; velocidades de difusão tecnológica e de transição dos sistemas logísticos tradicionais para os modernos menores comparadas aos países ricos; alterações contínuas na estrutura competitiva das indústrias de veículos e de logística; incertezas quanto à extensão e natureza das restrições às emissões de carbono, o que atrapalha os investimentos nos VEs dos fabricantes de veículos. Embora adotem medidas políticas diferentes, apresentam tendências comuns como regulamentação pesada do estado e controle sobre o comércio, preços e produção de energia e mudanças recentes em direção à desregulamentação e privatização. Entre os países em desenvolvimento, apenas China e Índia adotaram os VEs como uma prioridade. De acordo com Navarro *et al*. (2016), o aumento da participação de empresas privadas facilita tornar os modelos de negócio financeiramente viáveis. Comparando estes países, a elasticidade-preço da demanda e da oferta aumentam à medida que o nível de renda diminui.

Os veículos elétricos têm potencial para serem cada vez mais importantes para o equilíbrio das balanças comercial e energética dos países. Atualmente, muitos países têm a capacidade de produzir energia elétrica para satisfazer as suas necessidades e investimentos cada vez maiores em veículos elétricos fariam com que reduzissem em grande quantidade suas importações de energia (PORCHERA *et al*., 2016). Conforme demonstrado por Ehrler *et al*. (2019), o principal objetivo dos incentivos financeiros é reduzir o custo de aquisição dos veículos, já que muitos motoristas não estão dispostos a pagar mais caro mesmo que os VEs sejam mais sustentáveis. A Tabela 7 apresenta

incentivos financeiros e investimentos em infraestrutura ao redor do mundo para o estímulo à produção e comercialização de veículos elétricos ou híbridos.

Tabela 7: Incentivos financeiros e investimentos em infraestrutura pelo mundo

País	Incentivos financeiros	Infraestrutura
Alemanha	Isenção de taxas de licenciamento.	Quatro regiões foram escolhidas para demonstração de elétricos puros e híbridos *plug-in*.
China	Subsídios para a compra de veículos de até 60 mil yuans.	-
Dinamarca	Isenção de impostos de registro e de licenciamento.	70 milhões de coroas dinamarquesas para o desenvolvimento da infraestrutura de recarga.
Espanha	Subsídios de até 25% no preço do veículo antes dos impostos no montante de até € 6 mil.	Incentivos públicos para um projeto-piloto de demonstração. Incentivos para instalação de infraestrutura de recarga em colaboração entre os governos federal e regionais.
Estados Unidos	Até US$ 7,5 mil em crédito no valor de venda, de acordo com a capacidade da bateria. Há redução progressiva até o fabricante atingir duzentos mil veículos produzidos. Também há incentivos por parte de alguns estados.	Crédito de imposto de 30% do custo para instalações comerciais de postos de recarga (limite de US$ 30 mil). Crédito de imposto de até US$ 1 mil para instalações residenciais. US$ 360 milhões destinados à infraestrutura em projetos-

		piloto.
Finlândia	€ 5 milhões destinados ao programa nacional de desenvolvimento de veículos elétricos.	€ 5 milhões destinados à infraestrutura no âmbito do programa nacional de desenvolvimento de veículos elétricos.
França	€ 450 milhões em descontos concedidos aos consumidores que comprarem veículos eficientes, com 90% desse montante advindo de taxas sobre os veículos ineficientes e 10% de subsídios diretos.	€ 50 milhões para cobrir 50% do custo com infraestrutura de recarga (equipamento e instalação).
Holanda	Redução de impostos no valor de 10% a 12% do custo do veículo.	Quatrocentos postos de recarga apoiados por incentivos.
Índia	Subsídio de 100 mil ou 20% do preço do veículo, prevalecendo o que for menor. Incentivos fiscais para elétricos puros e híbridos *plug-in*.	Há planos para facilitar a instalação de postos elétricos.
Itália	Isenção de taxas de licenciamento nos primeiros cinco anos. A partir do sexto ano, o desconto é de 75%.	-
Japão	Isenção de taxas de aquisição e sobre o peso do veículo. Incentivos de até ¥ 850 mil para a	Apoio para custear até 50% do custo do equipamento de recarga, limitado a até ¥ 1,5 milhão

	compra de elétricos puros e híbridos *plug-in.*	por carregador.
Noruega	Isenção de impostos sobre a compra de automóveis elétricos, e de importação para elétricos puros. Ausência de taxas de licenciamento e de estacionamento, esta última nos centros das cidades. Menor valor anual de impostos comparados aos veículos a combustão interna.	O governo investiu cerca de € 6,5 milhões na construção de dois mil postos de recarga. Em 2013, 4,5 mil postos já estavam disponíveis. A recarga é gratuita em grande parte destes postos.
Reino Unido	Subsídio de 25% no preço de um carro até o máximo de £ 5 mil; e de 20% no custo de um comercial leve até o máximo de £ 8 mil, desde que o veículo emita menos que 75 g CO_2/km. Há também isenções de taxas para veículos elétricos puros.	37 milhões de libras destinadas a postos de recarga públicos, residenciais, em ruas e rodovias.
Suécia	Isenção de taxa de licenciamento nos primeiros cinco anos. Subsídios de € 4.500 no preço de veículos que emitam até 50 g CO_2/km. Equalização do valor tributável do veículo de baixa emissão ao do	Apoio por meio de fundo para pesquisa, desenvolvimento e demonstração.

	correspondente a diesel/gasolina para frotas de empresas.	

Fonte: Elaboração própria com base em Vaz *et al*. (2015) e Volan *et al*. (2019)

O projeto FREVUE (*Freight Electric Vehicles in Urban Europe*) (QUAK *et al.*, 2016a) opera na logística de oito cidades europeias com 127 veículos, que variam de pequenas vans derivadas de carros a caminhões semipesados; e entregam os mais variados tipos de mercadorias, incluindo alimentos, farmacêuticos, embalagens e materiais de construção; e também realizam a coleta de resíduos, utilizando sistemas de monitoramento e telemáticos avançados, contendo dados da logística, comunicação, informação, tráfego e rastreamento em todas as etapas da cadeia de suprimentos, aumentando a confiabilidade e aceitação dos VEs. O sucesso do projeto fez com que vários de seus operadores se comprometam a aumentar o número de VEs utilizados em seus negócios.

O projeto EUFAL (*Electric urban freight and logistics*) (IWAN *et al*., 2019) tem como objetivo principal conectar e facilitar a troca das informações necessárias entre os agentes do negócio dos VEs de carga, como órgãos públicos, operadores de transporte, gerentes de frota e empresas de logística, para que possam aplicar as adaptações necessárias ao uso dos VEs em seus aspectos técnicos e financeiros.

O projeto ENCLOSE (*Energy Efficiency in City Logistics for Small and Mid-Sized European Historic Towns*) (FOLTYNSKI, 2014) tem como objetivo atender às necessidades e requisitos para obter uma logística urbana viável, sustentável e com eficiência energética nas cidades históricas europeias de pequeno e médio porte, obtendo as melhorias através da implementação e operação de políticas, medidas, planos e abordagens estruturais adequados especificamente para esse tipo de ambiente urbano e seus arredores. Esses elementos visam estimular o desenvolvimento a níveis nacionais, regionais e da União Europeia.

Foram testados BEVs, PHEVs e veículos a biogás para determinar a melhor opção, avaliando seus impactos, ciclos de vida e benefícios. Este projeto foi desenvolvido porque estas cidades ficaram atrasadas em relação às capitais e outras grandes cidades europeias devido à escassez de recursos, falta de estrutura organizacional e de apoio

institucional para desenvolver projetos inovadores; e também às suas complexas configurações urbanas, caracterizadas por ruas estreitas, onde muitas têm tráfego restrito com sistema de mão única e limites de velocidade muito baixos, comparáveis à velocidade humana; falta de conectividade entre as vias; espaço mínimo para carregamento e descarregamento de mercadorias; pavimentos rodoviários com elevado valor histórico e menor resistência ao uso dos veículos; e algumas vias destinadas apenas para pedestres. Tudo isso dificulta a mobilidade e a distribuição de cargas, e seus habitantes estão muito expostos aos impactos da poluição. Principalmente para as cidades pequenas, parcerias com associações comerciais e demais partes interessadas locais são fundamentais para o desenvolvimento do projeto. Onde o acesso de veículos é restrito, apenas comerciantes locais, veículos de carga para entregar as mercadorias, turistas e residentes são permitidos. Atende 13 países: Áustria, Bulgária, Espanha, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, Romênia e Suécia.

Neste projeto, primeiramente houve projetos-piloto em ‘s-Hertogenbosch (Holanda), Lucca (Itália) e Trondheim (Noruega), e verificadas suas viabilidades, foram implementados em cidades da Bulgária, Espanha, Grécia, Portugal, Reino Unido e Romênia, promovendo e aprimorando as redes de cidades do projeto através do intercâmbio de experiências. Esse método foi fundamental para cidades europeias, tomadores de decisão e demais agentes de logística. Áustria, Irlanda, Polônia e Suécia possuem agências filiadas ao ENCLOSE que são especializadas em eficiência energética, energias renováveis e novas tecnologias para os sistemas logísticos locais, e são o elo para que o projeto seja implementado no futuro nestes países (ENCLOSE, 2014).

O projeto *La Petite Reine* (CHAUD *et al*., 2012) surgiu em 2001 em Paris, consiste em um sistema de entrega e coleta de bens do consumidor final efetuado com veículos elétricos, dentre os quais bicicletas e triciclos equipados com uma cabine para o transporte dos produtos, e obteve sucesso por fugir do congestionamento urbano onde os caminhões e os veículos comerciais leves se mostraram inadequados. Este sucesso fez o projeto ser estendido a outras cidades francesas, como Bordeaux, Lyon, Dijon e Rouen; e à Genebra, na Suíça. Em Londres, o projeto também foi implementado, com a diferença que as bicicletas e triciclos são utilizados em combinação com vans elétricas

(LEONARDI *et al*., 2012).

De acordo com Melo *et al*. (2014), foram criados mais 272 quilômetros de ciclovias, possibilitando que 30 bicicletas elétricas "*Petite Reine*" melhorem a produtividade das operações de entrega, partindo de um centro de distribuição de 600 m² e economizando 660000 km de veículos a diesel. Leonardi *et al*. (2012) demonstraram que o peso dos triciclos vazios é de 110 kg, possuem duas baterias, têm capacidade de carga útil de até 180 kg, espaço de carga de 1,5 m³ e exigem uma recarga noturna de quatro horas. Segundo Jaller *et al*. (2020), um cuidado que se deve ter no compartilhamento das ciclovias entre as bicicletas convencionais e as elétricas é evitar colisões, já que as elétricas apresentam maior volume e peso próprio, além das mercadorias transportadas, o que poderia gerar lesões mais graves nos ciclistas das bicicletas tradicionais.

Navarro *et al*. (2016) demonstraram que combinar o uso dos triciclos com centros urbanos de consolidação e terminais de transbordo para a entrega de encomendas e pequenas remessas vem se tornando cada vez mais comum na etapa de *last mile*, em jornadas de frequentes paradas para descarregamento das mercadorias, mas segundo Ehrler *et al*. (2019), ainda é necessário um maior agrupamento das mercadorias para melhorar o processo. Também se mostraram adequados para operações de distribuição nos centros das cidades históricas citadas anteriormente por não apresentarem restrições de acesso, o que os faz percorrerem menores distâncias, já que veículos maiores precisam mudar o seu percurso devido às ruas onde seu acesso é proibido.

Os terminais de transbordo oferecem abrigo e segurança para a realização da sua atividade fim, o que facilita o trabalho da empresa que realiza a etapa de última milha. Outra vantagem é que diversos operadores de transporte que transferem suas mercadorias no terminal podem compartilhar o mesmo veículo nas entregas de última milha. Estes terminais possuem sistemas de informática avançados que permitem acompanhar todo o processo de entrega das cargas, prateleiras para armazenamento temporário das mercadorias; se necessário, podem ser utilizados como estacionamento, e muitas vezes tem localização móvel. De acordo com Juan *et al*. (2016), a grande maioria dessas entregas de remessas possui prazo definido, o que torna obrigatória a inclusão das janelas de tempo de entrega aos clientes na roteirização, que devem ser bem determinadas, porque no caso de serem muito curtas podem levar ao uso de

veículos adicionais se houver mais carga que o previsto, e portanto, aumentar os custos operacionais, o que consequentemente provocaria que os custos sejam cobertos por pagamentos mais caros realizados pelos clientes pela entrega. A figura 6 apresenta um terminal de transbordo da cidade de Barcelona.

Figura 6: Terminal de transbordo da cidade de Barcelona. **Fonte**: Navarro *et al.* (2016)

2.6 Análise dos modelos de veículos elétricos de carga no mercado

Nesta seção, é realizada uma análise sobre 19 veículos elétricos que podem ser utilizados para realizar o transporte de cargas. A maioria destes já está disponível no mercado brasileiro, somente alguns ainda não tem previsão de chegada. As fabricantes dos veículos variam de empresas que fabricam os veículos convencionais e vêm buscando se inserir no ramo dos VEs como a Fiat, Iveco, Mercedes, Nissan, Renault, Peugeot, Toyota e Volkswagen; empresas que já fabricaram veículos convencionais no passado, mas atualmente fabricam apenas VEs, são estas a BYD e a FNM; e aquelas que desde a sua fundação sempre fabricaram apenas veículos elétricos, estas são a Hitech Electric e a Tesla. Todos, exceto o Toyota RAV4 SX Connect Hybrid 2021, são totalmente elétricos, do tipo BEV. A seguir, são apresentados os dados técnicos destes VEs.

- **BYD eT3** – Veículo comercial leve, com PBT de 2420 kg, volume máximo de carga de 3300 litros e capacidade de carga útil de 720 kg, o furgão BYD eT3 já possui 50 unidades em circulação no Brasil para clientes como a Pepsico e Corpus Saneamento. Possui tração dianteira e acessórios avançados como faróis de neblina e luzes de rodagem diurna, freios de rampa automático e de estacionamento com acionamento

eletrônico, sensor de estacionamento e alerta sonoro para garantir a segurança dos pedestres. Sua autonomia é de 300 km fornecida por uma bateria de íon de lítio NMC de 12 módulos e 120 células com capacidade de 50,3 kWh, vida útil de 10 anos e garantia de 8 anos ou 240000 km. Pode ser recarregado através de um carregador de corrente alternada de 7 kW em cerca de 7,2 horas, em 2h por um carregador de corrente contínua de 30 kW ou aumentar seu SoC de 20% a 80% em 30 minutos através de um carregador de 40 kW. A recarga pode ocorrer em qualquer local que tenha uma tomada de 220 V devido ao carregador portátil. Seu raio de giro é de 5,7 m, o torque de 180 Nm, potência do motor de 109 cv, velocidade máxima de 100 km/h, aceleração de 0 a 100 km/h em aproximadamente 18,9 segundos e seu custo de aquisição é de R$ 229.000 (BYD, 2021; ESTRADÃO, 2021a; INSIDE EVS, 2021c).

- **BYD eT7** – Caminhão médio, com PBT de 10695 kg e capacidade de carga útil de 6080 kg, o BYD eT7 já foi adquirido no Brasil pelas empresas Pepsico e DHL. Os motores longitudinais integrados ao eixo garantem uma alta eficiência, sua autonomia é de 200 km fornecida por uma bateria de íon de lítio NMC com capacidade de 160,6 kWh e pode ser recarregado por completo em 2 horas em *plugs* de corrente alternada de 380 V. Possui motor de potência máxima de 150 kW, torque de 550 Nm e velocidade máxima de 100 km/h (BYD, 2019a).

- **BYD eT8E** – Caminhão semipesado, o BYD eT8E está presente em duas diferentes versões: a primeira possui tração 4x2, PBT de 21 toneladas e capacidade de carga útil de 13,1 t; já a segunda possui tração 6x2, PBT de 30 t e capacidade de carga útil de 20040 kg. É um caminhão multivocacional, utilizado para coleta de lixo, entregas urbanas e outras aplicações. Utiliza uma bateria de íon de lítio de fosfato de lítio-ferro com capacidade de 217 kWh que confere ao veículo 204 km de autonomia, não contém metais pesados e eletrólitos tóxicos e pode recarregar em 2h30 em uma tomada de corrente alternada de 380 V. Possui elevado torque, de 1500 Nm, facilitando partidas em rampas; custo com energia cerca de 67% inferior ao de veículos a diesel, velocidade máxima de 85 km/h e motor de potência máxima de 180 kW (245 cv) (BYD, 2019b). Já foi adquirido por diferentes concessionárias de limpeza urbana no Brasil, dentre elas Ponta Grossa Ambiental do Grupo Philus, Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb) e Corpus Saneamento (ESTRADÃO, 2021b; RIO PREFEITURA, 2019; AUTOMOTIVE BUSINESS, 2018).

- **e.coCargo e e.coTruck** – Veículos utilitários, importados da China, onde são montados, foram lançados pela Hitech Electric em 2018. Ambos possuem capacidade de carga útil de 800 kg, velocidade máxima de 60 km/h, autonomia de 150 km e podem realizar uma recarga completa de forma lenta em até 6 horas em qualquer tomada devido ao fato de serem bivolts. As diferenças que possuem são que as cargas no primeiro são transportadas em um baú, já no segundo em uma caçamba, o e.coCargo é adequado para transportar entregas de supermercados e floriculturas e o e.coTruck para realizar pequenas mudanças e entregas de vidraçarias. Ambos realizam o transporte de insumos dentro e fora de pátios fabris. O e.coCargo tem custo de aquisição de R$ 112.900 e o e.coTruck de R$ 109.900 e são isentos de IPVA ou com alíquota reduzida em mais de dez estados brasileiros (HITECH ELECTRIC, 2020a; HITECH ELECTRIC, 2020b; AUTOMOTIVE BUSINESS, 2020; FELTRIN, 2020).

- **E-Work** – Outro veículo utilitário produzido pela Hitech Electric, fabricante que tem como principais clientes as multinacionais Bosch e Michelin, tem capacidade de carga útil de 1500 kg, velocidade máxima de 80 km/h, autonomia de 150 km conferida por uma bateria de íon de lítio, que pode ser recarregada de forma lenta em 6 horas ou de forma rápida em 2 horas em qualquer tomada devido ao fato de ser bivolt, e custo de aquisição que varia entre R$ 196.900 e R$ 203.600, dependendo da configuração, seja esta carroceria aberta ou baú e duas ou quatro portas. Também possui isenção de IPVA ou alíquota reduzida em mais de dez estados brasileiros e é ideal para realizar entregas de supermercados, materiais de construção e floriculturas e para a logística dentro e fora de pátios fabris. Com os três modelos, a empresa tem cerca de 27% de participação no mercado de caminhões elétricos no Brasil. Dados do Denatran mostram que desde 2016 foram emplacados apenas 59 caminhões elétricos no Brasil, 16 da Hitech Electric (HITECH ELECTRIC, 2020c; AUTOMOTIVE BUSINESS, 2020; FELTRIN, 2020).

- **Fiat e-Ducato** – Veículo semileve, o furgão Fiat e-Ducato foi desenvolvido durante o ano de 2020 e lançado em abril de 2021 em grande parte de forma remota devido à pandemia de COVID-19. Seu custo de aquisição mais alto é de R$ 281.000, possui opções com PBT de 3,5 t e 4,25 t, 3 comprimentos e 3 alturas diferentes, volume de carga de 10 m³ a 17 m³ e capacidade de carga útil máxima de 1950 kg. Possui duas diferentes configurações de bateria: uma bateria com três módulos e 47 kWh que confere ao veículo uma autonomia de 235 km, com garantia de 8 anos ou 160000 km, e

uma bateria de cinco módulos e 79 kWh que proporciona uma autonomia de 370 km, com garantia de 10 anos ou 220000 km; motor com potência máxima de 90 kW (122 cv), torque de 28,5 kgfm, velocidade máxima de 100 km/h e aceleração de 0 a 50 km/h em apenas 5 segundos. A arquitetura paralela das células dos módulos permite que o veículo continue sua viagem mesmo que um módulo apresente falhas no seu funcionamento. Vem com carregador de bordo monofásico de 7 kW ou trifásico de 11 kW, dependendo da versão, além de um opcional trifásico de 22 kW. Pode realizar uma recarga rápida de 100 km de autonomia em apenas 30 minutos através de um *DC Fast Charger* de 50 kW. Outros benefícios que apresenta são manutenção cerca de 40% mais barata em comparação com o modelo equivalente a diesel, o que reduz o seu TCO junto aos menores consumo e custo com energia, painel com informações sobre o estado de carga e autonomia restantes em tempo real, entre outros (INSIDE EVS, 2021a; FIAT PROFESSIONAL, 2021).

- FNM 832 e FNM 833 - A Agrale, localizada em Caxias do Sul – RS, que desenvolve veículos com combustíveis alternativos, se uniu com sua parceira FNM (Fábrica Nacional de Motores), localizada em Duque de Caxias – RJ, em uma iniciativa de fabricar caminhões elétricos desde seu conceito inicial até a montagem. O primeiro modelo que desenvolveram foi o FNM 832, com comprimento de 6,30 metros e PBT de 13 toneladas. O segundo modelo foi o FNM 833, que possui 7,20 m de comprimento e PBT de 18 toneladas. Ambos possuem motor elétrico com sistema de 650 V e potência máxima de 350 cv, autonomia de 130 km e torque de 356,9 kgfm. O motor e outros componentes, como bateria e sistemas eletrônicos, são em maioria importados dos EUA e a comercialização dos veículos é feita de forma direta com o fabricante. Estes veículos são produzidos com nióbio, que é mais resistente e mais leve que o aço, em componentes como chassis, freios, suspensões, rodas e demais peças e estruturas, com o objetivo de aumentar o desempenho e a autonomia. Sua assistência técnica é diferente, como os veículos estão conectados com a fábrica via internet, quando for necessário realizar a manutenção, a fabricante vai direto até as garagens dos frotistas para resolver. A Ambev é um de seus principais clientes e já adquiriu mil caminhões da marca (FNM ELÉTRICOS, 2020; QUATRO RODAS, 2020b; RAMOS E SILVA, 2020; NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS, 2021; SIMEFRE, 2021).

- Iveco Daily Electric – Veículo semileve**,** lançado em 2015, disponível nas versões

furgão e chassi-cabine, a nova Daily possui PBT de 5,6 toneladas, 19,6 m³ de volume de carga, autonomia máxima de 280 km, beneficiada pela configuração flexível das baterias, otimizadas para todas as condições meteorológicas, pelo modo de condução "Eco", através do qual o torque do motor é moderado sem impor limites à velocidade máxima do veículo, e por um moderno sistema de frenagem regenerativa, que permite ao motorista decidir qual método de frenagem utilizar dependendo das condições das estradas e do tráfego. Cada veículo pode ter de 1 a 3 baterias, que aumentam proporcionalmente sua autonomia até os 280 km. Custam £60.000, 80.000 e 100.000 para 1 a 3 baterias, respectivamente. Pode recarregar através de um carregador rápido de 22 kW, pelo qual sua configuração de máxima autonomia obtém recarga completa em 2 horas; na forma doméstica de recarga, a bateria recarrega por completo em 24 horas devido ao uso de um carregador de 3,5 kW; e graças à entrada e conector exclusivos, podem ser recarregados em qualquer local. Seu motor pode ser de 60 ou 80 kW e apresenta torque máximo de 27,6 kgfm. Possui um aplicativo de gerenciamento que permite que os gestores de frota monitorem os veículos em tempo real, para prevenir falhas e sugerir manutenções, além de fornecer informações como o estado de carga e a temperatura; e apresenta um sistema de alerta acústico para os pedestres (IVECO, 2015). Já realizou testes no Brasil, em Sete Lagoas, Minas Gerais, mas ainda não está disponível para venda (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2019).

- JAC iEV1200T – Caminhão leve, o JAC iEV1200T foi o primeiro caminhão 100% elétrico abaixo de 12 toneladas de PBT a ser lançado no mercado brasileiro. Para maior flexibilidade operacional, possui quatro versões: com PBT de 7,5 toneladas e capacidade de carga útil de 4 t com ou sem tomada externa de 3,5 kWh; e com PBT de 8,5 toneladas e capacidade de carga útil de 4,98 t com ou sem a tomada externa de 3,5 kWh. Possui bateria de fosfato de lítio-ferro com capacidade de 97 kWh, velocidade máxima de 92 km/h, aceleração de 0 a 50 km/h em apenas 7 segundos, motor com potência máxima de 177 cv, torque de 1200 Nm, preço a partir de R$ 399.900, custos por quilômetro rodado e de manutenção cerca de até seis vezes inferiores ao seu equivalente a diesel, três anos de garantia e IPVA reduzido. Possui o moderno sistema de i-pedal, que consiste em quando o motorista retira o pé do acelerador, o motor elétrico se transforma em gerador e recarrega a bateria, podendo elevar a autonomia do veículo em até 20%, atingindo 250 km. Com o aprimoramento dos condutores quanto à

utilização do sistema i-pedal, antecipando as variações de velocidade no trânsito, é possível que as pastilhas de freio tenham vida útil muito acima do esperado. Apresenta ainda outras tecnologias modernas, como luzes de LED diurnas, câmera de ré e sistema VPS, que ajuda a evitar acidentes provenientes do ruído zero. Pode recarregar de 0% a 80% em uma tomada de 220 V em 13 horas de forma lenta ou realizar uma recarga de 15% a 80% em uma tomada de 380 V em 2 horas (JAC MOTORS, 2019a; ESTRADÃO, 2021c). Já foram vendidas mais de 100 unidades deste modelo para empresas de diversos segmentos, como a PepsiCo Foods, CPFL Energia e Porto Seguro (INSIDE EVS, 2020).

- **JAC iEV330P** – Veículo comercial leve, o JAC iEV330P foi a primeira picape elétrica a ser desenvolvida mundialmente e seu lançamento ocorreu no Brasil. Possui PBT de 3 toneladas, capacidade de carga útil de 800 kg, torque de 330 Nm, bateria de fosfato de lítio-ferro com capacidade de 67 kWh, potência de 150 cv, 320 km de autonomia, velocidade máxima de 97 km/h, aceleração de 0 a 50 km/h em apenas 5,1 segundos, gerenciamento térmico de todo o sistema elétrico e preço a partir de R$ 309.900. Também possui custos por quilômetro rodado e de manutenção de cerca de até seis vezes inferiores ao seu equivalente a diesel, IPVA reduzido e os sistemas de i-pedal e VPS. Seu tempo de garantia é maior que o do modelo citado anteriormente da JAC Motors, sendo este de 5 anos (JAC MOTORS, 2019b). Pode recarregar de 20% a 100% em corrente alternada através de um *Wallbox* de 7,4 kW em 8 horas ou realizar uma recarga rápida por meio de um *DC Fast Charger* de 40 kW em apenas 1h30 (AUTOPAPO, 2020). Já foram vendidas 25 unidades até o momento, apenas duas destinadas ao uso particular, em Fernando de Noronha, onde será proibida a entrada de veículos a combustão a partir de 2022 e só serão permitidos VEs a partir de 2030. As outras picapes foram compradas por empresas interessadas em reduzir custos com manutenção e seguro, mas também em reduzir emissões de CO_2 para alcançar as próprias metas de sustentabilidade (QUATRO RODAS, 2020c; QUATRO RODAS, 2020d).

- **Mercedes E-Vito –** Veículo comercial leve, o furgão Mercedes E-Vito possui uma bateria de íon de lítio com capacidade de 41 kWh que confere um alcance de 169 km, motor com potência de 85 kW, velocidade máxima de 120 km/h e torque de 343 Nm. Através de um carregador *Wallbox* de potência 7,2 kW, realiza uma recarga completa

em aproximadamente 6 horas; e utilizando um *DC Fast Charger* de 80 kW, vai de 10% a 80% em apenas 30 minutos. Seu volume de carga é de 6,6 m³ e a capacidade de carga útil é de 976 kg, valor beneficiado pela localização de suas baterias na parte inferior do veículo, posicionamento que não reduz o espaço destinado ao carregamento das mercadorias; seu peso bruto total é de 3200 kg e o custo de aquisição a partir de £40.895. O carregamento das mercadorias também é facilitado pelas grandes aberturas do compartimento de cargas pelas portas deslizantes direita e esquerda, além da traseira, e pelo fato da soleira ser baixa. O veículo permite que o motorista possa escolher uma combinação entre 3 ciclos de condução, através de um acionador no console central, e 4 níveis de recuperação de energia, por meio de *gearshift paddles* localizados no volante, e assim, reduzir o consumo de energia e aumentar o alcance do veículo. O aplicativo *EQ Ready* permite descobrir através do percurso realizado e do ciclo de condução utilizado, se serão necessárias recargas para o veículo e quantas seriam. Possui ampla proteção contra corrosão através de galvanização, mantendo sua atratividade visual mesmo depois de muitos anos, o que é bastante positivo para as empresas (MERCEDES-BENZ, 2020; MERCEDES-BENZ, 2021). Ainda não possui previsão de chegada ao Brasil.

- **Nissan e-NV 200** – Veículo comercial leve, equipado com uma bateria de íon de lítio de capacidade 40 kWh, o furgão Nissan e-NV200 apresenta autonomia de 301 km em condições urbanas. Possui 4,2 m³ de espaço de carga, torque de 109 cv, potência do motor de 80 kW (108 cv), velocidade máxima de 120 km/h, aceleração de 0 a 100 km/h em 14 segundos, massa de 1700 kg e carga útil máxima de 742 kg. O veículo e seus componentes elétricos estão cobertos durante 5 anos ou 100000 km e a capacidade da bateria por 8 anos ou 160000 km. Possui 3 formas de recarga: aumento de 80% do SoC ao recarregar entre 40 minutos e 1 hora, para isso basta dirigir-se à estação de serviço de autoestrada ou à concessionária mais próxima. As outras duas formas de recarga são usar a *Wallbox* para obter uma recarga completa em 7h30 graças ao carregador integrado de potência de 6,6 kW ou utilizar uma ficha doméstica e obter uma recarga completa em aproximadamente 21h30. Seu raio de giro é de 5,55 m, facilitando a entrada e saída em ruas estreitas. Possui custo de aquisição a partir de 25.996 €. Já realizou testes no Japão, Reino Unido, Cingapura e EUA. No Brasil, foi testado no Rio de Janeiro através da empresa FedEx, entregando encomendas. É o segundo veículo elétrico a ser comercializado mundialmente pela Nissan, após o Nissan Leaf, este destinado ao transporte particular. Ainda não há previsão de sua chegada ao Brasil

(NISSAN, 2018; ULTIMATE SPECS, 2018; AUTO ESPORTE, 2014).

- **Peugeot e-Expert** – Após o lançamento no mercado brasileiro do Peugeot 208 elétrico, destinado ao transporte particular, a montadora francesa pretende lançar ainda durante o ano de 2021 o furgão Peugeot e-Expert para o transporte de cargas, com custo de aquisição máximo previsto de R$ 213.000. Este veículo tem três opções de comprimento, duas de autonomia, de 230 km e 330 km, devido à uma bateria de 50 kWh composta por 18 módulos e à outra de 75 kWh composta por 27 módulos, respectivamente, ambas com garantia de 8 anos ou 160000 km. Está equipado com um motor de 100 kW (136 cv), possui tração dianteira, torque de 26,5 kgfm, volume de carga de 6,6 m^3, capacidade de carga útil de 1275 kg, com opção de reboque de até 1000 kg, velocidade máxima de 130 km/h e pode acelerar de 0 a 100 km/h em 13,1 segundos. Pode vir com um carregador de bordo monofásico de 7,4 kW ou trifásico de 11 kW. A recarga rápida em corrente contínua leva o estado de carga de 0% a 80% em cerca de 30 minutos na bateria de 50 kWh e 45 minutos na de 75 kWh, utilizando um carregador de 100 kW, e pode ser gerenciada através do aplicativo MyPeugeot, que também auxilia a controlar a temperatura a bordo e na manutenção do veículo. Possui avançadas tecnologias como: um painel de informações do alcance restante e potência em tempo real, controle de transmissão *Power* para otimizar o desempenho ao transportar cargas pesadas, e em parceria com a TomTom Bridge, desenvolveu um sistema que informa a localização e disponibilidade de eletropostos públicos (INSIDE EVS, 2021b; PEUGEOT, 2021).

- **Renault Kangoo Z. E.** – Veículo utilitário leve, produzido na França, passou a ser comercializado na Europa em meados de 2017. Oferece uma autonomia de 270 km, conferida por uma bateria de 33 kWh, que obteve um aumento de densidade energética comparado ao modelo anterior. Possui uma gestão eletrônica otimizada, que limita o consumo de eletricidade do veículo, ao mesmo tempo em que mantém a potência. É equipado com uma bomba de calor associada ao sistema de ar-condicionado, que preserva a autonomia em temperaturas mais baixas, pois limita o uso das resistências elétricas que são responsáveis por um grande aumento da resistência interna nestas ocasiões. Também possui um retrovisor para ponto cego, que permite ampliar o campo de visão lateral direito, aumentando a segurança em cruzamentos. Pode ser recarregado de forma mais rápida e simples, já que contam com um carregador *Wallbox* de 7,4 kW,

que corresponde ao dobro de potência do modelo anterior e permite uma recarga completa em 6 horas de forma domiciliar; e num intervalo de 1 hora para almoço, podem ser recarregados 35 km, o que otimizaria a jornada de trabalho. Apresenta motor com potência de 44 kW, torque de 225 Nm, volume de carga de 3 a 4,6 m³, capacidade de carga útil de 650 kg. Aplicativos como o Z. E. Trip e o Z. E. Pass facilitam o acesso aos pontos de recarga públicos na Europa. O Z.E. Trip permite ao usuário localizar, verificar a disponibilidade em tempo real, a potência e a compatibilidade com o veículo; e o Z. E. Pass permite comparar o preço da recarga nos eletropostos mais próximos, pagar cada sessão de recarga de forma facilitada e acessar todos os terminais sem ter que fazer assinatura específica para cada um (GROUPE RENAULT, 2017). Já está disponível para venda no Brasil.

- **Tesla Semi –** Caminhão pesado, começou a ser produzido inicialmente em 2017, mas em produção limitada, o que permitiu melhorar muitos aspectos de seu *design* até enfim iniciar sua produção em série em 2020 (ESTRADÃO, 2020). Apresenta duas versões, uma com autonomia de 483 km, que custa US$ 150 mil e sua bateria tem capacidade de 500 kWh; e a outra de 805 km, com o preço de US$ 180 mil e bateria de capacidade 1 MWh e peso de mais de 5 toneladas. Ambas possuem capacidade de carga útil de 36 toneladas. As baterias possuem células 4680, que são instaladas diretamente no pacote, que é estrutural, sem passar pelos módulos (LAVRADOR, 2021). Possui coeficiente de arrasto aerodinâmico de 0,36, velocidade média de 96 km/h em pistas com inclinação de 5%, acelera de 0 a 96 km/h em apenas 20 segundos, consome menos de 2 kWh por milha percorrida e fornece uma economia de combustível de aproximadamente US$ 200 mil comparados a caminhões a diesel em um período de retorno de dois anos. Seu *powertrain* é composto por quatro motores independentes localizados nos eixos traseiros. Foi desenvolvido para ser o caminhão mais seguro e confortável até hoje, e para isso, possui um piloto automático que ajuda a evitar colisões, a posição centralizada do motorista fornece visibilidade e controle máximos e o centro de gravidade baixo oferece proteção contra capotamento (TESLA, 2021). Ainda não tem previsão de chegada ao Brasil.

- **Toyota RAV4 SX Connect Hybrid 2022** – Veículo utilitário esportivo leve, híbrido que só pode ser abastecido por gasolina num tanque com capacidade para 55 litros, é formado por um motor a combustão interna de 2.5 l, 16 válvulas, quatro cilindros, com

potência de 178 cv e torque de 22,5 kgfm, e por mais 3 motores elétricos, que entregam em conjunto 120 cv e torque de 20,6 kgfm, e juntos, os 4 motores apresentam a potência de 222 cv e 27,9 kgfm de torque. Acelera de 0 a 100 km/h em cerca de 8,1 segundos e sua velocidade máxima é de 180 km/h. Possui PBT é de 2230 kg, capacidade de carga útil de 500 kg, volume de carga de 580 litros, autonomia de 951,5 km, coeficiente de arrasto aerodinâmico de 0,32 e custa R$ 282.490. Apresenta robustez em qualquer terreno e é visualmente atrativo, o que é perceptível por seus faróis, luzes diurnas e lanternas totalmente em LED. Seu nível de segurança cresceu em relação aos modelos anteriores, devido a acessórios como o sistema de pré-colisão, que detecta veículos e na iminência de uma colisão, emite alertas sonoros e visuais e ativa a assistência de frenagem; o controle de cruzeiro, que funciona como piloto automático ajustando a distância para os demais veículos; um sistema que alerta para mudanças de faixa e aplica pequenos movimentos no volante para corrigir a trajetória; além de sete airbags, controles de tração e estabilidade, assistente de partida em rampa, e sensores de estacionamento dianteiros e traseiros. Em 2020, vendeu 3221 unidades, representando 0,61% do mercado de SUVs, que o colocou na 20ª posição em vendas neste segmento (TOYOTA, 2020; NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS, 2020).

- **Volkswagen e-Delivery** – Caminhão médio, disponível em versões com PBT de 11 e 14 toneladas, capacidade de carga útil de 6320 kg e 9055 kg, custo de aquisição a partir de R$ 690.000 e de R$ 800.000, respectivamente, o Volkswagen e-Delivery foi totalmente concebido, desenvolvido, testado e aprovado em território brasileiro, e começou a ser produzido em série em junho de 2021, na fábrica da VW Caminhões e Ônibus em Resende, no Rio de Janeiro, sendo o primeiro caminhão elétrico a ter produção em alta escala no Brasil. No mesmo mês, sua primeira unidade foi entregue para a Ambev, de um lote inicial de 100 unidades já encomendadas pela empresa que estarão em operação até o final de 2021. A cervejaria planeja adquirir 1600 unidades do caminhão para sua frota de veículos de zero emissão até 2025. A Ambev está inaugurando 44 usinas solares em todo o Brasil, que, juntas a outros projetos de energia renovável, vão produzir eletricidade o suficiente para recarregar todos os caminhões da empresa. Desenvolvido em parceria com a Eletra e a WEG, possui motor de 300 kW (408 cv) de potência, torque de 219 kgfm, bateria de íon de lítio LFP com seis módulos que proporciona autonomia de 250 km, velocidade máxima de 80 km/h, sistema de frenagem regenerativa capaz de recuperar 40% da energia consumida e pode recuperar

80% do SoC em uma recarga rápida de 45 minutos (INSIDE EVS, 2021d; TRANSPORTE MUNDIAL, 2021; ICARROS, 2021; QUATRO RODAS, 2021).

Conforme demonstrado anteriormente, três preocupações dos operadores logísticos são a autonomia dos VEs, seu custo de aquisição e o elevado tempo de recarga. Segundo Iwan *et al*. (2014), outros dados técnicos muito analisados no momento de adquirir os veículos são a capacidade de carga útil e a velocidade máxima. A tabela 8 resume estes dados técnicos dos 19 veículos descritos nesta seção.

Tabela 8: Dados técnicos de veículos elétricos utilizados atualmente para o transporte de cargas

Veículo	**Autonomia máxima (km)**	**Custo de aquisição**	**Tempo mínimo de recarga**	**Capacidade de carga útil**	**Velocidade máxima (km/h)**
BYD eT3	300	R$ 229.000	60% em 30 minutos	720 kg	100
BYD eT7	200	Sem dados	100% em 2 horas	6080 kg	100
BYD eT8E	204	Sem dados	100% em 2h30	13,1 t e 20040 kg	85
e.coCargo e e.coTruck	150 (ambos)	R$ 112.900 / R$ 109.900	100% em 6 horas (ambos)	800 kg (ambos)	60 (ambos)
E-Work	150	De R$ 196.900 a R$ 203.600	100% em 2 horas	1500 kg	80
Fiat e-Ducato	235	R$ 281.000	100 km em 30 minutos	1950 kg	100
FNM 832 e FNM 833	130 (ambos)	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Iveco Daily Electric	280	£100.000	100% em 2 horas	Sem dados	Sem dados

JAC iEV1200T	250	A partir de R$ 399.900	65% em 2 horas	4 t e 4,98 t	92
JAC iEV330P	320	A partir de R$ 309.900	100% em 1h30	800 kg	97
Mercedes E-Vito	169	A partir de £40.895	70% em 30 minutos	976 kg	120
Nissan e-NV 200	301	A partir de 25.996 €	80% em 40 minutos a 1 hora	742 kg	120
Peugeot e-Expert	330	R$ 213.000	80% em 45 minutos	1275 kg	130
Renault Kangoo Z. E.	270	Sem dados	35 km em 1 hora	650 kg	Sem dados
Tesla Semi	805	US$ 180 mil	Sem dados	36 t	96
Toyota RAV4 SX Connect Hybrid 2022	951,5	R$ 282.490	Somente por gasolina	500 kg	180
Volkswagen e-Delivery	250	R$ 690.000 / R$ 800.000	80% em 45 minutos	6320 kg / 9055 kg	80

Fonte: Elaboração própria

3. IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS POR TIPO DE SERVIÇO

Os diferentes tipos de serviço têm lógicas diferentes no uso dos veículos elétricos quanto à capacidade de carga e infraestrutura de recarga, conforme será demonstrado a seguir.

3.1 Entregas urbanas

Conforme demonstrado por Nicolaides *et al*. (2018b), as entregas urbanas consistem

naquelas localizadas dentro dos limites de uma cidade, onde os veículos transportam as mercadorias dos centros urbanos de consolidação, dos centros de distribuição urbanos ou dos supermercados para lojas de conveniência urbanas, em caminhões semileves, leves ou médios. Centros urbanos de consolidação são locais onde ocorre o transbordo de diferentes carregamentos na plataforma logística, e após isto, são reunidos em um único carregamento a ser transportado por somente um caminhão, proporcionando maior ocupação do veículo; menores custos, consumo de energia e extração de matérias-primas; redução dos congestionamentos, das jornadas, das distâncias percorridas, das emissões de poluentes atmosféricos, gases de efeito estufa e ruídos, podendo realizar entregas de diferentes fornecedores e para diversos varejistas na mesma área, processo chamado consolidação da demanda (QUAK *et al*., 2016a). Para Moolenburgh *et al*. (2020), transportar essas cargas consolidadas em *containers* de forma organizada e padronizada, reduz as atividades necessárias nos locais de descarregamento das mercadorias, o que também reduz os custos desta etapa.

Lebeau *et al*. (2013) definiram centro de distribuição urbano (CDU) como uma instalação de logística que fica situada relativamente próxima à área geográfica que serve, seja um centro da cidade, uma cidade inteira ou um local específico, como um shopping, aeroporto, hospital ou grande canteiro de obras, a partir do qual as entregas consolidadas são realizadas naquela área. Os CDUs são vistos como uma solução para otimizar a sustentabilidade da logística de suas localidades, buscando as melhores soluções para o conjunto que compreende os remetentes (operadores logísticos e de frota, transportadoras, motoristas e fornecedores) e os destinatários; atuam como suporte na distribuição de mercadorias da etapa de *last mile* na área urbana que servem e na cooperação entre operadores logísticos de médias e grandes distâncias e capacidades de carga útil e os demais agentes logísticos (FOLTYNSKI, 2014).

Foltynski (2014) demonstrou que as principais operações do transporte de cargas realizadas nos CDUs são: a movimentação de carga; o recebimento, armazenagem e carregamento das mercadorias; serviços de valor agregado, como o embalamento dos produtos e atividades de *picking*, que consistem em organizar a sequência da coleta dos produtos que formarão os pedidos dos clientes no armazém, e depois separá-los e prepará-los para que cheguem corretamente ao consumidor, seja ele B2B (*business-to-business*) ou B2C (*business-to-consumer*) (MECALUX, 2020). Segundo Ehrler *et al*.

(2019), o recebimento das mercadorias ocorre majoritariamente através de caminhões médios e semipesados, e depois dos produtores, muitas vezes passam por atacadistas até chegar aos CDUs.

Segundo Lebeau *et al*. (2013), seis fatores definem sua qualidade de serviço: a equipe, com o número total de funcionários, suas programações e disponibilidades; a infraestrutura, com espaço suficiente para *cross-docking*, que consiste em um sistema de distribuição no qual a mercadoria não é armazenada, sendo enviada de forma imediata para o cliente, nas denominadas entregas expressas, para operações de estoque e para carregamento, descarregamento e estacionamento de todos os veículos; os veículos, seus tipos, capacidade, quantidade, disponibilidade e recursos necessários para operá-los; as características da demanda, como a frequência e tamanho dos veículos que chegam aos CDUs, a quantidade de cargas entregues e sua natureza (pequenos ou grandes volumes); os custos de cada operação; e a distância média dos CDUs de cada empresa para as lojas, que será menor quanto maior for a densidade da rede dos CDUs.

Quak *et al*. (2016a) demonstraram que os CDUs vêm sendo implantados ao mesmo tempo que os veículos elétricos de carga, em um processo chamado consolidação da oferta. Segundo Fiori e Marzano (2018), nos últimos anos, os CDUs vêm sendo transferidos das metrópoles para outras cidades na mesma região metropolitana devido a mercados imobiliários mais baratos, maior disponibilidade de terras e menores congestionamentos, fenômeno denominado expansão logística. Para Moolenburgh *et al*. (2020), este processo vem ocorrendo porque está faltando espaço para realizar as atividades logísticas nas grandes metrópoles, devido à necessidade de acomodar o crescimento populacional. Como desvantagem desse processo, aumenta a quilometragem dos percursos, o que pode exigir maior número de paradas para recarga.

Conforme exposto por Nicolaides *et al*. (2018b), as distâncias são em sua maioria curtas, ocorrem principalmente nas vias urbanas de trânsito rápido, e em suas operações por BEVs, têm suas baterias recarregadas em pontos de recarga sem fio nos momentos de carregamento das mercadorias, de descarregamento quando houver instalações de recarga no estabelecimento, ou nos intervalos entre os turnos, o que aumenta a praticidade do processo e possibilita o uso de baterias de menor capacidade. A instalação de equipamentos de recarga na área de descarregamento das mercadorias

pode ser uma forma de abatimento no preço pago pelos clientes para receber o produto, devido ao serviço de recarga fornecido à transportadora, além de ajudar a reduzir o número de veículos das frotas.

As entregas urbanas podem conter apenas jornadas, que foram definidas por Wikström *et al*. (2015) como uma etapa na qual os veículos são recarregados quando realizam uma parada momentânea, diferentemente das viagens, nas quais quando parado, não é recarregado. Portanto, uma jornada pode conter várias viagens. Também há a possibilidade de os veículos serem recarregados durante o percurso, o que aceleraria a operação, reduzindo o tempo de recarga no carregamento e descarregamento de mercadorias ou intervalos, aproveitando-se de quando percorrerem rotas pré-determinadas onde há o sistema CoM (*Charge-on-the-move*).

De acordo com Teoh *et al*. (2016), na recarga durante o carregamento das mercadorias e intervalos, a capacidade mínima da bateria considera o uso máximo de energia para uma rota; enquanto durante o descarregamento, a capacidade mínima da bateria considera o uso máximo de energia para uma jornada entre clientes do sistema de distribuição. Segundo Nicolaides *et al*. (2018a), a demanda adicional de energia para entregas urbanas depende de variáveis como o número de veículos que executam as entregas, o comprimento das rotas, a frequência das entregas, entre outras. A potência de pico e a demanda de energia exigidas por caminhões elétricos de entrega urbana são bem superiores às necessárias para ônibus elétricos.

3.2 Entregas em domicílio

De acordo com Nicolaides *et al*. (2018b), consistem no transporte de mercadorias dos centros de distribuição urbanos e supermercados para os consumidores, e são realizadas por veículos comerciais leves. Devido à grande maioria de suas jornadas serem realizadas em distâncias muito curtas, com frequentes paradas e à possibilidade já existente da substituição de todos os veículos comerciais leves convencionais por elétricos em algumas cidades, dependendo dos seus padrões de mobilidade e da demanda de cargas, é o serviço mais adequado para a utilização dos VEs, os quais utilizados são aqueles com bateria com faixa elétrica disponível para o percurso solicitado, que devem manter uma margem mínima de segurança do SoC (*State of Charge*) entre 20% e 30%.

Segundo Nicolaides *et al*. (2018a), neste serviço, as empresas de logística utilizam a técnica CoSP (*Charge-on-the-Stop Points*) em pontos de recarga estática sem fio no depósito durante o período de carregamento dos veículos, nos quais são totalmente recarregados, ou intervalos para almoço, e a recarga não pode ser demorada para que possam ser atendidas todas as entregas diárias, o que é facilitado por mais frequentemente possuírem baterias de menor capacidade. Dependendo da intensidade do uso, podem ter a necessidade de utilizar o sistema CoM para recarregar a bateria.

A demanda de energia necessária para essas operações permanece constante durante a madrugada até o início da manhã, horário do início do expediente, e nas últimas horas do dia, quando o expediente diário já foi encerrado, horários esses em que os veículos são recarregados no depósito. Essa energia é denominada carga base, pois se mantém constante durante o período (HUDA *et al*., 2018).

Durante a realização das entregas, os veículos apresentam flutuações diárias entre a margem mínima de segurança permitida e o SoC completo, obtido nos momentos de recarga durante o carregamento das mercadorias e se possível também nos intervalos, quando ocorrem os picos de fornecimento de energia da rede assim como os períodos nos depósitos. Essa flutuação deve ser coberta pela geração de energia para atingir o equilíbrio necessário do sistema elétrico através de adequados aumento e redução na taxa de operação dos geradores, evitando assim problemas como baixa eficiência energética, altos custos operacionais e impactos ambientais negativos (HUDA *et al*., 2018). A demanda de energia necessária para a utilização do sistema CoSP nas entregas em domicílio é demonstrada na figura 7.

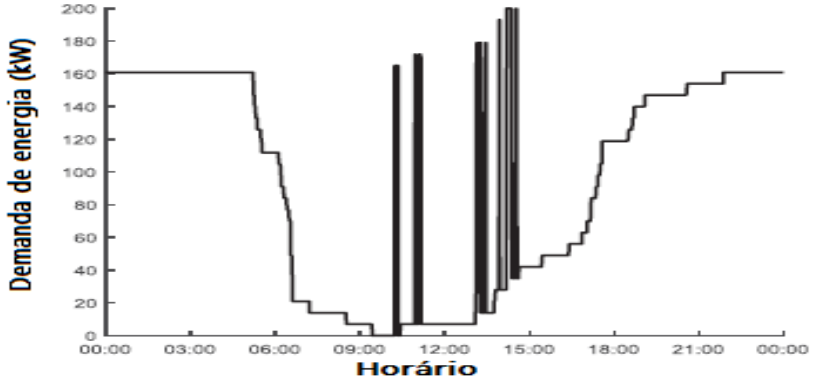

Figura 7: Demanda de energia necessária para as entregas em domicílio. **Fonte**: adaptado de Nicolaides *et al*. (2018a)

Segundo Balm e Hogt (2017), o número de entregas em domicílio vem aumentando, e por consequência, o número de veículos comerciais leves também está crescendo, o que coloca uma pressão crescente sobre a habitabilidade das cidades. Para Moolenburgh *et al*. (2020), veículos compactos utilitários com mecanismo de acionamento ou auxílio elétrico e ciclomotores podem oferecer uma solução, pois ocupam menos espaço no trânsito e no momento de descarregamento das mercadorias; são mais simples de conduzir; podem manobrar com facilidade; os desempenhos de suas baterias, de menores capacidades, são mais bem aproveitados; costumam ser projetados para fins específicos; e são uma alternativa à escassez de motoristas nas grandes cidades. Esses veículos compactos têm capacidade de carga útil entre 200 e 750 kg e são mais adequados para atividades de coleta de lixo e catering, já os ciclomotores elétricos têm capacidade de carga útil entre 100 e 599 kg e são ideais para entregas de alimentos volumosos e pequenas quantidades de materiais de construção. Estes são mais fáceis de manobrar que os veículos compactos e exigem pouco esforço físico dos motoristas em sua condução, porém eles estão sujeitos a intempéries.

Leonardi *et al*. (2012) apresentaram como outro exemplo as bicicletas, que além da propulsão humana, que ajuda na recarga das baterias, vêm experimentando desenvolvimentos para a utilização no transporte de cargas, como maior leveza dos materiais de fabricação, criação de áreas para o carregamento e descarregamento das mercadorias, a implantação de motores elétricos que auxiliam o ciclista principalmente nas viagens em pistas inclinadas e reduzem sua fadiga pela condução mais confortável, sendo assim um sistema híbrido.

Suas principais vantagens são o fato dos ciclistas não necessitarem de carteira de habilitação; por percorrerem baixas distâncias, frequentemente não atingem a margem mínima de segurança do SoC, o que aumenta sua flexibilidade operacional; são o único veículo a se deslocarem pelas ciclovias, por isso não enfrentam congestionamentos, o que acelera as jornadas realizadas e reduz os prazos das entregas; e por serem o tipo de VLCEs de menor tamanho, podem percorrer e manobrar além das estradas e ciclovias, também nas calçadas e em outras áreas exclusivas para pedestres a fim de encontrar a rota mais rápida e/ou curta até o destino final, o que aumenta a segurança em sua utilização, porém regras devem ser estabelecidas para seu adequado uso nessas áreas, como horários, quantidade, velocidade máxima e quais dessas áreas poderiam utilizar, já que é importante determinar como as bicicletas podem dividir o espaço público com as

pessoas (JALLER *et al*., 2020). Variam em carga útil de aproximadamente 25 kg para as convencionais de duas rodas com cesto ou bandeja a 350 kg para as de três ou quatro rodas com caixas, gaiolas ou trailers. São mais adequadas para a entrega de correspondências, encomendas, alimentos e pequenos volumes (LEONARDI *et al*., 2012; MOOLENBURGH *et al*., 2020).

Segundo Moolenburgh *et al*. (2020), esses veículos são denominados veículos leves de carga elétrica (VLCE), são uma subdivisão dos veículos comerciais leves, sua utilização vem se expandindo entre prestadores de serviços logísticos nas cidades europeias, principalmente nas áreas centrais; são os mais adequados para operações de *last mile*, já que na maioria das ocasiões a carga útil dos veículos é suficiente, e já estão em grande parte em nível de prontidão para o mercado (JALLER *et al*., 2020). Segundo Balm e Hogt (2017), seu crescimento está diretamente relacionado ao aumento do número de trabalhadores autônomos; à possibilidade de pessoas de baixa renda entrarem no mercado de trabalho; às novas e crescentes tendências de entregas de supermercados, restaurantes, mercearias, lanchonetes fast food, farmácias, livrarias, lojas de roupas, e outras após pedidos realizados pelos clientes em aplicativos de celular; à entrega de materiais de construção e a serviços de coleta de lixo.

O tamanho médio das remessas torna-se menor; são entregues com mais precisão dentro do tempo estipulado por serem mais rápidos em cidades congestionadas, e por isso são adequados para entregas urgentes; são ideais para áreas urbanas movimentadas com espaço limitado e àquelas onde houver restrições de veículos maiores e/ou privilégios para VLCEs; reduzem o espaço vazio de quando as entregas eram realizadas por veículos comerciais leves maiores, aumentando o fator de carga, além de manter o nível operacional; reduzem em larga escala os custos operacionais e de aquisição comparados a veículos maiores; podem estacionar com mais facilidade e proximidade aos endereços de entrega; são mais adequados em jornadas de curtas distâncias; e o tempo de atendimento ao cliente normalmente é curto. Devido a essas vantagens dos VLCEs serem mais perceptíveis nas bicicletas, um dos focos atuais é o aumento destas nas entregas em domicílio.

De acordo com Moolenburgh *et al*. (2020), para aumentar a eficiência e reduzir os custos na utilização dos VLCEs é necessário agrupar o máximo possível geograficamente as entregas, o que requer densidade de envios grande o suficiente ou

distâncias curtas entre as paradas para entregas. Uma medida para facilitar esse processo foi sugerida por Ehrler e Hebes (2012), na qual os veículos devem ser estacionados em locais pré-determinados pelos moradores de uma região e então os transportadores levam as mercadorias em mãos até os clientes mais próximos quando seu peso agrupado for baixo, reduzindo o número de paradas e aumentando a flexibilidade do processo. Para que esta medida seja aprimorada, alternativas são expandir o tamanho e/ou número das vagas de estacionamento destinadas a tal finalidade, torná-las exclusivas dos veículos de carga, realizar um controle sobre motoristas para que não violem essa exclusividade e se possível implantar um sistema de recarga dos veículos durante o momento das entregas. Outra medida que auxilia para uma maior eficiência é utilizar *softwares* avançados de sistemas de informações geográficas (SIG) para definir as melhores rotas para cada tipo de VLCE.

Para Jaoua *et al*. (2019), uma solução para aumentar o agrupamento das entregas é durante o carregamento das mercadorias, colocar um tempo de despacho, que consiste em um período no qual os veículos esperam por novas solicitações de entrega para a localidade, desde que essa espera não cause a ultrapassagem da janela de tempo de atendimento aos clientes anteriormente determinada, o que auxilia a reduzir o número de jornadas e a distância percorrida por veículo. O tempo de despacho costuma durar no máximo 15 minutos, período no qual os veículos podem ser recarregados de forma rápida, o que aumenta a praticidade do processo de entrega das mercadorias, mas também deve ser avaliada uma possível redução na vida útil das baterias.

Segundo Balm e Hogt (2017), algumas limitações dos VLCEs são que por serem um mercado muito recente, ainda não possuem uma larga escala de produção; e as especificações adequadas para cada segmento de carga (cargas a granel, vivas, frigoríficas, secas, perigosas, farmacêuticos, encomendas, expressas, entre outras) (CARGOBR, 2018; PATRUS TRANSPORTES, 2017) ainda não foram definidas, o que limita o crescimento da demanda. Como exemplo, no mercado de alimentos, que vem apresentando número de entregas crescente, seja B2B ou B2C, não há ainda uma padronização em volumes, unidades de carga e sistemas de refrigeração. Esta última dificuldade também é enfrentada pelos frigoríficos, que apresentam dificuldades para congelar. Para Ehrler *et al*. (2019), uma base de dados mais ampla é necessária a fim de identificar os melhores procedimentos para uma logística inovadora de alimentos.

Leonardi *et al*. (2012) e Moolenburgh *et al*. (2020) apresentaram como desvantagens dos VLCEs seu alcance limitado, de apenas 50 quilômetros; baixos valores de velocidade máxima e por consequência, não são adequados para condução nas principais rodovias urbanas com altos índices de tráfego e para jornadas de longas distâncias. A interação com o tráfego e a infraestrutura atual deve ser desenvolvida para afastar a insegurança dos condutores nesta nova tecnologia. Também deve-se buscar o projeto de VLCEs com maiores capacidades de carga por massa e volume, pois os atuais 750 kg estão muito abaixo das 3,5 t dos veículos comerciais leves, o que aumenta em número considerável as jornadas realizadas, o número de veículos utilizados e limita os segmentos de mercadoria que podem transportar e as cadeias de suprimentos nas quais podem ser utilizados.

O número de veículos necessários é obtido dividindo o tempo somado de todas as rotas de entrega, considerando ida e volta e o momento de descarregamento das mercadorias; pela duração da jornada de trabalho de cada entregador, buscando a distribuição horária igualitária a todos os veículos da frota. Uma das soluções para estas barreiras é utilizar os VLCEs em conjunto com veículos comerciais leves maiores, com isso a redução de custos seria menor, porém a capacidade de carga útil aumentaria, garantindo para os casos incertos que a demanda dos clientes será atendida. Devem ser definidos quais segmentos de carga iriam em cada tipo de veículo e quais as rotas ideais para cada um deles, baseados nas diferentes capacidades de carga útil que possuem.

De acordo com Melo e Baptista (2017) e Moolenburgh *et al*. (2020), alguns tomadores de decisão de empresas de transporte de mercadorias de pequeno porte optam por manter seus sistemas de transporte estabelecidos no passado, apresentando assim forte resistência a esta solução, mesmo com o aumento da variedade de modelos e de desempenho dos VLCEs que vêm ocorrendo; enquanto os administradores públicos demonstram um entusiasmo exagerado. Devem ser melhores dimensionados os impactos, a potencial participação de mercado e o escopo geográfico, para que ambos os agentes compreendam melhor as virtudes e os pontos nos quais ainda são necessários aprimoramentos.

3.3 Longa distância (*Long-haul*)

Nicolaides *et al*. (2018b) demonstraram que as entregas de longa distância (*Long-haul*)

são aquelas responsáveis pelo transporte de mercadorias entre centros de distribuição municipais, estaduais, regionais ou nacionais e centros de consolidação urbana, utilizando predominantemente as vias de trânsito rápido, com poucos quilômetros de estradas locais entre as principais rodovias e os pontos de entrega. A maioria das jornadas é realizada em caminhões semipesados e pesados. Em um sistema de transporte de cargas eletrificado, essas rotas teriam infraestrutura de CoM (*Charge-on-the-move*) ou CoS (*Charge-on-the-stop*), o que possibilitaria aos veículos necessitarem apenas de uma capacidade modesta de bateria para lidar com operações fora da rede de recarga e dentro dos depósitos, e percorrerem grande parte do percurso com o SoC constante ou crescente. Quanto menor a velocidade do veículo ou maior a duração das paradas ao passar sobre o sistema, maior a energia transferida, daí o sistema poder ser chamado de CoM ou CoS.

O sistema de recarga dinâmica CoM atua na infraestrutura rodoviária, transferindo energia sem fio para os veículos enquanto eles podem estar em movimento, o que justifica a grande redução da capacidade da bateria instalada nos VEs, eliminando a "ansiedade de alcance"; reduzindo os custos, pois é gratuito, a massa e o tempo ocioso para paradas de recarga, que são algumas das principais barreiras ao uso generalizado de VEs. Devem ser instalados ao longo da faixa direita das rodovias porque de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, os veículos de maior porte devem circular por estas ou por vias exclusivas quando houver.

Segundo Luna *et al*. (2019), a "ansiedade de alcance" consiste na preocupação dos motoristas em conseguir realizar todo o percurso com a capacidade contida na bateria, o que pode fazer com que o processo de descarga acelere através de uma mudança no estilo de condução, com acelerações rápidas, altas velocidades e frenagens bruscas, e o percurso pode correr o risco de não ser concluído, daí a necessidade de um treinamento adequado para os condutores dos veículos elétricos e de outras medidas, como os aumentos da densidade energética e da autonomia das baterias, a difusão da infraestrutura de recarga e a redução do tempo desta atividade (FGV, 2017). Esse receio seria mais comum nos motoristas de transporte de cargas, pois costumam percorrer maiores quilometragens diárias e dirigem por mais horas ao decorrer de um dia útil (FENG E FIGLIOZZI, 2012).

Segundo Wikström *et al*. (2015), alguns motoristas utilizam baterias maiores e metade de suas capacidades como margem de segurança, mas não são necessariamente suas especificações técnicas que interferem no estado de carga, e sim as condições operacionais nas quais o transporte de cargas é executado. Segundo Quak *et al*. (2016b), os motoristas não estão preocupados com problemas de alcance caso haja uma rotina operacional com entregas diárias estáveis, que eles sabem que conseguirão realizá-las por completo com a capacidade da bateria instalada. Nesse serviço, os fatores operacionais são a distância, as rotas, a topografia das pistas, o tempo das jornadas, o número de paradas para recarga ou troca de bateria e para o descarregamento de mercadorias; o clima e a carga útil. Maiores distâncias percorridas nas jornadas, maior número de viagens, excesso de peso da carga e temperaturas extremas levam os condutores a sofrerem a "ansiedade de alcance".

Nicolaides *et al*. (2018b) e Nicolaides *et al*. (2018a) detalharam que esses sistemas são instalados em locais pré-determinados ao longo das rotas de maior fluxo de tráfego, buscando uma distribuição geográfica igualitária por número e capacidade de carga, o que evitaria instalações de recarga de grandes capacidades em poucas localidades; afastados dos depósitos de carregamento de mercadorias, pois estão dentro do SoC esperado; e não são afetados por variações climáticas. Os veículos também podem ser recarregados nos depósitos e locais de entrega das cargas, e por manterem seu SoC elevado devido ao sistema CoM, não necessitariam de muito tempo de recarga, evitando que todos os caminhões tenham que ser recarregados simultaneamente e permitindo a compra de carregadores menos potentes; reduzindo os custos, que englobam também a conexão à rede; e evitando aumentar significativamente o pico de carga, o que pode comprometer a segurança do sistema de energia. Além disso, outro possível benefício proporcionado pelo sistema CoM é o aumento da vida útil das baterias de íon de lítio comparados a ciclos de carga e descarga profundos.

O sistema funciona através da técnica IPT (*Inductive power transfer*), na qual há transferência de energia sem contato entre dois circuitos LC (indutor-capacitor) próximos através de bobinas da unidade de carga da rodovia (primária) e do veículo (secundária), que geram um campo magnético circular que pode chegar a até 98% de eficiência na transferência de energia quando há um forte acoplamento entre elas. Quando não há a possibilidade de usar o magnetismo ou a distância entre os circuitos é

grande (a partir de 10 mm), os circuitos devem ser ajustados a uma única frequência de ressonância para funcionarem, a fim de evitar perdas de energia e reduzir o risco de choque elétrico. O circuito primário possui uma corrente alternada, que energiza a bobina, e o fluxo magnético é transmitido para o veículo produzindo uma fonte de corrente contínua para o motor elétrico e as baterias. Uma dificuldade enfrentada é que os ímãs necessários ao sistema vêm de metais como o neodímio e o disprósio, elementos de terras raras, que apesar do nome, possuem relativa abundância no planeta, porém são considerados raros devido à dificuldade de sua separação, já que aparecem em minérios de composições distintas (LIRA, 2011).

A potência de recarga instalada depende da demanda de veículos utilizando o sistema, da velocidade média de deslocamento, do total de quilômetros da pista eletrificados (TEOH *et al*., 2016), do ciclo de condução e do peso dos veículos elétricos, das distâncias entre os sistemas eletrificados e das especificações das baterias (capacidade das células, número de células em paralelo, número de módulos em série e SoC inicial) (NICOLAIDES *et al*., 2018b). Outros benefícios da técnica IPT são recarregar as baterias dos caminhões *trolley* durante operações em estradas sem a presença de linhas aéreas e proporciona a redução da frota de veículos de uma empresa, o que representa um significativo aumento na eficiência. A figura 8 apresenta a técnica IPT utilizada.

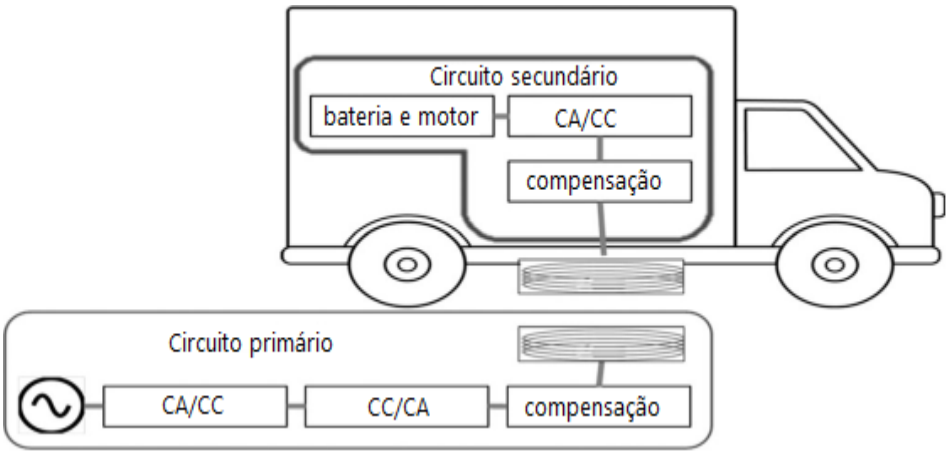

Figura 8: Técnica IPT para entregas de longa distância. **Fonte**: adaptado de Nicolaides *et al*. (2018b)

Como fatores a melhorar, a instalação dos dispositivos de recarga exigiria a escavação de grande parte da rede de estradas existente, principalmente na chamada “pista lenta”, principal área por onde os veículos pesados trafegam; deve ser duradoura e não causar excessiva rugosidade da superfície, o que é uma dificuldade para pavimentos de asfalto,

que são propensos a rachar em torno de dispositivos montados na superfície. Além disso, os altos campos magnéticos podem gerar problemas à saúde humana. Groupe Renault (2017) demonstrou que parcerias entre fabricantes de automóveis e de autopeças, transportadoras e institutos de pesquisa em infraestrutura viária, energética e veicular, são fundamentais para o desenvolvimento deste sistema e aumento das suas viabilidades econômica e técnica.

Segundo Nicolaides *et al*. (2018b), acreditava-se ser muito improvável converter ou substituir os veículos de carga rodoviários convencionais destinados às longas distâncias em BEVs, devido ao alto consumo de energia, dificuldades para armazená-la, longos percursos, às implicações para a rede de fornecimento de eletricidade, altos tempos de recarga e à densidade energética insuficiente, o que tornaria muito caro o serviço, devido ao uso de baterias de alta autonomia. Este problema seria resolvido com a utilização do sistema CoM, o que aumentaria para mais classes de peso a atratividade e competitividade dos caminhões elétricos e reduziria o tamanho e a capacidade necessária das baterias.

3.4 Serviços auxiliares

São serviços públicos como coleta de lixo e entrega de correspondências, nos quais quando possível deve ser priorizado o uso do sistema CoS, devido ao elevado número de paradas durante as jornadas de trabalho, o que reduziria significativamente a capacidade das baterias utilizadas e aumentaria a capacidade de carga útil.

3.4.1 Coleta de lixo

Segundo Nicolaides *et al*. (2018b), os veículos que realizam a coleta de lixo são um caso diferente dos demais, pois além das jornadas, necessitam de energia também para os bin-levantadores, compactação do lixo, iluminação de segurança e outros sistemas. Possuem um ciclo de condução com muitas acelerações e desacelerações em curtos intervalos de tempo, beneficiados pela frenagem regenerativa. Um problema que enfrentam é que as estações de recarga podem ser afetadas por ambientes muitas vezes hostis das coletas de lixo, e para isso, poderia-se utilizar a tecnologia CoS em locais-chave ao longo da rota, mantendo o veículo parado por um determinado tempo durante os processos de levantamento e compactação. Segundo Castro *et al*. (2013), o processo de compactação é fundamental, pois aumenta a capacidade de lixo transportado devido à diminuição do volume, porém origina ruídos muito altos prejudiciais à audição dos

trabalhadores da coleta de lixo e é o sistema de maior consumo de energia dos caminhões.

Nicolaides *et al*. (2018a) dividiram em cinco tipos a coleta de lixo: resíduos domésticos, resíduos comerciais, reciclagem a seco, reciclagem verde e entregas em caixas; e veículos diferentes são responsáveis por cada operação. Para os resíduos domésticos, a tecnologia OnC (*Overnight charging*) seria a mais adequada, já que os veículos não param tempo suficiente em qualquer local, onde um sistema CoS proporcionaria um grande aumento do SoC.

Esta tecnologia consiste em quando os veículos são equipados com uma bateria com capacidade suficiente para suprir a energia necessária de todo o dia, e são recarregados à noite e pela madrugada quando retornam ao depósito, assegurando que os caminhões estejam completamente recarregados ao início de cada turno da operação. Durante esse horário, a demanda de energia está baixa porque é o horário de menor utilização de eletricidade nas residências, o que beneficia o processo. O período de recarga completa normalmente dura no mínimo 7 horas, um pouco menos da metade deste período destinado à limpeza e manutenção. Sua margem de segurança para o SoC é de 20%. Neste sistema, a demanda de energia permanece constante em seu valor máximo durante a madrugada até o início da manhã; diminui gradualmente até zero, no qual fica por mais da metade do dia; e aumenta gradualmente durante o final da noite até voltar ao máximo durante a madrugada, conforme mostra a figura 9.

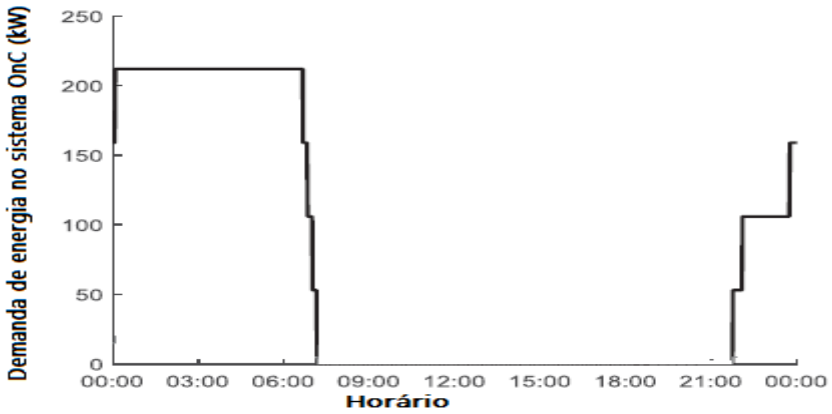

Figura 9: Demanda de energia diária para o sistema OnC. **Fonte**: adaptado de Nicolaides *et al*. (2018a)

Como desvantagens deste sistema, não se beneficia dos menores preços da energia

elétrica gerada por fonte solar por ser realizado à noite; sua carga útil é muito menor em comparação a um veículo convencional devido ao elevado peso da bateria, o que aumenta o peso bruto dos veículos e pode afetar as operações de transporte de carga, que teria que ser dividida em um maior número de jornadas ou haver o aumento do número de caminhões, o que leva a aumentos na demanda de energia necessária e no custo de capital. A vida útil das baterias reduziria devido a descarregarem do SoC máximo até o mínimo permitido sem nenhuma recarga intermediária, mas o fato da recarga durante a madrugada ser lenta ameniza esta situação.

Testes vêm sendo realizados para possibilitar que os veículos que transportam este tipo de resíduo possam aumentar seus tempos nas paradas realizadas, podendo assim substituir o uso da tecnologia OnC pela CoS ou utilizar ambas, o que proporcionaria que estes caminhões recebessem um aumento do SoC ao longo da rota e reduzissem o tamanho da bateria e a potência necessária aos carregadores no depósito, sendo estas opções de maior carga útil e mais atrativas financeiramente. A redução dos preços da energia elétrica gerada a partir da fonte solar reduziria os custos operacionais e tornaria o sistema CoM ainda mais viável. É essencial que os veículos destinados à coleta de lixo possuam um cronograma bem definido de horários para evitar que precisem utilizar o sistema simultaneamente, já que muitos deles frequentemente trafegam pelas mesmas rotas.

Outra alternativa seria permitir que os caminhões sejam recarregados entre 5 e 10 minutos no depósito quando estiverem descarregando os resíduos domésticos antes do próximo turno ao invés das paradas nos pontos pré-estabelecidos das rotas, assim utilizando-se do sistema CoSP. As vantagens desse método são que aumenta a praticidade para condutores e operadores logísticos e é mais barata em comparação com o sistema OnC devido ao uso de baterias menores, que compensa o custo adicional necessário para a implantação da infraestrutura de recarga na área de descarregamento dos resíduos. A desvantagem é que essas recargas rápidas podem prejudicar a bateria e reduzir sua vida útil. Tudo isso, assim como no sistema CoS, deve estar alinhado a um cronograma de horários detalhado das jornadas dos veículos destinados a tal tarefa.

Nicolaides *et al*. (2018a) também demonstraram que para os resíduos comerciais e para a reciclagem a seco, a introdução de um CoSP na área de descarregamento dos veículos, em paradas de aproximadamente 5 a 10 minutos, é a melhor solução. Três pontos de

recarga no depósito, para estes dois tipos de resíduos de lixo mais os resíduos domésticos, proporcionariam um aumento de carga suficiente para os veículos. Os veículos destinados à reciclagem verde podem executar todas as rotas sem recarga, que é realizada apenas à noite no depósito através do sistema OnC, assim como as entregas em caixas.

A demanda de energia necessária para essas operações, nas quais o sistema CoSP é o mais recomendado, se apresenta de maneira semelhante às das entregas em domicílio, sendo a única diferença que os momentos de recarga dos veículos ocorrem durante o descarregamento dos caminhões ao invés de acontecerem durante o carregamento dos veículos.

Castro *et al*. (2013) discorreram sobre o biogás, produzido a partir do lodo através da digestão anaeróbia, que consiste na biodegradação de matéria orgânica através da ação de bactérias na ausência de oxigênio em biodigestores nas ETE (Estações de Tratamento de Esgoto). Antes de ser convertido em energia elétrica, o biogás deve passar por um processo de purificação, que consiste em remover os contaminantes; e sua concentração de metano aumenta, passando a ser denominado biometano, que quando utilizado para gerar energia elétrica, impede que o metano proveniente da decomposição da matéria orgânica seja liberado para a atmosfera ao se transformar em água e gás carbônico pelo processo de combustão, o que é fundamental, pois o metano possui potencial poluidor 23 vezes maior que o CO_2, que por sua vez, é retido pela fotossíntese da planta que originou o biogás.

3.4.2 Entrega de correspondências

Segundo Bandeira *et al*. (2019), a atividade de entrega de correspondências, antes de ser propriamente realizada, passa pelas etapas de recebimento, classificação e postagem. Após sair do centro de distribuição urbano, os carteiros realizam suas rotas de entrega planejadas caminhando, caso os destinos das correspondências sejam próximos ao CDU; ou embarcam em um ônibus até o local de entrega, cada um com sua devida bolsa de correspondências a serem entregues ainda vazia. Os carteiros entregam cerca de 50 kg por rota e os veículos leves de carga elétrica (VLCE) da empresa transportam e depositam o excesso de peso em um depósito móvel (DM) localizado próximo à área de entrega das correspondências, onde os trabalhadores carregam suas bolsas de trabalho, podendo os homens entregarem por vez 10 kg de correspondências e as mulheres 8 kg.

Após entregarem todo o conteúdo de suas bolsas, voltam ao DM para que estas sejam novamente preenchidas com cartas. De acordo com Ehrler *et al*. (2019), o fato do DM poder ser posicionado onde for necessário, aumenta em muito a flexibilidade operacional. Para Moolenburgh *et al*. (2020), instalações como os depósitos móveis devem ter escalas de trabalho o suficiente para serem utilizadas com frequência e assim compensar os custos extras de suas implementações.

VLCEs do tipo BEV vêm sendo testados pelas empresas para proporcionar maior sustentabilidade em todos os níveis: econômico, social e ambiental, como por exemplo, a estratégia que vem sendo experimentada da utilização de triciclos elétricos, na qual os carteiros podem entregar a totalidade das correspondências por rota em uma única jornada, sem a necessidade de repor as cartas nas bolsas, portanto dispensando o uso dos veículos utilizados na forma anterior e do DM. Os carteiros já saem do centro de distribuição dirigindo os triciclos e apenas desembarcam deles para realizarem as entregas das correspondências aos destinatários. A figura 10 demonstra como são os triciclos.

Figura 10: Triciclos elétricos utilizados pelos Correios. **Fonte**: Correios (2014)

Bandeira *et al*. (2019) demonstraram que em ambos os testes, foi percebida uma redução das emissões de poluentes atmosféricos e GEE desde a saída das correspondências do CDU até as rotas de entrega das correspondências, considerando tanto o uso final quanto o ciclo de vida das emissões. Porém, algumas desvantagens também foram percebidas, como por exemplo, o maior custo por entrega devido ao maior valor de aquisição dos VLCEs no primeiro caso, o que não ocorreu com os triciclos, que apresentaram custo bem menor por entrega e aumento do nível de serviço em comparação com os veículos a combustão. Um benefício social apresentado

proveniente dos triciclos para a saúde dos funcionários foi a diminuição da frequência de seus batimentos cardíacos, que se apresentavam mais acelerados; e apresentaram como sugestão para os triciclos um programa de descarte e reciclagem das baterias, trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais para os trabalhadores e a população. Por percorrerem baixas distâncias assim como às entregas em domicílio, apresentam forma de recarga dos veículos utilizados semelhante. A Tabela 9 resume todos os serviços de transporte de cargas demonstrados, suas abrangências, definições, veículos utilizados e formas de recarga.

Tabela 9: Serviços de transporte de carga e suas especificações

Serviço	Abrangência	Definição	Veículos	Recarga
Entregas urbanas	Jornadas de forma majoritária curtas, ocorrem na maior parte do tempo nas principais vias urbanas dentro dos limites de uma cidade.	As mercadorias são transportadas dos centros urbanos de consolidação, centros de distribuição urbanos ou supermercados para lojas de conveniência urbanas.	Caminhões semileves, leves ou médios.	Em pontos de recarga sem fio nos momentos de carregar as mercadorias, de descarregar quando houver instalações de recarga no estabelecimento ou nos intervalos entre os turnos.
Entregas em domicílio	De preferência em distâncias muito curtas.	Consistem no transporte de mercadorias dos centros de distribuição urbanos, supermercados e dos pedidos realizados por aplicativos de celular para os consumidores.	Veículos comerciais leves, principalmente VLCEs, como bicicletas e ciclomotores.	Em pontos de recarga estática sem fio no depósito durante o período de carregamento dos veículos, nos quais realizam uma recarga completa, ou nos intervalos para almoço. Para os VLCEs, deve-se implantar um sistema de

				recarga durante o momento das entregas.
Longa distância (*Long-haul*)	Em longas distâncias, entre cidades, estados ou regiões.	São aquelas responsáveis pelo transporte de mercadorias entre CDUs municipais, estaduais, regionais ou nacionais e centros de consolidação urbanos, utilizando principalmente as vias de trânsito rápido, com poucos quilômetros de estradas locais entre as principais rodovias e os pontos de entrega.	Caminhões semipesados e pesados.	Utilização da infraestrutura CoM (*Charge-on-the-move*) nas principais rodovias.
Coleta de lixo	Serviços municipais de coleta dos resíduos pelas ruas.	Resíduos domésticos, resíduos comerciais, reciclagem a seco, reciclagem verde e entregas em caixas.	Caminhões de diferentes capacidades de carga útil são responsáveis por cada operação.	Resíduos domésticos, sistema OnC. Já são realizados estudos para substituí-lo pelo sistema CoM ou CoSP, este no momento de descarregar as mercadorias, ou ao menos utilizá-los conjuntamente. Para os resíduos comerciais e reciclagem a seco, uso do

				sistema CoSP na área de descarregar os veículos, em paradas por aproximados 5 a 10 minutos. Reciclagem verde e entregas em caixas – sistema OnC.
Entrega de correspondências	Dentro de um município, os carteiros partem dos CDUs até as residências dos clientes.	As cartas, antes de serem propriamente entregues, passam pelas etapas de recebimento, classificação e postagem.	VLCEs, de preferência triciclos elétricos.	Semelhante às entregas em domicílio.

Fonte: Elaboração própria

4. PROPOSTAS PARA A AMPLIAÇÃO DO USO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE DE CARGAS

Segundo Porchera *et al.* (2016), a introdução dos veículos elétricos é um novo mercado com potencial de crescimento e de geração de empregos, e pode possibilitar o desenvolvimento de parcerias estratégicas entre empresas nacionais e estrangeiras. Porém, por ser uma tecnologia ainda em seu estágio inicial, enfrentam alguns riscos, sendo eles as incertezas quanto à tecnologia a ser adotada, a adaptação dos conceitos de logística para a introdução dos VEs, a crise econômica dos últimos anos; a variação dos preços da eletricidade e do petróleo, que tem um forte impacto sobre o TCO nos custos operacionais, e outras fontes de energia com potencial de crescimento. Para a situação brasileira, devido ao limitado poder aquisitivo da maior parte da população, os recursos investidos nos veículos elétricos destinados aos transportes coletivo e de cargas são mais eficazes que nos veículos particulares, pois são administrados por empresas do ramo.

Este capítulo demonstra como projetos já existentes de energia limpa e esquemas operacionais devem ser utilizados para auxiliar no crescimento dos veículos elétricos no

transporte de cargas, propõe soluções às barreiras ainda existentes para o crescimento dos VEs no mercado, e sugere políticas públicas para alcançar tal objetivo.

4.1 Soluções de apoio à geração de energia limpa

Algumas soluções de apoio à geração de energia limpa vêm sendo testadas para suprirem a demanda energética com o crescimento dos veículos elétricos no transporte de carga. Gomes *et al*. (2018) apresentaram caminhões frigoríficos com módulos fotovoltaicos instalados no teto para serem utilizados no sistema de refrigeração dos veículos, que quando estiverem estacionados no pátio da empresa, irão se conectar a um inversor solar de tecnologia *on grid*, isto é, o inversor estará conectado à rede da concessionária local, injetando energia nesta, abatendo no consumo da unidade consumidora (empresa proprietária dos caminhões) ou gerando créditos para serem abatidos na próxima fatura, caso o consumo não ultrapasse a energia injetada na rede. O consumo de energia consiste, além do movimento do veículo, de seus componentes auxiliares e da refrigeração da carroceria. Se a energia elétrica gerada não for o suficiente, a rede elétrica compensa o que faltar.

Segundo Huda *et al*. (2018) e Ferro *et al*. (2018), estes veículos realizam a recarga em horários de baixa demanda, suas baterias absorvem o excesso de produção de eletricidade, e o devolve ao grid elétrico em horários de pico de carga através da conexão a carregadores bidirecionais, realizando assim o serviço auxiliar denominado *Vehicle-to-grid* (V2G). Este serviço estabiliza a rede elétrica, reduz a pressão decorrente da recarga simultânea dos veículos e fornece eletricidade de reserva para atender rapidamente a picos repentinos na demanda, quedas no fornecimento de energia para residências, hospitais, interrupções das cadeias de suprimentos e atendimento durante desastres naturais, transferindo energia diretamente aos dispositivos elétricos. BEVs e híbridos *plug-in* são mais adequados para estas funções (JUAN *et al*., 2016).

Segundo Hoekstra (2019), outro benefício do sistema V2G são as reduções da quantidade de baterias estacionárias necessárias aos sistemas de produção das energias eólica e fotovoltaica e das emissões de GEE, pois a produção de eletricidade necessária seria reduzida. De acordo com Huda *et al*. (2018), a energia devolvida que é armazenada na rede elétrica é fundamental em importantes serviços como as regulações de frequência e tensão. Também demonstraram que para regularizar esse processo, é

realizada a assinatura de um contrato entre os proprietários dos VEs e uma empresa, responsável por controlar o tempo, a potência de recarga dos veículos e o fornecimento de energia para o sistema elétrico. Além disso, essa empresa se comunica com o sistema de transmissão de energia elétrica para participar de licitações dos sistemas de V2G disponíveis.

Huda *et al*. (2018) descreveram o sistema de transmissão de energia, que regula a frequência da rede elétrica, equilibrando a oferta e demanda em faixas de controle e tempo. Existem três classificações de regulação de frequência de energia, as reservas primárias, secundárias e terciárias. As primárias são baseadas no controle da capacidade de gerar energia para responder a um desequilíbrio repentino de curta duração, mas buscando minimizar a velocidade e o desvio da frequência para valores próximos aos de referência. As secundárias têm dois objetivos: liberar a reserva primária que foi ativada e restaurar quaisquer desequilíbrios nas interconexões. Realizam o controle de geradores térmicos e baterias capazes de fornecer e absorver eletricidade no sistema de V2G em resposta a mudanças de frequência de apenas 5 a 10 minutos, ação essa que pode ser realizada de forma automática. Na regulação de frequência terciária, os geradores térmicos respondem ao sinal de transmissão numa faixa de 15 a 30 minutos, tempo maior que na regulação secundária, priorizando os pontos nos quais há maior demanda de energia no momento.

Segundo Gomes *et al*. (2018), os mesmos caminhões frigoríficos também contam com um sistema *off grid* de geração de energia fotovoltaica instalado, acoplado na alimentação elétrica dos refrigeradores (sistema auxiliar elétrico), e ao decorrer do dia gera a energia elétrica que é armazenada no banco de baterias, que garante o abastecimento em períodos sem sol. Não estão conectados à rede elétrica. O rápido desenvolvimento desta tecnologia, assim como ocorre com a geração de energia eólica, vem reduzindo seus custos de compra e consequentemente, ampliando sua implantação nos veículos elétricos. A figura 11 demonstra como ambos os sistemas funcionam.

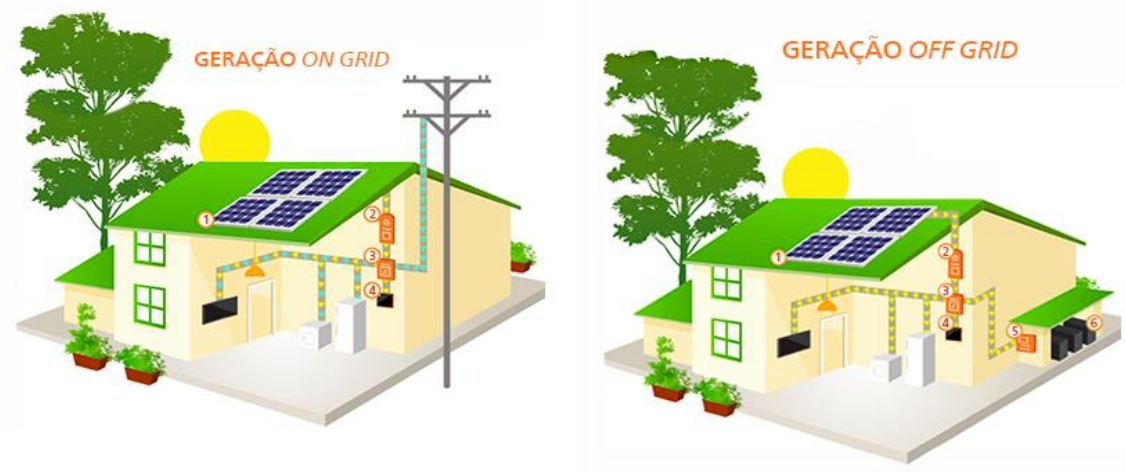

Figura 11: Sistemas fotovoltaicos *on grid* e *off grid* de geração de energia elétrica. **Fonte**: Enel X (2016)

Borges (2020) demonstrou que outra fonte renovável que começou a ser estudada para a produção de eletricidade, mas ainda em estado incipiente, é a energia ondomotriz, gerada por meio da captação das ondas, sistema também conhecido como *sea-to-grid*. Projetos-pilotos já foram desenvolvidos em países europeus, como Portugal, Reino Unido, Dinamarca e Itália, e no Brasil, mais precisamente no Ceará. O sistema da usina de Porto do Pecém é composto por flutuadores, braços mecânicos e bombas conectadas à água. Na ponta de cada um dos braços há uma boia circular que sobe e desce de acordo com o movimento das ondas e aciona as bombas hidráulicas, que faz com que a água contida em um circuito fechado circule em um sistema acumulador de alta pressão e movimente uma turbina, que aciona um gerador e produz eletricidade. A figura 12 mostra como o sistema funciona.

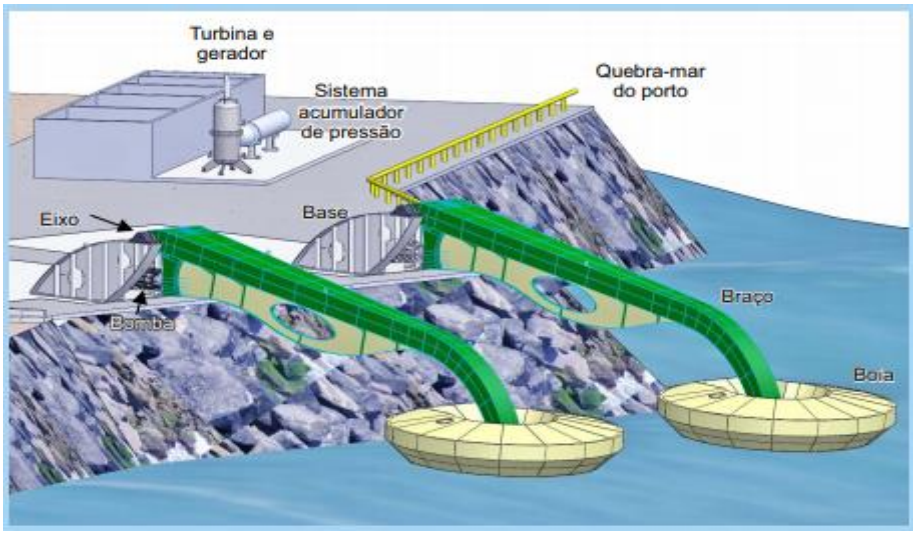

Figura 12: Sistema de produção de eletricidade pela energia das ondas. **Fonte**: Borges (2020)

Musolino *et al*. (2019) demonstraram que na Itália, o principal objetivo da produção de eletricidade por ondas é aprimorar a abordagem WTW, utilizando áreas portuárias como locais de teste, onde a energia elétrica seria produzida e diretamente transferida para bicicletas e outros veículos leves para realizar entregas em áreas urbanas próximas ao porto, eliminando assim a necessidade da etapa WTT.

4.2 Esquemas operacionais

Diversos esquemas operacionais vêm sendo testados para proporcionar o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas pelo mundo, conforme será demonstrado a seguir.

4.2.1 Desconsolidação de carga

Rizet *et al*. (2016) demonstraram uma alternativa que vem sendo proposta, já que a implantação majoritária dos veículos elétricos no transporte de carga não será imediata. Nela, os percursos de entregas são realizados parte por caminhões pesados a combustão interna e no início de outra cidade dentro da mesma região metropolitana, a carga é colocada em uma plataforma de um terminal de transbordo, normalmente localizado em alguma das principais rodovias ou próximo a estas e perto do local de entrega, onde é descarregada e então distribuída em veículos comerciais leves, vans elétricas ou caminhões elétricos menores para prosseguir a viagem, mas as capacidades de carga útil dos veículos devem ser bem escolhidas, permitindo a racionalização e o agrupamento das entregas, mas também analisando o impacto no TCO de veículos maiores e portanto, mais caros.

Isso ocorre porque veículos elétricos de elevada carga útil ou o alto número de VEs na operação pode provocar um grande aumento nos custos totais de propriedade, o que representaria um custo muito alto para reduzir as emissões de poluentes e GEE. Este processo é denominado desconsolidação de carga, e ocorre com frequência com o uso de VLCEs quando o peso da carga a ser entregue é baixo o suficiente. O processo ocorre de forma oposta quando se inverte a origem e o destino das cargas. Como outros benefícios desse processo, ocorre o aumento da taxa de ocupação devido ao uso de veículos menores e a redução dos quilômetros percorridos sem nenhuma carga nas

viagens de retorno. Rizet e Hoai-Thu (2019) demonstraram que neste projeto na França, os caminhões a combustão interna só são permitidos se transportarem uma remessa a partir de 20 toneladas e trafegarem majoritariamente nas vias de trânsito rápido, evitando uma divisão desta carga em menores caminhões, o que levaria a maiores congestionamentos e emissões de poluentes.

4.2.2 Frotas mistas

Segundo Juan *et al*. (2016), uma possibilidade é a implantação de frotas mistas, já que a introdução completa dos VEs no transporte de carga não será imediata, analisando as características específicas a cada tipo de veículo, como por exemplo a diferente autonomia e a possível necessidade de recarga para os VEs no percurso. Devido ao maior custo de aquisição dos VEs, é necessário que o orçamento seja suficiente para renovar a frota. Os primeiros passos para essa implantação são determinar a composição ideal da frota heterogênea com o número, tamanho e tipo de VEs a serem comprados. Nesse sistema, os tomadores de decisão devem avaliar se os custos do TCO (investimentos, operacionais, de propriedade e de segunda mão) serão computados por tipo de veículo ou agrupados e tentar a melhor composição possível dos veículos para reduzi-los. Devem encontrar também uma composição que minimize as emissões de GEE, poluentes e ruídos durante as entregas e aumente o fator de carga, combinados com uma adequada roteirização.

4.2.3 *Last mile* (última milha)

Uma etapa do transporte de mercadorias que vem sendo muito difundida ao longo desses últimos anos é a *last mile* (última milha). Quando uma compra é realizada virtualmente, no chamado *e-commerce*, o processo logístico da entrega do pedido é longo até chegar ao consumidor. A etapa de *last mile* consiste no transporte da mercadoria do centro de distribuição até o seu destino, seja o cliente B2B ou B2C (E-COMMERCE BRASIL, 2018), que apresentam uma demanda consideravelmente diferente, enquanto o primeiro pode receber materiais para a fabricação do produto ou o produto já pronto para ser vendido ao público e apresenta uma rede de logística mais complexa, o segundo corresponde à entrega final para os clientes. Segundo Ehrler *et al*. (2019), essas entregas podem ser realizadas nas formas de *delivery*, *drive-thru*, *take*

away ou *click and collect*. A primeira forma tende a ser a ideal em localidades de alta densidade demográfica, enquanto as outras três de baixa.

De acordo com Juan *et al*. (2016), é a etapa onde o processo de distribuição é mais crítico, pois nela estão contidas a maioria das mais importantes decisões operacionais a serem tomadas, como a roteirização; pode haver restrições de acesso, estacionamento e áreas de parada para operações de transporte de cargas; ocorrem em diversas condições de estrada, cujas más condições podem comprometer a segurança dos veículos e dos produtos; e o contato com o cliente final une as atividades de transporte, logística e marketing. Segundo Moolenburgh *et al*. (2020), a análise da eficiência energética, custos, sustentabilidade e satisfação dos clientes na etapa de *last mile*, é essencial para verificar a qualidade alcançada na entrega dos pedidos.

De acordo com Ehrler *et al*. (2019), os maiores agentes de vendas *online* são os varejistas tradicionais, que se inseriram nesse mercado para expandirem seus lucros e se manterem atualizados às novas tendências, mas há um crescente número de *startups* e atacadistas entrando nesse negócio também. Lebeau *et al*. (2013) demonstraram que estas entregas vêm sendo transferidas de caminhões maiores para veículos menores, permitindo sua racionalização. Segundo Foltynski (2014), as vantagens técnicas e econômicas dos veículos elétricos são ainda mais acentuadas em entregas de mercadorias nas últimas milhas nos centros das cidades, onde normalmente se localizam muitas atividades comerciais, contribuindo muito para a melhoria da eficiência dessas operações.

4.2.4 Terceirização dos serviços

Uma ação que os fornecedores podem tomar para reduzir os custos operacionais seria a terceirização dos serviços, para transportadoras ou trabalhadores autônomos. Os custos operacionais, de investimento, propriedade e de segunda mão, que compõem o custo total de propriedade, tornar-se-iam desnecessários, além de haver uma grande diversidade de opções a escolher para a realização do serviço, o que possibilitaria reduzir os preços pagos pelos remetentes para realizarem as entregas e buscar empresas que investem na sustentabilidade de seus veículos. Como desvantagens, há as incertezas no valor do frete e a dificuldade em controlar a qualidade do serviço executado, que é

facilitada quando o serviço é feito por conta própria.

4.2.5 Entregas noturnas

Chaud *et al*. (2012) discorreram sobre a possibilidade de realizar entregas noturnas, que são beneficiadas pelo fato dos VEs emitirem ruídos quase imperceptíveis, horário no qual dificilmente enfrentam congestionamentos e consequentemente, há uma redução no número de acidentes e maior número de entregas realizadas, o que cobre os custos de investimento e permite a redução no valor do frete. Como desvantagens desse processo, haverá acréscimos nos encargos trabalhistas devido à necessidade de pagamento de adicional noturno e disponibilidade de pessoal para recebimento das mercadorias, o que pode ser resolvido através de um contrato que permita ao transportador o acesso livre às instalações.

4.3 Propostas de soluções para as barreiras ao crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas

As barreiras enfrentadas para o crescimento dos veículos elétricos no transporte urbano de cargas são inúmeras, e as soluções devem ser tomadas de forma integrada para alcançar o objetivo desejado, juntas a um plano de transição dos veículos convencionais para os elétricos. Todas as medidas em conjunto visam obter o quinteto que define a eficiência logística: tempo, espaço, veículo, combustível e motorista (TEOH *et al.*, 2016).

4.3.1 Recarga dos veículos elétricos

Uma das barreiras que os veículos elétricos ainda enfrentam para seu crescimento no mercado é o seu alto tempo de recarga, o que leva a preocupações quanto ao prazo de entrega das mercadorias devido ao uso ineficiente do tempo dos motoristas (PORCHERA *et al*., 2016). De acordo com Pessanha *et al*. (2011), várias soluções vêm sendo testadas, entre elas a presença em *shopping centers* de pequenas termoelétricas de alta eficiência que produzem tanto eletricidade como vapor para serem utilizados no sistema de ar-condicionado do edifício, e estes equipamentos poderiam durante o final da noite e de madrugada recarregarem uma frota de veículos elétricos. Tal fato ocorre por ser um local de movimento diário, com frequentes paradas, e ausência de público

durante a madrugada, período em que poderiam ser realizadas as recargas, o que ainda é facilitado pelos veículos de entrega que não percorrem a autonomia total das baterias durante o dia. Parte dessa energia restante pode ser utilizada pelos VEs para auxiliar a rede elétrica através do sistema V2G. Devem obter energia e oferecer o serviço com preços abaixo das tarifas das distribuidoras para serem bem-sucedidos nesta concorrência. Esta recarga assegura que os veículos estarão totalmente recarregados ao início de cada turno de trabalho.

Outra solução quanto às recargas dos veículos seria investir em melhorias na infraestrutura das redes elétricas para suprir a demanda necessária, como por exemplo, a implantação de estações de recarga rápida ao longo das estradas; e deve ser aumentada a autonomia das baterias, pois continua sendo um entrave para a aceitação desse tipo de força motriz no transporte. De acordo com Nicolaides *et al*. (2018a), os custos para a implantação da infraestrutura de recarga são comparáveis a outros projetos de infraestrutura urbana, não são tão elevados quanto o esperado. Estes custos estão divididos em equipamentos, instalações e conexão à rede. Segundo Huda *et al*. (2018), caso a demanda esteja alta e seja viável, pode-se tentar o aumento da margem de reserva de energia elétrica acima do crescimento econômico, beneficiado pelos custos menores que a expectativa. Mas para Iwan *et al*. (2019), os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, precisam, além destes investimentos específicos para os VEs, desenvolver simultaneamente uma rede de estradas, estacionamentos, oficinas de reparo e outros elementos essenciais.

Para Feng e Figliozzi (2012), as áreas urbanas são mais adequadas para a adoção inicial de veículos elétricos devido à maior densidade potencial de estações de recarga, que devem ser analisadas dentro da estrutura logística das cidades. Segundo Ehrler *et al*. (2020), uma alternativa é a extensão da janela de tempo das estações de recarga. Segundo Talebian *et al*. (2018), é essencial a padronização dos equipamentos, instalações e normas, já que conforme demonstrado por Wang e Thoben (2017), diferentes *plugs*, tomadas e sistemas de pagamento complicam o processo de recarga, tornam a infraestrutura existente inviável para alguns usuários, limitam a adição de pontos de recargas, e assim, reduzem o desejo das organizações de comprarem veículos elétricos para suas frotas. Para Iwan *et al*. (2014), essas melhorias são um pré-requisito essencial, que mesmo com a diminuição dos custos de aquisição e os menores custos

operacionais, sem elas não haverá o aumento do interesse pela adoção massiva de caminhões elétricos em áreas urbanas.

Uma alternativa que vem sendo estudada é realizar a recarga parcial dos veículos após o início com carga completa, o que aumenta a flexibilidade logística para diversas operações. A recarga parcial é de grande utilidade no uso de carregadores de nível 3, pois consegue elevar o SoC e o alcance em poucos minutos de recarga; reduz a profundidade de descarga; diminui os custos caso houvesse uma recarga completa, já que estes carregadores apresentam preços mais altos para recarregarem os veículos; e é o sistema ideal de recarga durante um processo de entrega de mercadorias pela sua rápida duração, porém deve ser avaliada a redução na vida útil das baterias. Ferro *et al*. (2018) estipularam 80% como o SoC ótimo da bateria. Para casos de entrega em localidades remotas, onde a infraestrutura de recarga é reduzida ou inexistente, Ehrler e Hebes (2012) demonstraram que é mais adequado recarregar os veículos em sua totalidade, para não haver o risco de descarregarem totalmente antes de concluído o percurso.

De acordo com Ehrler *et al*. (2019), as recargas realizadas durante as jornadas devem ter seus dados bem detalhados no planejamento, com informações sobre os locais de recarga, SoC após as recargas e janela de tempo prevista para a atividade, o que comprova o quão essencial é a expansão de postos de recarga pelas cidades. Os motoristas precisam realizar as entregas aos clientes na janela de tempo acordada e o fato de possíveis mudanças de rota durante o percurso e esperas na fila para recarregar podem resultar em atrasos, e consequentemente, insatisfação dos clientes e aumento dos custos operacionais.

De acordo com Juan *et al*. (2016), nos investimentos realizados para a implantação de estações de recarga, quatro fatores devem ser levados em conta: o número, o tipo de estações de recarga a serem criadas, a localização destas e suas capacidades de energia. Para Teoh *et al*. (2016), a questão não é apenas qual o tipo e quantos carregadores instalar, mas quando e onde devem ser usados, o que é identificado através da compreensão da programação diária de condução dos motoristas e do avanço da tecnologia que cria novas instalações de recarga adequadas a cada oportunidade.

4.3.1.1 Tipos e capacidade das estações de recarga

O tamanho e a capacidade das estações de recarga afetam o planejamento de transportes. Normalmente, a capacidade dessas estações é limitada, o que limita também o número de veículos que podem ser recarregados simultaneamente. De acordo com Ferro *et al.* (2018), a recarga simultânea de muitos VEs sem controle pode causar problemas técnicos na rede elétrica devido à sobrecarga a que seria exposta, bem como aumentar a diferença entre as cargas de pico e as mais baixas, agravada pelos longos tempos de recarga. Segundo Juan *et al*. (2016), as estações de recarga podem ser divididas em dois tipos: recarga rápida ou lenta. O preço da recarga varia de acordo com o nível do carregador e pode variar conforme o horário. Os carregadores de nível 1 são aqueles em que o carregador portátil que vem incluído ao veículo tem uma extremidade conectada a uma tomada padrão de 120 V e outra ao veículo, e pode realizar uma recarga completa em 8 a 12 horas utilizando corrente alternada, reduzindo o tempo do processo de acordo com a tecnologia da bateria embutida (EVTOWN, 2015). Não necessitam de nenhum equipamento adicional e geralmente oferecem de 3 a 8 quilômetros de alcance por hora de recarga (ENERGYSAGE, 2019). A figura 13 mostra um modelo de carregador de nível 1.

Figura 13: Exemplo de carregador nível 1 - SAE J1772. **Fonte**: CPFL Energia (2019)

Os carregadores de nível 2 são vendidos separadamente dos veículos, mas frequentemente são comprados simultaneamente (CHARGEHUB, 2020). São utilizados *plugs* de corrente alternada de 240 V para uso residencial, o que permite executar uma recarga completa em 2 a 6 horas, dependendo da eficiência do carregador e da tecnologia da bateria embutida. Para uso comercial, o *plug* é de 208 V. Não podem ser conectados às tomadas padrão e por isso, geralmente necessitam ser instalados por um eletricista em residências, estações públicas de recarga, depósitos e ambientes

comerciais; utilizam um circuito exclusivo de 40 A; e podem ser instalados como parte integrante de um sistema de painéis solares. São compatíveis com todos os BEVs e híbridos *plug-in* (ENERGYSAGE, 2019; EVTOWN, 2015). A figura 14 mostra um exemplo de carregador nível 2.

Figura 14: Exemplo de carregador nível 2. **Fonte**: HouseholdMe (2018)

Os carregadores de nível 3, conhecidos como CHAdeMO (*Charge de move*) ou carregadores rápidos por corrente contínua (*DC Fast Chargers*), são recarregados através de uma tomada de 480 V. A maioria deles fornecem uma recarga de 80% em 30 minutos (EVTOWN, 2015), de 100 a 160 quilômetros de alcance em apenas 20 minutos de recarga, porém ainda não são compatíveis com todos os veículos, principalmente com os híbridos *plug-in*, podem reduzir a vida útil das baterias e não existe um padrão da indústria para esse nível de recarga pois requerem equipamentos altamente especializados e alta potência para instalar e manter (ENERGYSAGE, 2019), apesar de que nos EUA já estão sendo implantados em ambientes públicos, industriais e comerciais. Além do sistema CoM, as recargas rápidas são outra alternativa para as operações de longas distâncias sem que haja a necessidade do aumento da capacidade e tamanho das baterias. A figura 15 mostra um *DC Fast Charger* utilizado nos EUA.

Figura 15: Modelo de *DC Fast Charger* utilizado nos EUA. **Fonte**: EVgo (2020)

De acordo com Juan *et al*. (2016), outra possibilidade é um sistema de remoção da bateria sempre que estiver quase totalmente descarregada e substituí-la por outra totalmente carregada, método denominado troca de bateria. A disponibilidade de baterias totalmente carregadas depende do tamanho da estação, do total de carregadores e da demanda pelas baterias e carregadores que a estação apresenta. Sua principal vantagem é a velocidade, a operação pode levar menos de 10 minutos, tempo próximo ao reabastecimento dos veículos convencionais e mais rápidos que as estações de recarga nível 3, além de que não apenas melhora a produtividade dos veículos, que são modelados para ter o alcance duplicado, mas também reduz o custo comparado à recarga. Segundo Margaritis *et al*. (2016), a operação automatizada pode levar apenas de 3 a 5 minutos. Esses fatores, juntos ao suprimento extra de energia da rede e a confiabilidade das estações, maximizam o valor deste projeto.

As características das estações de troca de bateria são as seguintes: as baterias quase ou totalmente descarregadas deixadas no local são recarregadas durante a noite e a madrugada; prestação de serviço de suporte à rede de maneira centralizada de carga e descarga; as jornadas para os motoristas são facilitadas pois começam o percurso com uma bateria com sua carga máxima; a recarga das baterias é feita lentamente para prolongar sua vida útil; e a economia nos custos operacionais dos VEs, já que no momento da compra do veículo se adquire um plano na montadora permitindo que a troca da bateria seja ilimitada. Esta é realizada em postos autorizados, e como

dificuldades, ainda existem em pequeno número, o que limita a participação deste serviço no mercado, além da falta de um padrão unificado de bateria para os diferentes tipos de VEs. Outra possibilidade é que as empresas de logística insiram a troca de bateria em seus modelos de negócios de propriedade, estabelecendo e operando as estações sozinhas.

4.3.1.2 Localização das estações de recarga

A localização das estações de recarga ou troca de bateria deve estar relacionada a reduzir o número e custos das jornadas, propiciando um número adequado de viagens, e objetiva apresentar distâncias bem distribuídas entre demandas, capacidades e número de instalações, levando em consideração o tempo de deslocamento entre as instalações e a limitada autonomia dos VEs, sendo assim um fator fundamental para o nível de serviço e custos operacionais das empresas de logística. Segundo Juan *et al*. (2016), podem ser baseadas em vértices ou nos fluxos de veículos, dependendo das análises realizadas sobre a demanda de recarga, nas quais predominam a localização pelos fluxos, nos quais devem ser pesquisados seus principais locais de origem e destino. Se não houver uma estação de recarga nos pontos de origem, deve haver ao menos uma na metade das rotas de maior fluxo para garantir que o percurso possa ser concluído.

Iwan *et al*. (2014) demonstraram que existem quatro estratégias de recarga levando em consideração o local da fonte de alimentação: recarga na residência, no local de trabalho, em espaços públicos urbanos e nas rotas das jornadas, o que aumenta a flexibilidade do serviço. Algumas podem ser instaladas simplesmente conectando o carregador a uma tomada comum, outras requerem uma instalação personalizada. A recarga doméstica é responsável por 80% do serviço em BEVs ou híbridos *plug-in* contando com os veículos particulares (CHARGEHUB, 2020). Nesse processo são mais comuns as recargas de níveis 1 ou 2 utilizando o sistema OnC. Teoh *et al*. (2016) propuseram como solução o uso de carregadores que possam ser compartilhados entre dois veículos da frota no depósito durante o horário de almoço, que é de uma hora diária, ou entre os turnos, sendo esta mais uma estratégia que leva à possibilidade da utilização de baterias de menores capacidades.

Juan *et al*. (2016) demonstraram como deve ser determinada a localização das estações de reabastecimento de hidrogênio para aproveitar melhor suas vantagens de tempo de

recarga e autonomia próximas às dos veículos convencionais. São instaladas próximas a áreas com alto volume de tráfego; onde possa ser fornecido combustível para jornadas de longa distância; em locais mais frequentados para aumentar a conscientização do público; e acessíveis a motoristas que estão conduzindo seus primeiros FCEVs. Podem se basear na infraestrutura dos postos de gasolina para estimar o número e locais adequados à sua instalação, utilizando sistemas de informações geográficas (SIG) para mapear as localidades.

4.3.2 Custos de aquisição

Quanto aos altos custos de aquisição, deve-se aumentar os incentivos em pesquisas no que tange à produção de baterias mais baratas, elemento mais caro dos veículos, o que impactaria diretamente na redução dos preços dos veículos elétricos de carga e consequentemente, aumentariam sua competitividade no mercado. Muitos líderes de frota ainda não utilizam VEs devido ao seu alto valor de aquisição, apesar do segmento e da demanda de carga que entregam e operações que realizam serem adequados à esta tecnologia.

Outra possibilidade é realizar a conversão dos veículos a combustão interna para elétricos, mas segundo Globisch *et al*. (2018), os altos custos, ainda que inferiores aos de aquisição, podem impedir organizações menores de realizarem esse procedimento para um número maior de veículos de suas frotas, o que também leva à necessidade da diminuição dos preços das baterias. Margaritis *et al*. (2016) demonstraram que uma das soluções é utilizar estações de troca de bateria, onde o processo de conversão passaria pela fase de instalação das baterias e teste de funcionamento, após já ter sido realizada a remoção da embreagem, do radiador e do tanque, a substituição do motor a combustão interna pelo elétrico, a instalação do controlador e a conexão dos cabos elétricos. Também detalharam que utilizando uma empilhadeira elétrica manual, o processo é realizado pelo motorista em 5 a 7 minutos e mostra-se competitivo pois seus custos são baixos. De acordo com Souza (2018), o controlador é o componente que controla a passagem de corrente elétrica para o motor, evitando picos de corrente que podem prejudicar o funcionamento do veículo. Qiao *et al*. (2017) demonstraram que este componente emite considerável quantidade de CO_2 em sua etapa de produção, o que será resolvido com avanços na sua técnica de produção. Segundo Quak *et al*. (2016), outro problema é que veículos adaptados costumam enfrentar mais problemas técnicos

que os novos elétricos produzidos.

No Brasil, a conversão dos veículos convencionais para elétricos ocorre através do conceito denominado e-retrofit, que é realizado através da análise do perfil das rotas, combinada à capacidade do veículo e suas especificações. Nesse processo, o motor a combustão interna, sua bateria, as caixas de engrenagens, o tanque de combustível e os eixos são removidos e substituídos por um motor elétrico e seus componentes. Os módulos da bateria frequentemente são instalados no antigo compartimento do motor a combustão e os componentes auxiliares, antes acionados pelo MCI, são substituídos por componentes movidos a eletricidade. Também é instalado um novo painel para fornecer ao motorista as informações sobre o estado de carga do veículo. As empresas que realizam esse procedimento são a Eletra em parceria com a WEG, que atuam juntas em território nacional há mais de vinte anos. A Ambev já decidiu converter 102 caminhões de sua frota em elétricos e a Protege também recorreu ao serviço para seus carros-fortes (ELETRA, 2021; MOBIAUTO, 2021; RAMOS, 2021; TECNOLOGÍSTICA, 2021).

Outros fatores que levarão à redução dos preços são o aumento da produção dos veículos elétricos que se verificará com o decorrer do tempo e o desenvolvimento de processos aprimorados para reduzir o custo de produção. De acordo com Tanco *et al.* (2019), os preços de novas tecnologias de baterias tendem a diminuir para valores entre 50 US$/kWh a 100 US$/kWh ou até menores no futuro. Também demonstraram que em 2030 as baterias irão compor 18% do custo dos veículos comparados a 48% em 2016.

4.3.3 Desconhecimento dos usuários

Para solucionar o problema da desconfiança de muitos motoristas quanto à nova tecnologia dos veículos elétricos, além da transição feita com os modelos híbridos, citada anteriormente, Wang e Thoben (2017) demonstraram que as empresas de logística estão investindo financeiramente em treinamentos para que os motoristas se adaptem às peculiaridades técnicas e operacionais dos VEs e os conduzam com eficiência para saber quantos quilômetros podem percorrer antes de uma recarga ser necessária; aproveitar ao máximo a recuperação de energia através da frenagem regenerativa, que é aumentada com o uso de pneus mais leves, entre outros. Quando a eficiência é melhorada pelo e no emprego de VEs, o tempo de cada jornada para entregas é reduzido e permite com que mais entregas sejam realizadas ao decorrer de um dia de trabalho.

Conforme apresentado por Wikström *et al*. (2015), no sistema OnC de recarga, motoristas com treinamento especializado adquirem o conhecimento das especificações técnicas dos veículos e aumentam a frequência de entregas diárias. Com o treinamento garantindo uma condução eficiente e confortável, aliada à expansão das redes urbanas de recarga e à facilidade de serem veículos de marcha automática e saudáveis, pois não emitem poluentes atmosféricos e GEE, além dos níveis de ruídos serem muito baixos; leva os condutores a adquirirem uma visão positiva do uso dos VEs, e as experiências obtidas no trabalho os levam a usarem VEs também em seus veículos particulares e a divulgarem suas vantagens, proporcionando a chegada de novos usuários ao ramo.

Atualmente, o desempenho, a confiabilidade, o gerenciamento térmico e a eficiência energética e dos acessórios auxiliares dos VEs ainda dependem muito dos modelos utilizados e das suas idades, o que influencia diretamente no alcance dos veículos (YUKSEL E MICHALEK, 2015). Conforme exposto por Quak *et al*. (2016a), empresas que já implantaram os veículos elétricos e obtiveram resultados satisfatórios, com base na experiência adquirida, decidem por expandir a participação dos VEs em suas frotas. A imagem "verde" que essas empresas apresentam as ajudam, aliada à manutenção do nível de serviço, a fortalecer o relacionamento com os clientes existentes e a conquistar novos, porém muitos ainda relutam devido a um possível aumento nos preços de entrega oriundo da utilização dos VEs, mas a maioria deles garantiu que caso os preços sejam iguais, os escolheriam.

Outro problema é que a maioria dos clientes não tem conhecimento se receberão seus produtos por um veículo a combustão interna ou elétrico, o que atrapalha a divulgação da imagem corporativa positiva devido ao uso dos VEs. Quak *et al*. (2016b) e Ehrler e Hebes (2012) realizaram levantamentos nos quais motoristas, depois de conduzirem os VEs por alguns meses, em sua maioria ficaram satisfeitos devido aos avanços tecnológicos que facilitam as manobras e o estacionamento em áreas mais densas e ruas estreitas. Estes são o ângulo de curva agudo, raio de giro menor e melhor visibilidade. Também elogiaram sua maior aceleração, o espaço para acomodação na cabine, a facilidade de uso dos seus acessórios e os consideraram visualmente mais atrativos.

Clarembaux *et al*. (2016) detalharam que outras facilidades para os momentos de manobra e estacionamento são provenientes de sensores e redes que transmitem

informações para os computadores de bordo, e assim, realizam o rastreamento através da distância, ângulo de orientação e velocidade dos objetos encontrados no ambiente externo em relação ao veículo; a classificação destes, através de uma análise das dimensões, orientação e forma, que pode ser um pedestre, bicicleta, carro, caminhão, árvore, entre outros; tomam ações de emergência que evitam obstáculos; e estabilizam o veículo em caso de perda de controle, melhorando assim a percepção e o controle dos motoristas, devido aos recursos visuais recebidos. A curvatura dos veículos também é analisada em tempo real, levando em consideração outras características além do ângulo de curva, como por exemplo, o ângulo máximo de direção e o controle lateral do condutor sob o veículo.

Segundo Globisch *et al*. (2018), a adoção de inovações nas organizações consiste num processo de três fases: iniciação, decisão e implementação. A iniciação pode vir por uma motivação intrínseca, quando uma pessoa pensa ser interessante o negócio; ou extrínseca, quando o motivo é algo por fora. A segunda pode ser autônoma, como por exemplo, os benefícios ambientais, e a pessoa apresenta suas ideias baseadas no motivo para os tomadores de decisão de uma organização, que decidem se vão investir no novo negócio; ou controlada, quando um funcionário se torna um agente para divulgar e conseguir realizar os objetivos da empresa, como uma favorável relação custo-benefício, para obter um TCO vantajoso em comparação com os veículos convencionais, em um período de retorno o mais rápido possível, as preferências dos líderes por tecnologias inovadoras, e/ou trazer uma imagem “verde” para a empresa.

De acordo com Volan *et al*. (2019), a adoção dos VEs é dividida em dois tipos: a “adoção por inovação”, quando os clientes são convencidos a comprar estes veículos através de influências externas, como ações de publicidade que mostram seus benefícios para a sustentabilidade do planeta; e a “adoção por imitação”, que é aquela na qual os primeiros compradores transmitem para outras pessoas os benefícios percebidos durante a utilização dos VEs, e as levam a também adquiri-los.

Na Noruega, país que tem a maior porcentagem de veículos elétricos dentro da sua própria frota, com 23% do total (FGV, 2017), Volan *et al*. (2019) demonstraram que o histórico de desenvolvimento dos VEs foi dividido em cinco fases: desenvolvimento do conceito, testes, mercado inicial, introdução ao mercado e expansão do mercado. O país

é visto como um dos mais importantes para o desenvolvimento dos VEs, servindo como laboratório de pesquisas, testes de incentivos, produção de novos modelos de veículos e avaliação de ciclos de condução, e pretende proibir os veículos a combustão interna até 2025. Devido a essa proibição, a tendência é ocorrer a princípio uma alta taxa de adoção dos VEs, que depois se estabilizará devido à saturação do mercado.

Para Ehrler *et al*. (2020), conhecer características como tamanho da frota, tipo de operações realizadas, de cargas transportadas, propriedade e uso dos veículos, padrões de horário de turno de trabalho, expectativas dos usuários, e perceber como ocorre a adequação das organizações ao uso de VEs, pode ajudar os líderes a desenvolverem e divulgarem seus negócios, trazendo um crescimento exponencial para esta atividade.

4.3.4 Autonomia

De acordo com Quak *et al.* (2016a), o pensamento em relação à autonomia dos VEs mudou. Obviamente, mantém-se a idéia de que o aumento do alcance das baterias beneficiará a todos, mas as empresas estão privilegiando, através de testes e demonstrações, descobrir quais os segmentos de carga e operações da logística mais adequadas aos VEs, levando em consideração todos os detalhes da cadeia de suprimentos, já que a introdução completa destes no transporte de cargas não será rápida. Um fato que vem colaborando para o sucesso dessa ideia é o número cada vez maior de empresas adicionando VEs às suas frotas.

Outra solução é desenvolver uma adequada roteirização, já que como as distâncias das jornadas normalmente são conhecidas com antecedência, as rotas podem ser otimizadas para se ajustarem à autonomia dos VEs. Segundo Ehrler *et al*. (2020), nesse contexto, devem ser conhecidas características como rotas média, mais longa e mais curta; números médio, máximo e mínimo de paradas para recarga, tempo destas e do descarregamento das mercadorias. Além disso, asseveram que os sistemas inteligentes de planejamento de rotas são o elo de conexão entre os conceitos inovadores de transporte de cargas e os veículos elétricos, porque a roteirização baseada em experiências anteriores tem limitações quanto aos VEs; e podem ajudar a acelerar de maneira bem-sucedida na mudança dos veículos convencionais para os elétricos. Juan *et al*. (2016) definiram tempo de rota como o período entre a partida e o retorno ao depósito menos o tempo acumulado de entrega aos clientes. Também asseguram que

estratégias de roteirização ajudam a reduzir os tempos de parada para recarga e de espera nas filas nas estações.

Lin *et al*. (2016) demonstraram que na roteirização, o conjunto de vértices é formado pelos clientes; depósito; e estações de recarga no percurso, independentemente de serem ou não visitadas e do total de visitas pela frota, sendo que uma delas está localizada dentro do depósito, e pode haver outras no momento de entrega das mercadorias e nos terminais de transbordo quando houver. A presença de pontos de recarga deve ser ampliada nos locais de descarregamento e transbordo das mercadorias, porque mesmo quando não utilizados, são essenciais para reduzir a ansiedade de alcance dos motoristas, oferecendo no mínimo o serviço de recarga parcial, já que muitas vezes os veículos devem sair rapidamente para realizar as demais entregas.

4.3.5 Mercado de segunda mão

As baterias são o principal componente no mercado de segunda mão dos VEs, e por isso, são o acessório cujo destino ao fim de sua vida útil é mais estudado. De acordo com Chen *et al*. (2019), existem três opções para as baterias em fim de vida útil: remanufatura, reaproveitamento e reciclagem, que dependem do seu *design*, qualidade e SoH. As duas primeiras estendem o uso das baterias, enquanto a terceira encerra o ciclo, portanto, o ideal seria que elas fossem remanufaturadas ou reaproveitadas primeiro, para depois serem recicladas. Segundo Volan *et al*. (2019), a vida útil das baterias após irem para o seu segundo uso é de aproximadamente seis anos em média. Também asseveram que a segunda utilização das baterias pode contribuir comercialmente para os fabricantes dos veículos e das próprias, que obteriam uma receita através de sua venda.

Chen *et al*. (2019) descreveu a remanufatura, que consiste na reforma das baterias, e suas etapas são o diagnóstico, desmontagem parcial, substituição de células e/ou módulos danificados e remontagem para serem novamente utilizadas em VEs; e é o método mais aconselhável para maximizar o valor econômico, minimizar o consumo de energia e as emissões do ciclo de vida. Porém, é a opção mais rigorosa em termos de qualidade da bateria e deve atender os requisitos de SoH mínimo, potência, energia e ciclo de vida para a realização do processo. Por exemplo, quando um pacote de bateria é incapaz de manter a capacidade desejada, a remanufatura não é economicamente viável e o reaproveitamento é mais adequado. A remanufatura de LIBs degradadas economiza

cerca de 70% do custo do uso de novas baterias.

O reaproveitamento é o método em que as baterias são reconfiguradas para uma segunda utilização em aplicações menos exigentes, como por exemplo, sistemas estacionários de armazenamento de energia, extraindo mais valor e estendendo sua vida útil além da primeira utilização. Não requer apenas a substituição de células e/ou módulos danificados, mas também a reconfiguração dos módulos e/ou pacotes, estabelecendo um novo sistema de gerenciamento de bateria (BMS) para ser inserido na nova utilização. Os BMSs podem ser utilizados para transmitir informações de SoH e com isso, agilizar as operações de teste e classificação, que junto à reembalagem, são os principais custos de reconfiguração para o reaproveitamento das baterias. Ainda enfrentam diversos desafios para sua melhor utilização, sendo estes a confiabilidade dos pacotes ou módulos; diferentes projetos e métricas de desempenho; os riscos de utilização em funções não-originais; e a desconfiança de alguns clientes por se tratar de baterias degradadas, que pode ser resolvida se os fabricantes fornecerem serviços de garantia, consultoria, instalação, manutenção e modelos de negócios baseados em serviços. Todas essas dificuldades devem ser solucionadas para obterem vantagens na competição com baterias novas.

A reciclagem é a opção que pode acomodar baterias de todos os modelos e SoH, porém, a quantidade de elementos químicos nas LIBs impõe alguns obstáculos técnicos e econômicos. Os pacotes de LIBs são estruturas complexas, compostas por vários módulos, nos quais inúmeras células, de geometria prismática, cilíndrica ou em bolsa, são conectadas em diferentes configurações, em série, paralela ou serial-paralela; por soldagem, ligação de fios ou junção mecânica, com dissipadores de calor colocados entre elas para formar um módulo. De acordo com Sonoc *et al*. (2015), as células em bolsa são as mais utilizadas em automóveis por serem leves, e em um deles, todas têm a mesma química e o mesmo tamanho. A casca externa dessas células é feita de um polímero, enquanto a das outras duas é feita de aço. A figura 16 apresenta as três geometrias de células.

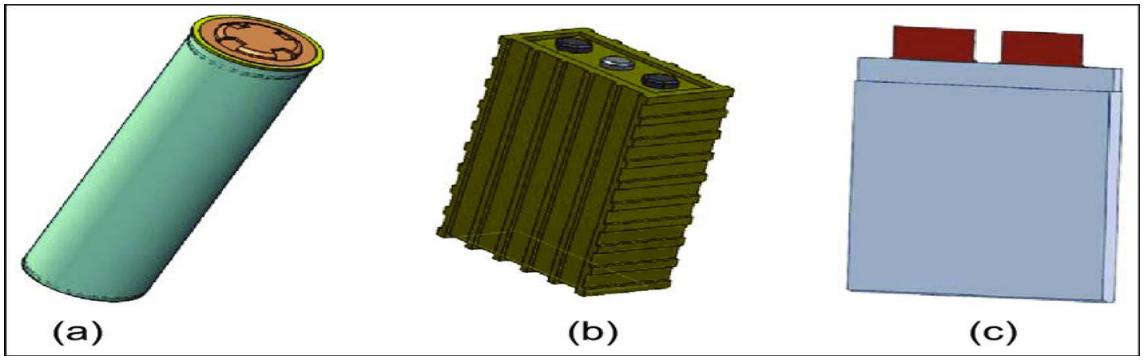

Figura 16: Tipos de geometria das células - a) cilíndrica, b) prismática e c) em bolsa. **Fonte**: Budde-Meiwes *et al*. (2013)

Para Wang *et al*. (2020), a reciclagem das LIBs é essencial por dois motivos principais. O primeiro é que as LIBs gastas contêm uma variedade de substâncias tóxicas, como metais pesados, por exemplo, cobalto e níquel; compostos orgânicos e inorgânicos, alguns destes cancerígenos, que são propensos a reações químicas e danos ao meio ambiente. Isso ocorre porque alguns destes componentes das baterias têm difícil decomposição, e se descartados inadequadamente em aterros sanitários, podem poluir o solo e as águas subterrâneas (ZIVANCEV *et al*., 2018). De acordo com Gao *et al*. (2019), os eletrólitos reagem com facilidade com a água e geram ácido fluorídrico (HF), que é um gás tóxico. O segundo é que elementos como o lítio e o cobalto são escassos em alguns países, o que mantém a necessidade de suas importações, e por isso, reciclar esses metais valiosos é fundamental para manter o crescimento do mercado de VEs. Segundo Hoekstra (2019), uma das funções das baterias pode ser operar equipamentos de recuperação dos minérios contidos em outras baterias, painéis solares ou moinhos de vento.

Para Chen *et al*. (2019), ir diretamente da primeira utilização no veículo para a reciclagem é menos recomendável do ponto de vista do ciclo de vida, pois forneceram benefícios insuficientes, o desempenho é incerto e ocorrerão inevitáveis perdas de materiais e energia no processo. As vantagens da reciclagem são que as baterias se tornam parte da economia circular ao invés de resíduos descartáveis, com isso, elementos valiosos retornam mais rapidamente para a cadeia de valor, diminuindo a necessidade de extração de novos recursos, o que reduz as emissões de GEE; evita que as baterias sejam depositadas em aterros e consequentes graves danos ambientais; e sua capacidade de crescimento, e por isso, é o método mais aplicável para baterias em fim de vida útil.

Conforme demonstrado por Iwan *et al*. (2019), muitos países em desenvolvimento importam veículos usados de outros mais ricos. Há uma previsão que o número de VEs nos primeiros aumente de 4 a 5 vezes até 2050 e que a maioria desses veículos seja de segunda mão. Porém, para Steward *et al*. (2019), esses países normalmente precisam implementar regulamentos de descarte e de transporte mais rigorosos para os VEs e as baterias, e melhores instalações de reciclagem, já existentes em países mais ricos europeus, como a França e a Noruega, asiáticos, como a China e o Japão, e norte-americanos, como os EUA e o Canadá, que possuem vantagens econômicas e de acesso a materiais essenciais por conta disso. No caso brasileiro, é necessário aprimorar a logística reversa implementada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e distribuir as instalações por todo o país para obter ganhos econômicos, ambientais e logísticos, fato necessário por ser um país de dimensões continentais.

Steward *et al*. (2019) apresentaram a lei de reciclagem de veículos elétricos do Japão, na qual os proprietários são obrigados a pagar uma taxa pela reciclagem ao comprar um veículo para que a responsabilidade seja dividida entre eles, as empresas de coleta e reciclagem e os fabricantes dos veículos. Na União Europeia, os fabricantes são os responsáveis por organizarem e financiarem a coleta, transporte, tratamento e reciclagem dos veículos, porém, requisitos administrativos onerosos e a relutância das autoridades em cobrar dos fabricantes os custos associados aos programas de reciclagem vêm sendo empecilhos no desenvolvimento da economia circular. Zivancev *et al*. (2018) demonstraram que este princípio de legislação e políticas utilizado na União Europeia é denominado “Responsabilidade Estendida do Produtor”, no qual os fabricantes são responsáveis por todas as etapas do ciclo de vida de um produto.

A verificação do percentual de baterias corretamente destinadas ao serviço de coleta pelos varejistas ao fim de sua vida útil é essencial, e para isso há duas alternativas: que a prefeitura ou a própria empresa coloque nas lojas recipientes de coleta ou então que as baterias sejam descartadas em pontos de coleta municipais. Além disso, devem ser realizadas campanhas educativas para a população quanto à importância de descartar corretamente as baterias, sejam de celulares, computadores, veículos, entre outros, apresentando as consequências negativas do descarte inadequado de resíduos e os benefícios econômicos, ambientais e sociais de uma política organizada de descarte de baterias usadas. Uma forma ideal de realizá-las é colocar cartazes em lugares de alto

movimento, como supermercados, mostrando essas consequências e os benefícios. Também deve ser realizada uma maior divulgação dos locais de coleta existentes pelas cidades.

Segundo Steward *et al*. (2019), é fundamental o gerenciamento, rastreamento, mecanismos eficazes, regulamentos proativos, inovações tecnológicas e infraestrutura adequada em relação ao descarte, coleta e reciclagem dos VEs para que o processo seja bem-sucedido também para as LIBs, ainda mais com o aumento das vendas de VEs previsto para os próximos anos. Alguns problemas que ainda enfrentam são que nem todos os veículos retirados de serviço são coletados por empresas legais que os direcionam para reciclagem ou recuperação; operadores não licenciados que removem apenas peças economicamente valiosas; o abandono ou tentativa de conserto pelos proprietários, sem serem destinados às empresas de coleta e reciclagem; alguns VEs quando chegam ao fim da vida útil são descartados em sucatas, quando o ideal seria que sua coleta fosse realizada nas concessionárias; e o descarte mais rápido das baterias em comparação com os veículos, já que enquanto a vida útil destes leva em média dezoito anos, a das baterias dura cerca de oito a dez anos (VOLAN *et al*., 2019), o que leva à necessidade de avanços na tecnologia das baterias para aumentar sua vida útil e assim evitar sua substituição, que traz grande impacto aos custos operacionais dos VEs.

O desafio para realizar os aumentos de vida útil e capacidade juntos é o impacto que isso trará à composição das baterias, o que levará ao aumento da extração de minérios, inclusive para a utilização de elementos nunca utilizados e a descoberta de outros novos, o que torna o processo de reciclagem ainda mais importante para reduzir esse número. Segundo Jaoua *et al.* (2019), um ponto positivo é que em muitos processos de mineração já se utilizam veículos elétricos autônomos internamente.

Segundo Steward *et al.* (2019) e Sonoc *et al.* (2015), dois métodos são mais utilizados na reciclagem de VEs: a desmontagem manual e a trituração. A desmontagem tem como vantagens menores emissões de GEE, principalmente devido à energia recuperada pela incineração de polímeros ricos em energia, e menor depleção de metais, devido à boa recuperação de cobre. Para reciclar as LIBs, é necessário um processo de desmontagem semelhante ao utilizado para removê-las dos VEs, o que contribui para reduzir o risco da necessidade de trituração das baterias. A desmontagem das baterias apresenta as

etapas de remoção do sistema de gerenciamento, coberturas, carcaças, fiação, conectores e cabos, realizadas manualmente com a utilização de uma chave de fenda. Os módulos e suas células são removidos automaticamente. Devido às diferentes configurações entre os modelos de veículos e de baterias, o processo tem remotas chances de ser totalmente automatizado em curto prazo, o que aumenta seus custos e duração. Uma solução para isso é separar as baterias por química, e caso alguma delas apareça em grande quantidade, seu processo de desmontagem pode ser automatizado se já houver condições tecnológicas para isso, o que justificaria um investimento nessa atividade. O potencial de automação desta etapa é menos influenciado pelas variações químicas do que a reciclagem dos módulos das baterias.

Sonoc *et al*. (2015) detalharam através do processo Recupyl como é a sequência caso sejam necessárias na reciclagem tanto a desmontagem quanto a trituração. Primeiramente, a bateria é desmontada por uma máquina de corte rotativa e depois triturada em cisalhamento por outro sistema de rotor. Ambas as etapas ocorrem em um recinto hermético preenchido com uma atmosfera inerte de argônio e CO_2, o que impede uma reação violenta do lítio. Os resíduos de oxigênio e a pressão no recinto são monitorados continuamente e esses dados são utilizados por um sistema para controlar a taxa de injeção dos gases inertes. Após a trituração, é realizada uma separação magnética e são obtidas uma fração de finos rica em óxidos de lítio e metais de transição e grafite (XIAO *et al*., 2017); uma magnética composta por invólucros; uma não-magnética de alta densidade feita dos coletores de corrente do cátodo e do ânodo, que são feitos de alumínio e cobre, respectivamente; e outra pouco densa de papel e plástico. Ainda sob a atmosfera inerte, as frações são separadas e a de finos é adicionada à água. O lítio nos finos reage com a água e libera hidrogênio. A água é então bastante agitada e mais finos são adicionados, mas de maneira muito controlada para evitar o acúmulo de hidrogênio e uma consequente explosão originada de uma reação exotérmica entre o lítio e o oxigênio. Outra precaução para evitar explosões é manter a atmosfera pobre em oxigênio. A água então fica rica em hidróxido de lítio, o lítio é recuperado pela adição de carbonato de sódio ou ácido fosfórico e o restante dos materiais é recuperado por meios hidrometalúrgicos.

Em todas as etapas do processo de reciclagem, as baterias devem estar totalmente descarregadas por questões de segurança. Ao descarregar completamente a bateria, os

íons de lítio livres são imobilizados no cátodo, onde formam um óxido de metal de lítio termodinamicamente estável que não reage com a água e com o ar e não há mudança de temperatura. É necessário também realizar um pré-tratamento, porque abrir as baterias da mesma forma que estão ao serem retiradas dos veículos pode resultar em uma reação explosiva entre os íons de lítio e o ar devido a reação exotérmica dos íons de lítio com o oxigênio, mas esta etapa ainda necessita de um alto consumo de energia para ser realizada. Para a abertura segura das baterias, mesmo que totalmente descarregadas, deve ser realizada em áreas bem ventiladas e livre de faíscas para que os riscos inflamáveis e tóxicos dos eletrólitos devido à emissão de vapores e gases quando expostos ao ar sejam mitigados; e devem ser removidos o sistema de gerenciamento do circuito, o pacote, as aberturas de proteção contra temperaturas extremas e todos os outros materiais que cercam as células individuais.

Atualmente, são buscadas maneiras para evoluir esse processo de retirar uma célula por vez no laboratório para várias células por vez em escala industrial. Um importante teste a ser feito após a remoção das células é com o uso de um voltímetro, determinar suas resistências internas, e a partir destas inferir o estado de cada célula e verificar se alguma foi danificada, como por meio de um curto-circuito interno, e então separá-las. Após isso, cada elemento das baterias deve ter retirada sua carga através da imersão em salmoura ou de um resistor mais imersão em lixiviação, e depois devem ser abertos ao ar em um espaço ventilado. Os materiais do cátodo e do ânodo são separados manualmente e imersos em solução de lixiviação. Ambos os processos de retirada da carga necessitam de baixo consumo de energia, diferentemente do pré-tratamento; são de simples realização, evitam a necessidade de trituração, e a energia retirada das baterias pode ser utilizada em outras etapas do processo, como aquecer o recipiente de lixiviação.

Quando os elementos das baterias têm sua energia retirada em salmoura, suas voltagens iniciais estão acima da voltagem de eletrólise da água, o que leva à produção de hidrogênio e oxigênio, que devem ser ventilados para evitar uma explosão. Quando esse processo é feito por um resistor, a corrente deve ser mantida baixa o suficiente para que os elementos não superaqueçam e as células precisam ser mantidas abaixo de 90º C. Para o caso de células danificadas, deve-se avaliar se há quantidades significativas de metal de lítio no ânodo, que caso exposto ao ar ou à água pode provocar uma reação

explosiva, por isso, a reciclagem deve ser realizada através de processos que incluem incineração ou imersão em nitrogênio líquido, ou a abertura deve ser realizada sob uma atmosfera inerte.

Segundo Steward *et al*. (2019), outro fator que ajuda nessa atividade é que o processo de desmontagem esteja localizado junto à coleta dos VEs, se não os veículos devem ser direcionados para uma instalação de desmontagem. Depois do desmonte, os materiais constituintes são transportados para o processamento final em instalações de reciclagem ou de recuperação de energia. Os componentes dos custos incluem a construção das fábricas de desmontagem, a energia para sua operação; e para as demais etapas, transporte, mão-de-obra, armazenamento e manuseio dos veículos e baterias. Xiao *et al*. (2017) consideram que a avaliação econômica para definir os custos e prever as receitas dos processos de reciclagem é dividida em cinco itens: custo de depreciação dos equipamentos necessários ao processo, consumo de energia elétrica, custo de manutenção dos equipamentos, consumo de água e custo de mão de obra. Steward *et al*. (2019) demonstraram que os custos relacionados ao transporte representam 70% do total da reciclagem dos VEs, para as atividades de coleta, desmontagem e incineração para recuperar energia e materiais. Os lucros desses processos podem ser maiores caso os governos forneçam subsídios para suas realizações.

Segundo Chen *et al*. (2019), existem vários métodos de reciclagem atualmente, mas nenhum é perfeito e esforços são necessários para seus aprimoramentos, como acompanhar as pesquisas de novos materiais e *designs* de baterias, que estão em rápida evolução, o que requer métodos flexíveis, economicamente e tecnicamente viáveis e de alta eficiência. Três tecnologias, usadas isoladamente ou combinadas, são empregadas comercialmente para reciclar as LIBs: pirometalurgia, hidrometalurgia e reciclagem direta. Todas se mostraram econômicas em comparação com a extração de matérias-primas para realizar a composição das baterias.

4.3.5.1 Pirometalurgia

Tecnologia mais avançada, implantada em larga escala na Europa, EUA e Japão (STEWARD *et al*., 2019), o processo pirometalúrgico é formado por duas etapas, detalhadas por Chen *et al*. (2019): na primeira, as LIBs são queimadas em uma fundição a altas temperaturas, onde os compostos químicos são decompostos, e os materiais

orgânicos, como o plástico e o separador, são queimados e removidos por um sistema de lavagem. Em seguida, novas ligas metálicas são geradas através da redução do carbono. Nas etapas seguintes, geralmente hidrometalúrgicas, as ligas metálicas são separadas para recuperar elementos puros, porém, apenas metais caros como o cobalto e níquel do cátodo e o cobre do coletor de corrente do ânodo são recuperados com maior eficiência. O ânodo, o eletrólito e o plástico são oxidados e fornecem energia para o processo. O lítio, alumínio e manganês saem juntos à fração de escória e podem ser recuperados com um processamento adicional, o que aumenta os custos totais de reciclagem e o consumo de energia, além do preço do lítio reciclado ainda ser bastante elevado.

De acordo com Sonoc *et al.* (2015), recuperar apenas os metais valiosos traz problemas por duas razões: à medida que depósitos de lítio de alta densidade e fácil acessibilidade se tornam escassos, o valor do elemento aumentará e será ainda mais essencial melhorar do processo de recuperação e aumentar sua taxa atual, senão o preço das LIBs, que já é o elemento mais caro dos VEs e a principal razão dos seus altos custos de aquisição, aumentará ainda mais e levará a um grande risco de paralisar a eletrificação da frota de veículos mundialmente. Também será necessário baixar o preço do lítio reciclado, para obter vantagem comparada à extração do elemento. A segunda razão é que os fabricantes de células estão mudando o desenvolvimento dos cátodos para que estes sejam mais ricos em níquel e com baixo teor ou livres de cobalto (STEWARD *et al.*, 2019) e desenvolvendo maior número de cátodos de fosfato de lítio-ferro (LFP – fórmula química $LiFePO_4$), ambos com o objetivo de reduzir o preço das baterias. Com isso, o cobalto reciclado pode ficar sem um destino definido, não ser utilizado, e então, seu processo de recuperação perderia a lucratividade. Será necessário adaptar o processo de reciclagem para os novos elementos químicos e reduzir seus custos, para manter os lucros anteriormente obtidos.

Conforme exposto por Chen *et al.* (2019), as principais vantagens da pirometalurgia são ser um processo simples e maduro; não é necessária a classificação e redução do tamanho das baterias, uma mistura de LIBs e NiMHs pode ser reciclada; e os materiais recuperados podem ser usados na síntese de novos materiais catódicos de diferentes químicas. Suas desvantagens são a geração de CO_2 e o alto consumo de energia durante o processo de fundição; as ligas metálicas requerem processamentos adicionais; muitos dos materiais das LIBs, como plásticos, grafite e alumínio não são recuperados; o

modelo de negócios pode não funcionar bem para as LIBs utilizadas em VEs devido à tendência de reduzir o seu teor de cobalto; ainda busca-se tecnologias mais avançadas que possibilitem recuperar os metais de terra rara do processo de fundição a fim de obter uma economia circular completa (ZIVANCEV *et al*., 2018); e a limpeza dos gases é necessária para evitar a liberação de substâncias tóxicas (STEWARD *et al*., 2019).

4.3.5.2 Hidrometalurgia

Implantada principalmente na China e em seguida pelo Canadá (STEWARD *et al*., 2019), na hidrometalurgia os metais são recuperados através de processos químicos que utilizam soluções aquosas, como a lixiviação por ácidos, bases ou microrganismos, esta última denominada biolixiviação, e na sequência, concentração e purificação (CHEN *et al*., 2019). Sonoc *et al*. (2015) demonstraram que a eficiência da lixiviação por ácidos está em torno de 93%. Além destes métodos, os íons nas LIBs são separados por outros processos químicos: troca iônica, quando ocorre a transferência de íons específicos de uma solução pouco concentrada para outra de maior concentração através de uma resina, que remove os íons da água trocando-os por íons H^+ e OH^- quando entram em contato (ROCHA, 2015; SANTOS, 2016); extração por solvente, quando um solvente é utilizado para dissolver e separar um ou mais metais baseado em suas diferentes solubilidades, levando a uma mistura heterogênea de líquidos imiscíveis; precipitação química, quando um agente precipitante reage com o metal e forma um sólido denominado precipitado, que no caso das LIBs é um sal insolúvel, que se separou da solução devido à supersaturação de uma das substâncias (GREELANE, 2019), esse processo tem aproximadamente 80% de eficiência (SONOC *et al*., 2015); e a eletrólise, que consiste na decomposição da solução em seus componentes mediante a passagem de uma corrente elétrica.

Segundo Xiao *et al*. (2017), esses processos químicos reciclam diferentes metais de acordo com suas propriedades físico-químicas exclusivas. Um problema a ser resolvido é que muitos produtos químicos e orgânicos são consumidos para reciclar os metais valiosos dos materiais catódicos, o que gera um grande volume de ácidos, íons de metais pesados e resíduos orgânicos que causam poluição secundária considerável.

De acordo com Chen *et al*. (2019) e Zivancev *et al*. (2018), as principais vantagens da hidrometalurgia são que elementos de alta pureza podem ser gerados; a maioria dos

elementos químicos que constituem as LIBs pode ser recuperada e em grandes quantidades; baixas temperaturas de operação; menores emissões de CO_2 e gases poluentes em comparação com a pirometalurgia; baixo consumo de energia; e pode recuperar lítio e transformá-lo em carbonato de lítio através de uma reação com o CO_2, utilizado para fabricar novas baterias de íon de lítio, e por isso, é uma substância essencial.

De acordo com Xiao *et al*. (2017), para recuperar diretamente o carbonato de lítio, utiliza-se o processo de pirólise a vácuo, no qual os materiais catódicos são reduzidos *in situ* com o ânodo grafite como redutor, processo totalmente limpo já que nenhum aditivo é necessário, seguido por lixiviação com ácido fórmico como reagente e evaporação do líquido, e então, o Li_2CO_3 de alto valor agregado sai sob a forma de cristais brancos com pureza quase total. Este processo também ajuda a reciclar os demais metais das baterias. Quanto menor a relação sólido/líquido, maiores a velocidade do processo de lixiviação e a recuperação dos elementos. De acordo com Sonoc *et al*. (2015), o carbonato de lítio é barato e disponível em grandes quantidades, e quando virgem, pode ser utilizado como reagente para recuperar cobalto, níquel e manganês.

Segundo Chen *et al*. (2019), suas desvantagens são o aumento dos custos e da complexidade do processo derivada da necessidade de separação por classificação, o que requer maior espaço de armazenamento; do desafio de separar alguns elementos (ferro, cobalto, níquel, manganês e cobre) devido às suas propriedades semelhantes; e das águas residuais e produtos químicos das etapas de lixiviação, co-precipitação e lavagem. É necessário reutilizar e reduzir a quantidade de água para diminuir ou eliminar as águas residuais, ou então pode-se purificá-las; e atualmente o foco principal está na recuperação do material catódico devido ao seu alto valor e é necessário desenvolver tecnologias para recuperar os materiais eletrolíticos e o grafite do ânodo como materiais de alto valor, para aumentar a viabilidade econômica deste processo.

4.3.5.3 Reciclagem direta

De acordo com Chen *et al*. (2019), a reciclagem direta é um método emergente utilizado para coletar e recuperar diretamente os materiais ativos das LIBs mantendo a estrutura original do composto. Os componentes da bateria são separados através de processos físicos, como a separação magnética, e utilizam um processamento térmico moderado

para evitar a decomposição química dos materiais ativos, que são purificados e seus defeitos de superfície e na cristalografia são reparados por processos hidrotérmicos ou de relitiação. Segundo Steward *et al.* (2019), pode ser usada para recondicionar células antigas e recuperar a pureza de cátodos e ânodos antes de colocá-los de volta nas células, trazendo grandes economias de custos. O processo mais utilizado é a extração por solvente, na qual o CO_2 supercrítico auxilia a extrair os materiais dos ânodos e cátodos.

Segundo Chen *et al*. (2019), as principais vantagens da reciclagem direta são ser um processo relativamente simples; os materiais ativos podem ser reutilizados diretamente após a recuperação; e menores consumo de energia e emissões de poluentes e CO_2 em comparação com os dois métodos anteriores. Suas desvantagens são que requer uma classificação e pré-processamento rigoroso com base na química do material ativo; é difícil garantir uma estrutura cristalina consistente, de alta pureza e intocada que atenda aos rigorosos padrões exigidos pela indústria de baterias; é um método que está apenas em escala de laboratório no momento, sem uso comprovado em uma tecnologia; a inflexibilidade do processo, que pode não ser apropriado para atender às mudanças na química do cátodo; os cátodos podem ser uma mistura de diferentes materiais ativos e sua separação pode não ser economicamente ou tecnicamente viável; os materiais de diferentes composições NMC ainda não podem ser separados, dificultando sua classificação; ainda não há um modo eficaz de separar os materiais anódicos, catódicos e os plásticos; o processo, assim como os dois anteriores, é muito focado nos materiais catódicos, que representam apenas de 30% a 40% dos custos totais das baterias; e os materiais recuperados podem não apresentar desempenho tão bom quanto os virgens (STEWARD *et al*., 2019).

4.3.6 Temperaturas extremas

Em temperaturas muito baixas, as reações eletroquímicas que ocorrem no interior das baterias, como a migração de elétrons de um eletrodo para o outro, tornam-se mais lentas e reduzem a capacidade das baterias de fornecer energia, reduzindo a autonomia em aproximadamente 41% (REIS, 2019). Isso é explicado por que a resistência interna da bateria aumenta, diminuindo a energia que pode ser extraída. O efeito das temperaturas baixas é maior porque o aquecimento elétrico da cabine consome mais energia que o resfriamento e a ventilação. Em um veículo com bateria de íon de lítio de cátodo NMC, um pré-condicionamento térmico da cabine pode aumentar o alcance em

cerca de 24% em dias frios, sem o uso do aquecedor (YUKSEL E MICHALEK, 2015). Este sistema de pré-condicionamento se dá programando o horário da partida do motor através de comandos localizados no volante (GROUPE RENAULT, 2017).

O desempenho melhora em temperaturas altas, mas ocorre uma aceleração de elétrons que causa uma perda mais rápida da massa ativa, que é o material responsável por armazenar a energia nas baterias (BATERIAS ROZINELI, 2019), o que significa que a bateria está descarregando mais rápido, mantendo a necessidade de requisitos de gerenciamento térmico. Além disso, o calor também ajuda na evaporação da água do eletrólito. Tudo isso aumenta a autodescarga e o processo de corrosão dos componentes da bateria e pode levar a ocorrer sobrecargas no sistema elétrico, e em casos extremos, até explosões por conta dos gases da corrosão e evaporação (CHIPTRONIC, 2018). O pré-condicionamento térmico da cabine antes da jornada nessas condições aumentaria o alcance em cerca de 10% (YUKSEL E MICHALEK, 2015).

De acordo com Yuksel e Michalek (2015), a temperatura ambiente determina a temperatura inicial e durante o uso da bateria e a carga de gerenciamento térmico necessária, e é fundamental que a bateria seja pré-condicionada termicamente para reduzir sua resistência interna ou autodescarga. Para Zhang e Yu (2019), a melhor solução para ajustar a temperatura da bateria é realizar seu resfriamento a líquido, no qual a eficiência da dissipação de calor e o controle da temperatura são melhores que no resfriamento a ar, apesar da realização deste último ser mais simples; atinge o equilíbrio térmico em um curto espaço de tempo; sua temperatura final é mais baixa; e é menos afetado pela temperatura ambiente, por exemplo, em um aumento de 15º C na temperatura ambiente, a da bateria aumenta apenas 1º C.

A vazão ideal da água de resfriamento é aquela na qual a homogeneidade térmica corresponde à taxa de descarga ocorrida. Já as condições de aquecimento das LIBs mudam dinamicamente de acordo com as condições de trabalho, expressas pela taxa de recarga e/ou descarga da bateria, sendo que quanto maior for a taxa de descarga, maior será a geração de calor; e com a demanda de potência dos veículos. No início do processo, a temperatura aumenta rapidamente, porém depois de um certo tempo, o resfriamento e o aquecimento gradualmente entram em equilíbrio até a temperatura tornar-se constante. A capacidade térmica das LIBs, que corresponde à quantidade de

calor que cada bateria precisa receber para alterar sua temperatura em uma unidade, é obtida calculando a média ponderada de todos os seus componentes.

Existem dois modos de dissipação de calor para as baterias: em série e paralelo. No em série, quanto mais longe o líquido refrigerante está da entrada do tubo, mais alta é sua temperatura, o que leva a um baixo período de temperatura constante da bateria. Além disso, quanto mais comprido for o tubo, maior será a resistência ao fluxo e mais energia será necessária. Para resolver estes problemas, no modo paralelo, baterias e tubos são embutidos de forma que fiquem em contato uns com os outros e deve haver espaços para a entrada e saída do fluxo da água de resfriamento. Deve-se evitar que próximo à entrada fortes turbilhões de água sejam gerados e para isso, o valor da vazão deve ser devidamente ajustado, o que reduz o consumo de energia do sistema e as perdas no fluxo do fluido. Um modelo de dissipador de calor paralelo é demonstrado na figura 17.

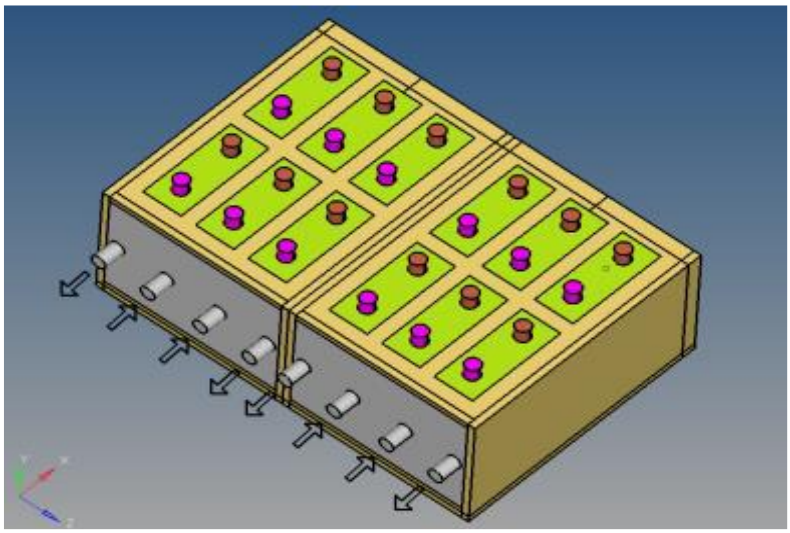

Figura 17: Dissipador de calor paralelo para as baterias. **Fonte**: Zhang e Yu (2019)

Uma das soluções para reduzir a ansiedade de alcance dos motoristas nestas situações seria os veículos possuírem no painel um indicador da faixa restante, consumo de energia em tempo real e o SoC, medida que já foi implantada pela Peugeot e pela Fiat. Esta medida ajuda em projetos futuros de VEs de carga, porque a falta de dados realistas sobre o consumo de energia ainda é um empecilho, sobretudo correlacionados à temperatura ambiente, que deve ser analisada em suas variações sazonal, diária e geográfica. Outro fator que deve ser aprimorado para esta situação é o treinamento dos condutores, para que devido às mudanças ocorridas nas condições das jornadas como possíveis congestionamentos, baixa visibilidade, consumo de energia maior devido ao

aquecedor ou ar-condicionado; e elementos climáticos como chuvas, neve e umidade, utilizem ciclos de condução adequados às temperaturas.

De acordo com FGV (2017), outra solução para aumentar a autonomia dos VEs em temperaturas extremas é integrar as baterias com supercapacitores, que são mais utilizados em veículos de grande porte, o que beneficia os caminhões de maior capacidade de carga útil, mas também já apresentam viabilidade para veículos comerciais leves. Segundo CPQD (2014), os supercapacitores também são acumuladores de energia elétrica e possuem alta densidade de potência, diferentemente das baterias de íon de lítio, que apresentam alta densidade energética, o que significa que podem fornecer e armazenar altas quantidades de potência em curtos intervalos de tempo, o que é essencial nos momentos de aceleração e frenagem dos veículos elétricos. As baterias fornecem corrente, porém em intensidade máxima limitada, já os supercapacitores são capazes de fornecer picos de correntes de intensidade elevada, de dezenas a centenas de vezes maiores que as baterias, porém no máximo por poucos minutos, devido à baixa quantidade de energia que armazenam.

O uso de um supercapacitor combinado à bateria permite reduzir a quantidade de energia necessária para cada um isoladamente e o tempo de recarga; e com a introdução de um sistema eletrônico para fazer o gerenciamento da combinação, os veículos ganham um considerável aumento de eficiência, o que reduz seus custos de energia e o total de células necessárias por módulo. Como barreira a esse sistema, os supercapacitores, assim como as baterias, apresentam custo elevado.

A Tabela 10 resume os principais desafios ainda existentes para o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas e apresenta as principais soluções propostas para resolvê-los, baseadas em aspectos técnicos e/ou econômicos.

Tabela 10: Benefícios técnicos e/ou econômicos das propostas para promover o crescimento dos VEs no transporte de cargas

Desafio	**Proposta**	**Benefícios**	
		Técnico	**Econômico**
Alto tempo de recarga e infraestrutura	**Estações de recarga rápida**	Fornecem uma recarga de 80% em 30 minutos e de	Os custos para sua implantação são comparáveis a

insuficiente		100 a 160 quilômetros de alcance em apenas 20 minutos.	outros projetos de infraestrutura urbana, não sendo tão elevados quanto o esperado.
	Sistema de recarga subterrâneo	Mantém o estado de carga em níveis elevados, o que reduz o tempo ocioso para paradas para recarga.	Reduz os custos de recarga por ser gratuito; a capacidade da bateria instalada nos veículos, que se tornam mais baratos; e o número de veículos das frotas das empresas. Aumenta a carga útil dos veículos e por consequência, a capacidade e o lucro das entregas realizadas.
	Estações de troca de bateria	Podem levar menos de 10 minutos, e se automatizadas, apenas de 3 a 5 minutos. A recarga lenta das baterias estende sua vida útil.	Custos menores comparados às estações de recarga rápida.
Alto custo de aquisição	**Pesquisas para a produção de baterias mais baratas**	-	As baterias são o elemento mais caro dos veículos elétricos, e a redução do seu preço reduziria o dos veículos conjuntamente.
Desconhecimento dos usuários	**Transição através dos veículos híbridos**	Por combinarem um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos, são mais amadurecidos tecnologicamente que os veículos puramente elétricos e possuem maior confiança dos usuários.	Possuem custo de aquisição menor que os veículos puramente elétricos.

	Treinamento dos condutores	Permite aos motoristas se adaptarem às peculiaridades técnicas e operacionais dos veículos elétricos e os conduzirem com maior eficiência.	Muitas empresas já possuem condições financeiras para investir em treinamentos para seus motoristas.
Baixa autonomia	**Testes e demonstrações**	Descobrir quais os segmentos de carga e operações logísticas mais adequadas aos veículos elétricos.	-
	Roteirização	Sistemas inteligentes de planejamento de rotas realizam esta atividade, facilitada pela maioria das distâncias já serem conhecidas com antecedência.	Ajudam a reduzir o total de paradas para recarga necessárias aos veículos.
Baixos níveis de mercado de segunda mão para as baterias	**Remanufatura das baterias**	Minimiza o consumo de energia e as emissões do ciclo de vida.	Economiza mais de 70% do custo de substituição das baterias.
	Reaproveitamento das baterias	Se os fabricantes fornecerem serviços de garantia, consultoria, instalação, manutenção e modelos de negócios baseados em serviços, superam a desconfiança enfrentada por serem baterias degradadas.	Estende sua vida útil além da primeira utilização, maximizando seu valor.
	Reciclagem das baterias	Pode acomodar baterias de todos os modelos e capacidades nominais, que se	O retorno de elementos valiosos mais rapidamente para a cadeia de valor diminui a

		tornam parte da economia circular.	necessidade de extração de novos recursos, e por consequência, as emissões de gases de efeito estufa.
Autodescarga ou resistência interna da bateria em temperaturas extremas	**Pré-condicionamento térmico da cabine dos veículos**	Aumenta o alcance em relação às perdas de eficiência da bateria.	-
	Painel de informações nos veículos	Indica a faixa restante, o consumo de energia em tempo real e o estado de carga.	-
	Treinamento dos motoristas	Permite aos motoristas se adaptarem às temperaturas extremas e suas consequências, como baixa visibilidade, chuvas, neve e umidade, que alteram o consumo de energia regular das baterias.	-
	Resfriamento a líquido das baterias	Dissipação de calor e controle da temperatura mais eficientes que no resfriamento a ar, atinge o equilíbrio térmico em um curto espaço de tempo, e é pouco afetado pela temperatura ambiente.	

Fonte: Elaboração própria

4.4 Políticas públicas de incentivo sugeridas

Vaz *et al*. (2015) demonstraram que, além dos incentivos mencionados anteriormente, nas áreas financeira e de infraestrutura, outras práticas, como gratuidade em estacionamentos públicos; uso de faixas exclusivas e/ou direito a usar as pistas para

ônibus; isenção de custos operacionais variáveis, como pedágios em rodovias, e fixos, como as taxas de circulação em centros urbanos; vagas cativas em estacionamentos, descontos no seguro do veículo e dispensa de inspeções veiculares, vêm sendo implementadas ao redor do mundo para concretizar o objetivo do crescimento dos veículos elétricos no mercado, inclusive as bicicletas.

WRI Brasil (2019a) descreveu as Zonas de Baixa Emissão (LEZ), que consistem na proibição ao acesso de veículos a combustão interna em determinados períodos em certas localidades, incluindo políticas de taxação de congestionamento para reduzir a presença desses veículos, sobretudo os pesados, reduzindo assim os congestionamentos e cumprindo a pressão regulatória global de redução de veículos pesados. As LEZ, portanto, apresentam três propostas distintas que se complementam na busca da sustentabilidade global. O sucesso de uma LEZ depende muito da maneira de como a medida é comunicada e promovida, sendo importante consultar a população e todos os interessados sobre a maneira mais adequada e justa de operação, deixando claros os objetivos e estratégias. Por mais difícil que seja a avaliação, é provável que as LEZ resultem na diminuição dos níveis de poluentes atmosféricos e GEE também fora da área delimitada, já que veículos mais limpos irão circular por toda a cidade. Para Mirhedayatian e Yan (2018), a medida é a que mais ajuda a aumentar a qualidade de vida da população porque reduz em grande número os custos externos, especialmente em regiões de população alta, poluição densa e tráfego pesado.

Chaud *et al.* (2012) demonstraram que em Londres, a taxação de congestionamento é gerida por uma empresa privada sob fiscalização do governo, e as receitas obtidas são investidas em melhorias do sistema de transporte. A prática já levou à diminuição do volume de tráfego e consequentemente, redução dos congestionamentos e dos tempos de viagem. Também discursaram sobre São Paulo, onde caminhões médios e grandes não podem circular em algumas das principais vias das 5 às 21 horas nos dias úteis, e de 10 às 14 aos sábados, exceto feriados, com os objetivos de reduzir as emissões, os congestionamentos e os acidentes, principalmente no horário de pico, na chamada Zona de Máxima Restrição de Circulação.

Rizet *et al.* (2016) sugeriram como políticas: a prioridade ou obrigação das entregas em determinadas áreas serem realizadas por veículos elétricos; a autorização para que os

VEs realizem entregas durante todo o dia, enquanto os demais têm restrições de horário; e o aluguel de veículos movidos a bateria. Quak *et al*. (2016a) sugeriram iniciativas de acesso prioritário, como acesso a faixas para veículos de alta ocupação, janela de tempo de atendimento aos clientes estendida e isenção de restrição de peso máximo. Foltynski (2014) demonstrou que em 's-Hertogendenbosch, cidade histórica de tamanho médio da Holanda, há uma zona ambiental onde somente caminhões limpos são permitidos, medida essa que poderia começar a ser introduzida nos municípios que se assemelham a ela no Brasil, caso haja condições financeiras para o governo e as empresas.

Conforme demonstrado por Pessanha *et al*. (2011), a parceria das distribuidoras de energia elétrica com fabricantes de veículos e de pneus, fornecedores e transportadoras será de grande importância nas negociações com os governos para a formulação de políticas e iniciativas que promovam os veículos elétricos, como a redução ou isenção de taxas; subsídios diretos para a compra de veículos; financiamentos para a construção de redes de recarga; definição adequada de encargos e impostos sobre o preço da energia elétrica, que devem ser menores do que sobre os derivados do petróleo; e para o caso brasileiro, obter a redução do IPI (Imposto sobre produtos industrializados) e do ICMS (Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços).

Ehrler *et al*. (2020) apresentaram outra parceria, que tem como objetivo identificar os segmentos do transporte de carga mais adequados à uma mudança rápida para os VEs e promover seu desenvolvimento. Essa se dá entre as montadoras de equipamentos originais (OEM) e o governo, que financia instituições de pesquisa, e em conjunto, obtém as respostas desejadas através de projetos-piloto e avaliam o desenvolvimento do tema através de curvas de aprendizagem. Com isso, os custos, riscos e lucros da abertura do mercado aos VEs serão repartidos entre os vários atores do negócio e todos serão beneficiados com sua expansão, com suas imagens sendo associadas à sustentabilidade, e se posicionam na vanguarda desta inovação.

Segundo Iwan *et al*. (2019), as autoridades públicas são o principal agente influenciador da aceitação dos veículos elétricos de transporte de cargas através de apoios monetário e não-monetário. Giordano *et al*. (2018) dividiram os incentivos governamentais em três categorias: incentivos monetários ou fiscais únicos no momento da compra; monetários ou fiscais anuais sobre taxas operacionais obrigatórias recorrentes; e monetários ou não-

monetários sobre taxas operacionais variáveis. Naumanen *et al*. (2019) concluíram que sem rigorosas regulamentações de emissões para as montadoras e frotas privadas, é improvável que aconteça uma transição significativa para a mobilidade elétrica. Segundo Mirhedayatian e Yan (2018), há dois tipos principais de impostos para os veículos: o de registro e o de circulação, e sugeriram duas possibilidades: que os VEs sejam isentos de ao menos um desses impostos ou com um desconto apropriado, esses dois impostos funcionem em conjunto. De acordo com Quak *et al*. (2016a), atualmente existe um entendimento que os incentivos não-monetários têm grande importância, porque os financeiros não se sustentam em longo prazo. Ehrler *et al*. (2019) asseveram que empresas que desejam individualmente manter descontos em longo prazo para a compra dos VEs devido ao seu compromisso ambiental enfrentariam uma desvantagem competitiva em relação às outras.

Para o sistema OnC de recarga de energia, que apresenta como desvantagens o maior peso da bateria e por consequência, menor carga útil e maiores custos, é possível que os preços da eletricidade possam ser mais atraentes à noite durante o horário das recargas do que durante o dia devido a subsídios comerciais ou governamentais, o que beneficiaria também as estações de troca de baterias. Os incentivos para o uso de energia durante a noite ajudariam a equilibrar a carga na rede, reduziriam os custos de capital e operacional, e maximizariam o uso de fontes de energia renováveis, como a eólica (NICOLAIDES *et al*., 2018a), em expansão no sistema energético brasileiro. A diferença de custos para o sistema CoM reduziria bastante, apesar de permanecerem superiores, porém as atividades para as quais o sistema OnC é o utilizado para recarga de energia experimentariam uma considerável redução nas despesas. A média dos custos anuais é calculada pela expressão matemática (1) (NICOLAIDES *et al*., 2018a).

Custos anuais = {[Custo de capital x taxa de energia transferida em kW] / [1 - (1 + taxa de energia transferida em kW) ^- anos]} + custos de manutenção + custos operacionais (1)

Uma política pública ainda muito incipiente no Brasil, mas já em avançado estágio de desenvolvimento em países como Alemanha e Japão é a chamada *Feed in Tariff* (FIT), que visa incentivar a adoção de fontes de energia renováveis. Consiste no pagamento de tarifas para as geradoras que produzirem energia por meios alternativos, como o uso de

painéis fotovoltaicos nos telhados das casas, nos prédios comerciais e industriais para abastecer tanto sistemas isolados quanto redes de alimentação de energia elétrica. O principal objetivo é viabilizar a implementação de centrais produtoras, cujas despesas para gerar energia são relativamente altas (SOLARVOLT, 2015).

As tarifas são determinadas por contratos de longo prazo, em períodos entre 10 e 20 anos. Esse tempo é necessário para que as produtoras possam desenvolver fontes alternativas sem elevar seus custos. Neste sistema é estabelecida uma cota de energia que é obrigatoriamente comprada pelas centrais energéticas. Esse valor é repassado aos consumidores por elas atendidos e dividido igualmente entre eles. Com isso, o aumento da taxa de energia fica menor do que as contas tradicionais de energia elétrica. Um fato importante a se destacar é que após a aprovação desta e das demais políticas deve ser avaliada se é possível suas transferências para outras localidades de acordo com as características de cada estado ou região. Por exemplo, a região Nordeste teria facilidade para implantar a FIT produzindo energia eólica, devido à grande potência instalada na localidade, porém esta política não seria bem-sucedida no Norte e Centro-Oeste do Brasil atualmente pois não há a instalação de parques eólicos nessas regiões.

De acordo com Naumanen *et al*. (2019), sem políticas públicas, a proporção das vendas anuais de PEVs no mercado de 2020 a 2030 deve crescer apenas de 1,4% para 7%, porém com fortes incentivos políticos para a demanda, esse valor deve crescer para entre 17% e 28%. Consideram que as principais políticas que levariam a este resultado são subsídios à compra e implantação em larga escala de equipamentos de recarga nas vias urbanas. Com incentivos ou exigências para que as montadoras aumentem a disponibilidade e variedade de modelos de PEVs, estes podem chegar a representarem 30% das vendas do mercado de veículos.

Segundo Wang e Thoben (2016), os subsídios à compra dos VEs podem ser divididos em duas categorias, e os governos definem qual será escolhida. A primeira categoria é baseada nos veículos de zero emissão e o percentual dos subsídios é constante para todos os BEVs. A segunda categoria é baseada na capacidade de energia da bateria e na forma de recarga. Com isso, os PHEVs que apresentem a mínima capacidade de energia da bateria exigida podem receber subsídio igual aos BEVs de capacidade semelhante, e quanto maior for essa capacidade, maior o subsídio.

5. CONCLUSÃO

Conforme apresentado, os veículos elétricos possuem inúmeros benefícios econômicos devido aos seus menores custos operacionais, que são essenciais aos veículos destinados ao transporte de cargas pois estes percorrem maiores quilometragens diárias, com destaque para seus menores consumo e custo com energia por quilômetro percorrido; e sua manutenção mais barata e simples, pois o motor apresenta menos defeitos e um número bem menor de peças móveis de rotação sujeitas a desgaste. Além disso, apresentam benefícios sociais e ambientais, com destaque para a redução da poluição sonora e das emissões de poluentes atmosféricos e GEE nas cidades. Devido a todas essas vantagens, demonstram ser a melhor alternativa para descarbonizar o setor de transportes mundialmente.

Este último benefício pode ser expandido caso as fontes que deram origem à eletricidade sejam renováveis, e quanto a isso, o Brasil é um dos países mais privilegiados no mundo, com mais de 80% de sua capacidade e produção de eletricidade proveniente de fontes renováveis (MME, 2018), nas quais destacam-se a energia eólica, que vem aumentando seus índices de uso na produção de energia elétrica, sobretudo na região Nordeste; e a energia fotovoltaica, que obteve aumentos exponenciais em anos recentes, mesmo com a crise enfrentada pelo país. Porém, os derivados do petróleo ainda correspondem a quase 70% da energia utilizada nos veículos brasileiros (VAZ *et al.*, 2015).

A utilização destas fontes de produção de energia é fundamental, pois além de serem limpas, suprirão a demanda e o consumo extras que serão verificados com a expansão dos veículos elétricos no mercado, o que levará a impactos técnicos, econômicos e operacionais no sistema elétrico, e à necessidade de investimentos em projetos de modernização e ampliação das distribuidoras de energia elétrica para garantir a segurança energética dos países. Para a situação brasileira, devido à elevada capacidade de potência instalada destas fontes renováveis e ao seu avançado sistema de distribuição de energia elétrica, esses impactos seriam pequenos, o que seria essencial ao crescimento dos veículos elétricos no país.

Porém, o Brasil ainda enfrenta barreiras próprias para o crescimento dos veículos

elétricos no transporte de cargas. Os estudos sobre a eletrificação do setor ficaram relegados a terceiro plano na área de transportes, atrás dos transportes particular e público. Outros fatores que ainda impedem uma maior expansão do mercado de veículos elétricos no Brasil são a infraestrutura de recarga ainda em estágio muito inicial; um mercado de biocombustíveis derivados da cana de açúcar cada vez mais consolidado; e baixas taxas de mercado de segunda mão para os VEs e suas baterias.

O Brasil também enfrenta algumas adversidades características de países em desenvolvimento, como mudanças nas prioridades políticas, com a descontinuidade de muitos projetos após trocas no governo; benefícios da legislação e subsídios a combustíveis fósseis para apoiar objetivos políticos; taxas instáveis de desenvolvimento; altas taxas de juros; incertezas em longo prazo na estrutura do mercado; os principais centros de pesquisas veiculares localizam-se nos países desenvolvidos, e devido a isso, a adoção de novas tecnologias tende a ocorrer lentamente no país, após sua consolidação nos mercados principais; além de precisarem, simultaneamente aos investimentos específicos para os VEs, desenvolver uma rede de estradas, estacionamentos, oficinas de reparo e outros elementos essenciais para a infraestrutura nacional.

Este estudo concluiu que a atividade de transporte de cargas mais adequada atualmente para o uso de veículos elétricos são as entregas em domicílio, pois a grande maioria de suas jornadas são realizadas em distâncias muito curtas, com frequentes paradas; as baterias necessárias para as entregas frequentemente são de baixa capacidade; o peso das remessas é baixo; veículos muito leves, como bicicletas, ciclomotores e triciclos são adequados para esta operação; os custos de aquisição são os de menor diferença proporcional quando comparados a veículos convencionais de tamanho semelhante, custando em torno do dobro do preço; e são uma importante fonte de emprego para trabalhadores autônomos. Estes veículos leves também são ideais para atividades de *last mile* e coleta de lixo, já estão em grande parte em nível de prontidão para o mercado e são utilizados na forma de triciclos para atividades de entregas de correspondências no Brasil. Devido a estes motivos, há cidades ao redor do mundo onde já existe a possibilidade da substituição de todos os veículos comerciais leves convencionais por elétricos, dependendo dos seus padrões de mobilidade e da demanda de cargas.

De forma geral, os veículos elétricos, por serem uma tecnologia ainda em fase inicial de desenvolvimento, apresentam seis principais desafios ao seu crescimento no ramo do transporte de cargas: os elevados tempos de recarga e a falta de infraestrutura suficiente para a realização desta atividade, o que pode levar muitas empresas a não adquiri-los por receio que seus motoristas fiquem sem carga durante seus percursos, a chamada "ansiedade de alcance"; os altos custos de aquisição dos veículos, que levam muitos líderes de frota a não comprarem VEs, apesar do segmento e da demanda de carga que entregam e operações que realizam serem adequados à esta tecnologia; o desconhecimento dos usuários sobre esse tipo de força motriz e seus benefícios ambientais; a baixa autonomia, que pode levar a frequentes recargas durante uma operação de transporte de cargas e ao risco do percurso não ser finalizado; os baixos índices de mercado de segunda mão para os VEs e as baterias; e as temperaturas extremas, que quando baixas, provocam aumento da resistência interna das baterias, e quando altas, autodescarga.

Para o elevado tempo de recarga, as soluções propostas são a implantação de estações de recarga rápida e o sistema de recarga subterrâneo, cujos custos de implantação, conforme demonstrados anteriormente, são comparáveis a outros projetos de infraestrutura urbana, não sendo tão elevados quanto o esperado; e contribuem para a redução do tamanho e da capacidade das baterias, e por consequência, do custo de aquisição dos VEs. São essenciais para entregas realizadas em longas distâncias, trazendo atratividade e competitividade para caminhões de capacidade de carga útil elevada. Outra proposta é a implantação de estações de troca de bateria, que realizam sua atividade fim em tempos muito próximos ao reabastecimento dos veículos convencionais.

Para os altos custos de aquisição dos VEs, a principal solução é reduzir os custos das baterias, elemento de maior preço dos veículos. Para o desconhecimento dos usuários, uma proposta é realizar a transição através dos veículos híbridos, mais amadurecidos tecnologicamente e de maior confiança pelos usuários por apresentarem um motor a combustão interna. Também possuem custos de aquisição inferiores aos veículos puramente elétricos. Outra solução é as empresas proporcionarem treinamento aos seus motoristas, permitindo-lhes que se adaptem às peculiaridades técnicas e operacionais dos veículos elétricos e os conduzam com maior eficiência.

Para a baixa autonomia, uma alternativa é realizar testes e demonstrações para descobrir as atividades logísticas mais adequadas aos veículos elétricos, que este estudo concluiu serem as entregas em domicílio, combinadas com adequadas roteirizações. Para os baixos níveis de mercado de segunda mão para as baterias, utilizar os processos de remanufatura, permitindo uma segunda utilização da bateria em VEs; reaproveitamento, em que as baterias são reconfiguradas para uma segunda utilização em aplicações menos exigentes; e a reciclagem, que torna as baterias parte da economia circular e proporciona a redução da necessidade de extrair novos recursos e consequentemente, diminui as emissões de GEE. Os dois primeiros estendem o uso das baterias, enquanto o terceiro encerra seu ciclo de utilização.

Para a elevada resistência interna das baterias em temperaturas baixas e autodescarga em temperaturas altas, soluções propostas são realizar um pré-condicionamento térmico da cabine antes das atividades de transporte de cargas; colocar nos veículos um painel sobre o consumo de energia em tempo real; treinar os motoristas para que utilizem ciclos de condução ideais para estas situações e demais variações climáticas; e realizar o resfriamento a líquido das baterias, permitindo-lhes que atinjam o equilíbrio térmico em um curto espaço de tempo. Os altos índices de energias renováveis brasileiros ajudam diretamente neste desafio, sendo úteis para as temperaturas extremas registradas no país, como o forte calor no Nordeste e o intenso frio na região Sul, já que nestas condições haverá maior oferta de energia limpa para recarregar os veículos, que apresentarão uma demanda de energia extra devido às maiores perdas que ocorrerão durante a recarga.

Os veículos elétricos têm a capacidade de reconfigurar a indústria veicular, abrindo oportunidades para novas montadoras e podem criar empregos para seu desenvolvimento pelo fato de a tração puramente elétrica ser mais simples e um motor elétrico ter menos componentes que um motor a combustão interna, além de ser menor e mais leve, o que o torna mais fácil de ser montado. Seu *powertrain* também é mais fácil de ser desenvolvido.

Parcerias entre empresas nacionais e estrangeiras e entre distribuidoras de energia elétrica com fabricantes de veículos, fornecedores e transportadoras serão de grande importância em negociações com os governos para a formulação de políticas públicas e iniciativas que promovam os veículos elétricos como a redução ou isenção de impostos,

como por exemplo os de registro e circulação; prática de subsídios diretos para a compra e aluguel de veículos elétricos; construção de redes de recarga; e a definição adequada de encargos e impostos sobre o preço da energia elétrica. Outra parceria fundamental é entre as OEM e o governo, que financia instituições de pesquisa, e em conjunto, obtêm as respostas desejadas através de projetos-piloto. Com essas parcerias, os custos, riscos e lucros do crescimento do mercado dos VEs são repartidos entre os vários agentes do negócio e todos serão beneficiados com sua expansão.

O Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer para o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas, e tem como trunfo principal a grande quantidade de energias renováveis do país. Se conseguir simultaneamente explorar sua crescente matriz de energia renovável e seu sistema de distribuição de energia elétrica, que apresenta alta confiabilidade, os veículos elétricos poderão penetrar em todos os segmentos do transporte de cargas em no máximo duas décadas, conforme detalhado anteriormente. Porém, para que isto ocorra são necessárias políticas públicas aliadas a incentivos financeiros e investimentos em infraestrutura, que se foram essenciais para o crescimento dos VEs no mercado em países desenvolvidos, onde a maior parte dos principais centros de pesquisa veiculares estão localizados, é ainda mais primordial no caso brasileiro, onde a adoção de novas tecnologias tende a ocorrer mais lentamente. As reduções do IPI e do ICMS e o projeto de lei que pretende zerar os impostos sobre importações e vendas de carros elétricos são os primeiros passos para realizar tal objetivo. O Brasil também deve, assim como outros países e blocos econômicos fizeram, estipular até um determinado ano uma meta de redução da quantidade de GEE e poluentes na atmosfera, para assim, cada vez mais, introduzir os veículos elétricos no transporte de cargas nacional.

Como limitações deste trabalho, devido ao fato de os veículos elétricos no transporte de cargas estarem em estágio bastante inicial no Brasil, não foi possível obter dados como total de eletropostos públicos já existentes no país e VEs destinados ao transporte de cargas comprados nos anos mais recentes, dados esses que ajudariam a explicar melhor a situação em que o país se encontra no que se refere ao tema desta dissertação. Outra limitação foi que na análise dos VEs atualmente utilizados no transporte de cargas, para alguns deles não foram obtidas todas as informações técnicas desejadas. Por último, não foi possível realizar um estudo comparativo econômico entre um caminhão

convencional e outro elétrico, para comprovar matematicamente a maior viabilidade financeira dos VEs devido a seus menores custos de energia e manutenção, apesar de apresentarem maior custo de aquisição.

Como sugestões para trabalhos futuros, realizar demonstrativos numéricos dos benefícios que os VEs trouxeram para os países nos quais esta tecnologia já está mais avançada quanto à redução das emissões de poluentes atmosféricos e GEE; o quanto empresas espalhadas pelo mundo economizaram devido ao uso dos VEs, que possuem menores custos operacionais; e no futuro quando os VEs estiverem consolidados no Brasil, realizar estudos semelhantes para o país e empresas aqui estabelecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Perfil da indústria brasileira do alumínio**, 2018. Disponível em: <http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **INFOVENTO 20**, 2021. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/06/2021_05_InfoVento20.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil - Infográfico Absolar**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 20 set. 2021.

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE. **Poluição atmosférica**, 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>. Acesso em: 25 out. 2021.

ASSUMPÇÃO, F. C., 2016, **Veículos elétricos de carga – uma análise de sua evolução histórica, perfil e possível utilização no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Ambiental, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

AUTO ESPORTE. **Aceleramos o elétrico Nissan e-NV200**, 2014. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/google/amp/testes/noticia/2014/03/aceleramos-o-eletrico-nissan-e-nv200.ghtml>. Acesso em: 02 jul. 2019.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **BYD entrega os primeiros caminhões elétricos à Corpus**, 2018. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/byd-entrega-os-primeiros-caminhoes-eletricos-a-corpus/>. Acesso em: 19 out. 2021.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Hitech Eletric lança linha de comerciais elétricos no Brasil**, 2020. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/noticia/31867/hitech-eletric-lanca-linha-de-comerciais-eletricos-no-brasil>. Acesso em: 13 jul. 2021.

AUTONOMIE. **Hybrid Electric Vehicles Power Split Configuration**, 2020. Disponível em: <https://www.autonomie.net/references/hev_26d.html>. Acesso em: 06 mai. 2021.

AUTOPAPO. **JAC lança, no Brasil, primeira picape 100% elétrica do mundo**, 2020. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/noticia/jac-lanca-brasil-primeira-picape-eletrica-iev330/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

AVEKA. **What is cryogenic milling?**, 2020. Disponível em: <https://www.aveka.com/processing/cryo-milling/>. Acesso em: 16 abr. 2020.

BALM, S. H. e HOGT, R. "Designing Light Electric Vehicles for urban freight transport". In: **EVS30 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium**, Sttugart, Alemanha, 9-11 outubro 2017.

BANDEIRA, R. A. M.; GÓES, G. V.; GONÇALVES, D. N. S.; D'AGOSTO, M. A. e OLIVEIRA, C. M., 2019, "Electric vehicles in the last mile of urban freight transportation: A sustainability assessment of postal deliveries in Rio de Janeiro-Brazil", **Transportation Research Part D**, v. 67, pp. 491-502.

BARAN, R. e LEGEY, L. F. L., 2011, "Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil", **BNDES Setorial**, n. 33, pp. 207-224.

BARN FINDS. **Special Delivery: 1976 Jeep DJ-5E Electruck**, 2018. Disponível em: <https://barnfinds.com/special-delivery-1976-jeep-dj-5e-electruck/>. Acesso em: 08 jul. 2021.

BATERIAS ROZINELI. **Saiba quais são os componentes da bateria automotiva**, 2019. Disponível em: <https://bateriasrozineli.com.br/noticias/saiba-quais-sao-os-componentes-da-bateria-automotiva-c-9>. Acesso em: 02 out. 2021.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **A energia solar funciona à noite? [Veja se você acertou]**, 2017**.** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-funciona-a-noite/>. Acesso em: 31 mar. 2020.

BORGES, L. **Você sabe como funciona a energia das ondas?**, 2020 Disponível em: <https://autossustentavel.com/2020/04/ondomotriz-energia-ondas.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

BORTHAKUR, S. e SUBRAMANIAN, S. C., 2018, "Optimized design and analysis of a series-parallel hybrid electric vehicle powertrain for a heavy duty truck", **IFAC PapersOnLine**, v. 51, n. 1, pp. 184-189.

BUDDE-MEIWES, H.; DRILLKENS, J.; LUNZ, B.; MUENNIX, J.; ROTHGANG, S.; KOWAL, J. e SAUER, D. U., 2013, "A review of current automotive battery technology and future prospects", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering**, v. 227, n. 5, pp. 761-776.

BYD. **BYD eT7 11.200 Delivery**, 2019a. Disponível em: <https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2020/09/eT7_byd_Versão-2.0.2019_PT.pdf >. Acesso em: 13 jul. 2021.

BYD. **CAMINHÃO MULTIVOCACIONAL eT8E 100% ELÉTRICO A BATERIA**, 2019b. Disponível em: <https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2020/09/eT8E-1S-2019-PT_V2.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

BYD. **Novo BYD eT3 100% ELÉTRICO. O COMERCIAL LEVE MAIS ECONÔMICO DA NATUREZA**, 2021. Disponível em: <https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2021/02/BYD-eT3-jan-2021.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CARGOBR. **Conheça todos os tipos de transporte de carga**, 2018. Disponível em: <https://blog.cargobr.com/conheca-todos-os-tipos-de-transporte-de-carga/>. Acesso em: 24 jun. 2019.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D. e ROCIO, M. A. R., 2014, "A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?", **BNDES Setorial**, n. 40, pp. 205-234.

CASTRO, F. A.; SZKLO, A. S. e ALMEIDA, S. C. A., 2013, "Estudo de viabilidade de substituição da arquitetura veicular em caminhão de coleta". In: **Congresso Brasileiro de Energia**, pp. 1-14, Rio de Janeiro, RJ, outubro 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar – poluentes**, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 06 nov. 2019.

CHARGEHUB. **2020 Guide On How To Charge Your Electric Car With Charging Stations**, 2020. Disponível em: <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

CHAUD, C. A.; GALVÃO, L. C. e UDAETA, M. E. M., 2012, "Análise da mobilidade urbana para inclusão de caminhões elétricos visando uma logística sustentável." In: **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção,** pp. 1-20, Bento Gonçalves, RS, 15-18 outubro 2012.

CHEN, M.; MA, X.; CHEN, B.; ARSENAULT, R.; KARLSON, P.; SIMON, N. e WANG, Y., 2019, "Recycling end-of-life electric vehicle lithium-ion batteries", **Joule**, v. 3, n. 11, pp. 2622-2646.

CHIPTRONIC. **Entenda por que as baterias automotivas sofrem mais danos no verão**, 2018. Disponível em: <https://chiptronic.com.br/blog/por-que-as-baterias-automotivas-sofrem-mais-danos-no-verao>. Acesso em: 29 set. 2019.

CLAREMBAUX, L. G.; PÉREZ, J., GONZÁLEZ, D. e NASHASHIBI, F., 2016, "Perception and control strategies for autonomous docking for electric freight vehicles", **Transportation Research Procedia,** v. 14, pp. 1516-1522.

CORREIOS. **Correios testa novos veículos para entrega de encomendas em SP e MG**, 2014. Disponível em: <https://blog.correios.com.br/correios/?p=11262>. Acesso em: 27 mai. 2019.

CPFL ENERGIA. **Tipo 1 – SAE J1772**, 2019. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/mobilidade-e/tipos-de-plug/Paginas/Tipo%201%20-%20SAE-J1772.aspx>. Acesso em: 23 dez. 2020.

CPQD. **Supercapacitor**, 2014. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/midia-eventos/conexao-cpqd/conexao-cpqd-janeiro-2014/supercapacitor/>. Acesso em: 26 dez. 2020.

DIÁRIO DO TRANSPORTE. **IVECO se diz pronta para introduzir veículos elétricos e a GNV no Brasil**, 2019. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2019/10/13/iveco-se-diz-pronta-para-introduzir-veiculos-eletricos-e-a-gnv-no-brasil/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

DIAS, D. e RODRIGUEZ, H. **As vantagens e (poucas) desvantagens da direção elétrica**, 2018. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/as-vantagens-e-poucas-desvantagens-da-direcao-eletrica/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

DW. **Cobalto: um metal raro, precioso e disputado na República Democrática do Congo,** 2018. Disponível em: <https://amp.dw.com/pt-002/cobalto-um-metal-raro-precioso-e-disputado-na-república-democrática-do-congo/a-45510238/>. Acesso em: 15 out. 2021.

E-COMMERCEBRASIL. **Last-Mile: O que é e quanto isso impacta em sua operação?**, 2018. Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/last-mile-o-quanto-isso-impacta-em-sua-operacao/>. Acesso em: 03 mar. 2019.

EHRLER, V. e HEBES, P., 2012, "Electromobility for city logistics – The solution to urban transport collapse? An analysis beyond theory", **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 48, pp. 786-795.

EHRLER, V. C.; LOBIG, A. e RISCHKE, D., "E-vehicles for urban logistics – why is it not happening yet? – Requirements of an innovative and sustainable urban logistics concept." In: Elbert, R.; Friedrich, C.; Boltze, M. e Pfohl, H. (eds), **Urban Freight Transportation Systems**, 1 ed., capítulo 12, Berlim, Alemanha, Elsevier, 2020.

EHRLER, V. C.; SCHÖDER, D. e SEIDEL, S., 2019, "Challenges and perspectives for the use of electric vehicles for last mile logistics of grocery e-commerce – Findings from case studies in Germany", **Research in Transportation Economics**.

ELETRA. **Notícias**, 2021. Disponível em: <https://www.eletrabus.com.br/noticias/page/2/>. Acesso em: 22 out. 2021.

ENCLOSE. **Partners**, 2014. Disponível em: <http://www.enclose.eu/content.php?p=2>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ENEL X. **Tudo sobre Energia Solar: tipos de sistema (On Grid e Off Grid)**, 2016. Disponível em: <https://www.enelx.com.br/blog/2016/06/energia-solar-tipos-de-sistema-on-grid-e-off-grid/>. Acesso em: 24 fev. 2019.

ENERGYSAGE. **Charging your EV: how do EV charging stations work?**, 2019. Disponível em: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/charging-your-ev/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

ENGRENAGENS POZELLI. **Engrenagem planetária**, 2020. Disponível em: <https://www.pozelli.ind.br/engrenagem-planetaria>. Acesso em: 06 mai. 2021.

ESCOLA EDTI. **Just in time: vantagens e desvantagens**, 2018. Disponível em: <https://www.escolaedti.com.br/just-in-time-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 21 jun. 2019.

ESTRADÃO. **Caminhão elétrico Tesla Semi será feito em série em 2020**, 2020. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/tesla-produzira-o-semi/>. Acesso em: 12 out. 2021.

ESTRADÃO. **BYD lança novo furgão elétrico eT3 no Brasil com preço de R$ 229 mil**, 2021a. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/estradao.estadao.com.br/caminhoes/byd-lanca-novo-furgao-eletrico-et3-no-brasil-com-preco-de-r-229-mil/%3famp>. Acesso em: 16 out. 2021.

ESTRADÃO. **Caminhão BYD T8 coleta lixo orgânico para produzir energia elétrica**, 2021b. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhao-byd-t8-coleta-lixo-organico-para-produzir-energia-eletrica/%3famp>. Acesso em: 19 out. 2021.

ESTRADÃO. **JAC ganha espaço no Brasil com caminhão elétrico**, 2021c. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/jac-ganha-espaco-no-brasil-com-caminhao-eletrico/>. Acesso em: 13 out. 2021.

EVGO. **Virginia Department of Environmental Quality and EVgo Announce Opening of First DC Fast Chargers in Statewide Charging Network**, 2020. Disponível em: <https://www.evgo.com/press-release/virginia-department-of-environmental-quality-and-evgo-announce-opening-of-first-dc-fast-chargers-in-statewide-charging-network/>. Acesso em: 10 mai. 2021.

EVOBSESSION. **SCANIA, SIEMENS begin testing trolley-like electric trucks**, 2015. Disponível em: <https://evobsession.com/scania-siemens-begin-testing-trolley-like-electric-trucks/>. Acesso em: 23 jun. 2019.

EVTOWN. **Levels of charging**, 2015. Disponível em: <http://www.evtown.org/about-ev-town/ev-charging/charging-levels.html>. Acesso em: 21 abr. 2020.

FELDMAN, B. **O etanol é um combustível mais limpo que a gasolina?**, 2018. Disponível em: <https://autopapo.com.br/blog-do-boris/o-etanol-e-um-combustivel-mais-limpo-que-a-gasolina/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

FELDMAN, B. **Carro elétrico tem sistema de refrigeração?**, 2019. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/blog-do-boris/carro-eletrico-sistema-refrigeracao/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

FELTRIN, A. **Brasileira Hitech Electric aposta em caminhão elétrico**, 2020. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/mercado-de-caminhoes-eletricos/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

FENG, W. e FIGLIOZZI, M. A., 2012, "Conventional vs electric commercial vehicle fleets: A case study of economic and technological factors affecting the competitiveness of electrical commercial vehicles in the USA", **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 39, pp. 702-711.

FERRO, G.; PAOLUCCI, M. e ROBBA, M., 2018, "An Optimization Model For Electrical Vehicles Routing with time of use energy pricing And partial Recharging", **IFAC PapersOnLine**, v. 51, pp. 212-217.

FGV - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2017, **Carros elétricos**, Rio de Janeiro, RJ.

FIAT PROFESSIONAL. **EDUCATO. 100% Ducato. 100% Elétrico. 100% Preparado para a sua missão**, 2021. Disponível em: <https://www.fiatprofessional.com/pt/educato/range>. Acesso em: 12 jul. 2021.

FIORI, C. e MARZANO, V., 2018, "Modelling energy consumption of electric freight vehicles in urban pickup/delivery operations: analysis and estimation on a real-world dataset", **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 65, pp. 658-673.

FNM ELÉTRICOS. **A volta da marca FNM – Em nome da força**, 2020. Disponível em: <https://www.fnm.rio/fnm/fnm---portugues.html>. Acesso em: 13 jul. 2021.

FOLTYNSKI, M., 2014, "Electric fleets in urban logistics", **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 151, pp. 48-59.

GALT ENERGIA. **Carro elétrico cria corrida por cobalto, que vira alvo de investimentos no País**, 2018. Disponível em: <https://www.galtenergia.com/2018/07/30/carro-eletrico-cria-corrida-por-cobalto-que-vira-alvo-de-investimentos-no-pais/>. Acesso em: 23 out. 2021.

GANGLOFF, J. J.; KAST, J.; MORRISON, G. e MARCINKOSKI, J., 2017, "Design space assessment of hydrogen storage onboard medium and heavy duty fuel cell electric trucks", **Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage**, v. 14, n. 2.

GAO, G.; CHEN, S.; GUAN, J. e GUO, Y., "Nanotechnologies for the recycling of spent LIBs." In: Liu, C.; Jiang, Q.; Guo, Z.; Lu, N. L. e Mortazavi, M. (eds), **NanoScience: Nanomaterial, Nanotechnology and Applications**, capítulo 11, Xangai, China, Engineered Science Publisher, 2019.

GIORDANO, A.; FISCHBECK, P. e MATTHEWS, H. S., 2018, "Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies", **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 64, pp. 216-229.

GLOBISCH, J.; DÜTSCHKE, E. e WIETSCHEL, M., 2018, "Adoption of electric vehicles in commercial fleets: Why do car pool managers campaign for BEV procurement?", **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 64, pp. 122-133.

GOMES, A. C. A.; RODRIGUES, A. S.; DIAS, C. C. G. S. e DINIZ, C. F. D., "Utilização de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica híbrida (*off grid e on grid*) em caminhões frigoríficos". **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, RS, 17-20 abril 2018.

GOMEZ, J. M. e SAVIC, M. **Pode haver uma fortuna escondida em um canto esquecido da Europa**, 2019. Disponível em: <https://exame.com/economia/pode-haver-uma-fortuna-escondida-em-um-canto-esquecido-da-europa/>. Acesso em: 04 abr. 2021.

GONÇALVES, L., 2016, **Infraestrutura para carregamento dos veículos elétricos da**

América do Norte, Ásia e Europa implantado na realidade brasileira: utopia ou realidade? Trabalho de conclusão de curso de graduação.

GREELANE. **Definição de reação de precipitação**, 2019. Disponível em: <https://www.greelane.com/pt/ciência-tecnologia-matemática/ciência/definition-of-precipitation-reaction-605553/>. Acesso em: 25 out. 2021.

GROUPE RENAULT. **Novo Kangoo Z. E.: Autonomia maior, recarga mais rápida e mais simples**, 2017. Disponível em: <https://imprensa.renault.com.br/release/item/novo-kangoo-ze-autonomia-maior-recarga-mais-rapida-e-mais-simples/pt>. Acesso em: 09 out. 2019.

HARDING ENERGY. **LITHIUM ION**, 2020. Disponível em: <https://www.hardingenergy.com/lithium-2/>. Acesso em: 23 out. 2021.

HITECH ELECTRIC. **e.co Cargo**, 2020a. Disponível em: <https://www.hitech-e.com.br/produtos/on-road/eco-cargo>. Acesso em: 13 jul. 2021.

HITECH ELECTRIC. **e.co Truck**, 2020b. Disponível em: <https://www.hitech-e.com.br/produtos/on-road/eco-truck>. Acesso em: 13 jul. 2021.

HITECH ELECTRIC. **E-WORK**, 2020c. Disponível em: <https://www.hitech-e.com.br/produtos/on-road/e-work>. Acesso em: 13 jul. 2021.

HOEKSTRA, A., 2019, "The underestimated potential of battery electric vehicles to reduce emissions", **Joule**, v. 3, n. 6, pp. 1412-1414.

HOUSEHOLDME. **Level 1 vs. 2 vs. 3 EV Charging Stations**, 2018. Disponível em: <https://www.householdme.com/difference-between-level-1-vs-2-vs-3-electric-vehicle-charging-stations/>. Acesso em: 10 mai. 2021.

HUDA, M.; AZIZ, M. e TOKIMATSU, K., 2018, "Potential ancillary services of electric vehicles (vehicle-to-grid) in Indonesia", **Energy Procedia**, v. 152, pp. 1218-1223.

ICARROS. **VW e-Delivery: o 1º caminhão elétrico produzido no Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.icarros.com.br/noticias/geral/vw-e-delivery:-o-1-caminhao-eletrico-produzido-no-brasil-/29358.html>. Acesso em: 18 out. 2021.

INSIDE EVS. **Fiat Ducato elétrico estreia com promessa de manutenção barata**, 2021a. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/503637/fiat-ducato-furgao-versao-eletrica/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

INSIDE EVS. **JAC Motors lança caminhão elétrico iEV1200T no Brasil por R$ 349.900**, 2020. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/445858/jac-lanca-caminhao-eletrico-iev1200t-no-brasil/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

INSIDE EVS. **Peugeot e-Expert: van elétrica será lançada no Brasil em 2021**, 2021b. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/515896/peugeot-expert-eletrico-vendas-brasil/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

INSIDE EVS. **Sucesso no Brasil, furgão elétrico BYD eT3 chega à Austrália**, 2021c. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/522871/furgao-eletrico-byd-australia-preco/amp/>. Acesso em: 16 out. 2021.

INSIDE EVS. **VW e-Delivery: 1ª unidade do caminhão elétrico é entregue à Ambev**, 2021d. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/517292/caminhao-eletrico-volkswagen-edelivery-ambev/amp/>. Acesso em: 11 jul. 2021.

IVECO. **Iveco presents the New Daily Electric**, 2015. Disponível em: <https://www.iveco.com/en-us/press-room/release/Pages/Iveco-presents-the-New-Daily-Electric.aspx>. Acesso em: 10 abr. 2021.

IWAN, S.; ALLESCH, J.; CELEBI, D.; KIJEWSKA, K.; HOÉ, M.; KLAUENBERG, J. e ZAJICEK, J., 2019, "Electric mobility in European urban freight and logistics – status and attempts of improvement", **Transportation Research Procedia**, v. 39, pp. 112-123.

IWAN, S.; KIJEWSKA, K. e KIJEWSKI, D., 2014, "Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport", **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 151, pp. 87-101.

JAC MOTORS. **JAC iEV1200T**, 2019a. Disponível em: <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev1200t>. Acesso em: 10 jul. 2021.

JAC MOTORS. **JAC iEV330P**, 2019b. Disponível em: <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev330p>. Acesso em: 10 jul. 2021.

JALLER, M.; OTERO-PALENCIA, C. e PAHWA, A., 2020, "Automation, electrification, and shared mobility in urban freight: opportunities and challenges", **Transportation Research Procedia**, v. 46, pp. 13-20.

JAOUA, A.; BEN AMMAR, M. e AWASTHI, A., 2019, "A Decision Support System for On-Demand Goods Delivery Using Shared Autonomous Electric Vehicles", **International Journal of Decision Support System Technology**, v. 11, pp. 72-88.

JUAN, A. A.; MÉNDEZ, C. A.; FAULIN, J.; ARMAS, J. e GRASMAN, S. E., 2016, "Electric vehicles in logistics and transportation: a survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges", **Energies**, v. 9, n. 2, pp. 1-21.

KAMPKER, A.; KREISKÖTHER, K.; BÜNING, M. K. e GÓMEZ, J. G. D., "Technological and Total Cost of Ownership Analysis of Electric Powertrain Concepts for Long-Haul Transport in Comparison to Traditional Powertrain Concepts". **2018 8th International Electric Drives Production Conference**, Aachen, Alemanha, dezembro 2018.

KARASINSKI, L. **Como são produzidas as baterias de lítio?**, 2013. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/bateria/42123-como-sao-produzidas-as-baterias-de-litio-.htm>. Acesso em: 06 mai. 2020.

KAWAKAMI, Y.; KOMIYAMA, R. e FUJII, Y., 2018, “Penetration of electric vehicles toward 2050: analysis utilizing an energy system model incorporating high-temporal-resolution power generation sector”, **IFAC PapersOnLine**, v. 51, n. 28, pp. 598-603.

KIJEWSKA, K.; IWAN, S. e MALECKI, K., 2019, “Applying multi-criteria analysis of electrically powered vehicles implementation in urban freight transport”, **Procedia Computer Science**, v. 159, pp. 1558-1567.

LAVRADOR, A. **Camião da Tesla é igual a cinco Model S em baterias**, 2021. Disponível em: <https://observador.pt/2021/02/15/camiao-da-tesla-e-igual-a-5-model-s-em-baterias/>. Acesso em: 09 mai. 2021.

LEBEAU, P.; MACHARIS, C., MIERLO, J. V. e MAES, G., 2013, “Implementing electric vehicles in urban distribution: A discrete event simulation”, **World Electric Vehicle Journal**, v. 6, n. 1, pp. 38-47.

LEBEDEVA, N.; PERSIO, F. D. e BOON-BRETT, L. **Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe**, 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc105010_161214_li-ion_battery_value_chain_jrc105010.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

LEBKOWSKI, A., 2017, “Electric vehicles trucks – overview of technology and research selected vehicle”, **Scientific Journal of Gdynia Maritime University**, n. 98, pp. 157-165.

LEE, D.; ELGOWAINY, A.; KOTZ, A.; VIJAYAGOPAL, R. e MARCINKOSKI, J., 2018, “Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks”, **Journal of Power Sources**, v. 393, pp. 217-229.

LEONARDI, J.; BROWNE, M. e ALLEN, J., 2012, “Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London”, **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 39, pp. 146-157.

LIIMATAINEN, H.; VLIET, O. V. e APLYN, D., 2019, “The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis”, **Applied Energy**, v. 236, pp. 804-814.

LIN, J.; ZHOU, W. e WOLFSON, O., 2016, “Electric vehicle routing problem”, **Transportation Research Procedia**, v. 12, pp. 508-521.

LIRA, J. C. L. **Terra-rara**, 2011. Disponível em: <https://www.infoescola.com/elementos-quimicos/terra-rara/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LUNA, T. F.; VOLAN, T.; VAZ, C. R. e MALDONADO, M. U. “Barreiras para transição de carros elétricos: uma análise do cenário brasileiro”. **XXI Engema: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, São Paulo, SP, 4-6 dezembro 2019.

MA, Z.; BOUSCAYROL, A.; LHOMME, W. e CUI, S., 2019, “Optimal sizing of the EVT for a hybrid urban delivery truck”, **IFAC PapersOnLine**, v. 52, n. 5, pp. 504-509.

MAGNUS MUNDI. **A beleza das piscinas de lítio no deserto do Atacama**, 2016. Disponível em: <https://www.magnusmundi.com/a-beleza-das-piscinas-de-litio-no-deserto-de-atacama/>. Acesso em: 06 mai. 2020.

MARGARITIS, D.; ANAGNOSTOPOULOU, A.; TROMARAS, A. e BOILE, M., 2016, "Electric comercial vehicles: Practical perspectives and future research directions", **Research in Transportation Business and Management**, v. 18, pp. 4-10.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE mudanças climáticas – Aquecimento Global de 1,5º C**, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

MECALUX. **A elaboração de 'picking lists' para evitar erros no armazém**, 2020. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/picking-lists>. Acesso em: 23 out. 2021.

MELO, S. e BAPTISTA, P., 2017, "Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: integrating traffic, environmental and operational boundaries", **European Transport Research Review**, v. 9, n. 2.

MELO, S.; BAPTISTA, P. e COSTA, Á., 2014, "Comparing the use of small sized electric vehicles with diesel vans on city logistics", **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 111, pp. 350-359.

MERCEDES-BENZ. **eVito Furgão – Propulsão elétrica eficiente, aliada aos atributos comprovados do veículo**, 2020. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.pt/vans/pt/vito/e-vito-panel-van>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MERCEDES-BENZ. **The Mercedes-Benz eVito. Electric Panel Van model. Prices effective from January 2021**, 2021. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.co.uk/vans/content/dam/vans/united-kingdom/e-vito-panel-van/brochures-november-2020/The-eVito-Panel-Van-price-list-January2021.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Frota de veículos – 2021**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2021>. Acesso em: 21 set. 2021.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia limpa: Brasil registra 88% de fontes renováveis na produção de energia em junho**, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-limpa-brasil-registra-88-de-fontes-renovaveis-na-producao-de-energia-em-junho>. Acesso em: 01 jul. 2019.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes atmosféricos**, 2020. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosfericos.html>. Acesso em: 11 mai. 2020.

MIRHEDAYATIAN, S. M. e YAN, S., 2018, “A framework to evaluate policy options for supporting electric vehicles in urban freight transport”, **Transportation Research Part D**, v. 58, pp. 22-38.

MOBIAUTO. **Primeiro carro-forte elétrico no mundo é brasileiro, e bota forte nisso**, 2021. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/primeiro-carro-forte-eletrico-no-mundo-e-brasileiro-e-bota-forte-nisso/984>. Acesso em: 22 out. 2021.

MOBILIZE BRASIL. **Transport and climate change 2018 – Global status report**, 2018. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/situacao-global-do-transporte-e-mudanca-climatica.pdf>. Acesso em: 24 set. 2021.

MONIOS, J. e BERGQVIST, R., 2019, “The transport geography of electric and autonomous vehicles in road freight networks”, **Journal of Transport Geography**, v. 80.

MOOLENBURGH, E. A.; VAN DUIN, J. H. R.; BALM, S.; VAN ALTENBURG, M. e VAN AMSTEL, W. P., 2020, “Logistics concepts for light electric freight vehicles: a multiple case study from the Netherlands”, **Transportation Research Procedia**, v. 46, pp. 301-308.

MUSOLINO, G.; RINDONE, C. e VITETTA, A., 2019, “Passengers and freight mobility with electric vehicles: A methodology to plan green transport and logistic services near port areas”, **Transportation Research Procedia**, v. 37, pp. 393-400.

NAUMANEN, M.; UUSITALO, T.; HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E. e VAN DER HAVE, R., 2019, “Development strategies for heavy duty electric battery vehicles: Comparison between China, EU, Japan and USA”, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 151.

NAVARRO, C.; ROCA-RIU, M.; FURIÓ, S. e ESTRADA, M., 2016, “Designing new models for energy efficiency in urban freight transport for smart cities and its application to the Spanish case”, **Transportation Research Procedia**, v. 12, pp. 314-324.

NEOENERGIA. **Energia eólica: ventos do Nordeste**, 2021. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/energia-eolica-ventos-do-nordeste.aspx>. Acesso em: 21 set. 2021.

NICOLAIDES, D.; CEBON, D. e MILES, J., 2018a, “An urban charging infrastructure for electric road freight operations: a case study for Cambridge UK”, **IEEE Systems Journal**, v. 13, n. 2, pp. 2057-2068.

NICOLAIDES, D.; CEBON, D. e MILES, J., 2018b, “Prospects for electrification of road freight”, **IEEE Systems Journal**, v. 12, n. 2, pp. 1838-1849.

NISSAN. **Descubra a NISSAN E-NV200 - furgão 100% elétrico para o seu negócio**, 2018. Disponível em: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/e-nv200.html>. Acesso em: 02 jul. 2019.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS. **Renascida, FNM venderá 1.000 caminhões elétricos para Ambev**, 2021. Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/renascida-fnm-vendera-1-000-caminhoes-eletricos-para-ambev/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS. **Toyota RAV4 2022: preço, consumo, versões (e todos os detalhes)**, 2020. Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/toyota-rav4/>. Acesso em: 08 abr. 2021.

PALENCIA, J. C. G.; ARAKI, M. e SHIGA, S., 2017, "Energy consumption and CO_2 emissions reduction potential of electric-drive vehicle diffusion in a road freight vehicle fleet", **Energy Procedia**, v. 142, pp. 2936-2941.

PARLAMENTO EUROPEU. **Serão os "carros ecológicos" o futuro do transporte europeu?**, 2013. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20130211STO05806/sera o-os-carros-ecologicos-o-futuro-do-transporte-europeu>. Acesso em: 19 out. 2019.

PATRUS TRANSPORTES. **Entenda quais são os tipos de transporte de cargas**, 2017. Disponível em: <http://www.patrus.com.br/blogpatrus/?p=554>. Acesso em: 24 jun. 2019.

PENA, R. F. A. **Smog**, 2015. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/amp/geografia/smog.htm>. Acesso em: 03 abr. 2020.

PESSANHA, J. F. M.; PERES, L. A. P.; CALDAS, A. C. I. L. e PARTICELLI, F. M. F., "Cenários para o mercado de veículos elétricos na cidade do Rio de Janeiro". **IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, Juiz de Fora, MG, 28-31 agosto 2011.

PEUGEOT. **PEUGEOT E-EXPERT E EXPERT | VEÍCULO COMERCIAL ELÉTRICO COMPACTO**, 2021. Disponível em: <https://professional.peugeot.pt/showroom/peugeot-e-expert.html>. Acesso em: 12 jul. 2021.

PLÖTZ, P.; GNANN, T.; JOCHEM, P.; YILMAZ, H. U. e KASCHUB, T., 2019, "Impact of electric trucks powered by overhead lines on the European electricity system and CO_2 emissions", **Energy Policy**, v. 130, pp. 32-40.

PORCHERA, G. S. O.; LOSS, M. E. S.; MIRANDA, P. H. R. e LEAL, E. A. S., "Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos". **XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Resende, RJ, 31 outubro-1 novembro 2016.

PRATES, W. R. **O que é custo de capital de uma empresa?**, 2016. Disponível em: <https://www.wrprates.com/o-que-e-custo-de-capital-de-uma-empresa/>. Acesso em: 04 out. 2019.

QIAO, Q.; ZHAO, F.; LIU, Z.; JIANG, S. e HAO, H., 2017, "Comparative study on life cycle CO_2 emissions from the production of electric and conventional vehicles in China", **Energy Procedia**, v. 105, pp. 3584-3595.

QUAK, H.; NESTEROVA, N. e VAN ROOIJEN, T., 2016a, "Possibilities and barriers for using electric-powered vehicles in city logistics practice", **Transportation Research Procedia**, v. 12, pp. 157-169.

QUAK, H.; NESTEROVA, N.; VAN ROOIJEN, T. e DONG, Y., 2016b, "Zero emission city logistics: current practices in freight electromobility and feasibility in the near future", **Transportation Research Procedia**, v. 14, pp. 1506-1515.

QUATRO RODAS. **Gurgel Itaipu, o suspiro de vanguarda do Brasil entre os carros elétricos**, 2020a. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/especial/gurgel-itaipu-o-suspiro-de-vanguarda-do-brasil-entre-os-carros-eletricos/>. Acesso em: 04 mai. 2021.

QUATRO RODAS. **Novo caminhão 'FêNêMê' elétrico tem 350 cv e já roda em testes no Brasil**, 2020b. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/novo-caminhao-feneme-eletrico-tem-350-cv-e-ja-roda-em-testes-no-brasil/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

QUATRO RODAS. **Primeira picape elétrica do mundo é JAC de R$ 289.900, mas não é para você**, 2020c. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/testes/primeira-picape-eletrica-do-mundo-e-jac-de-r-289-900-mas-nao-e-para-voce/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

QUATRO RODAS. **Noronha proíbe novos carros a combustão, mas ainda gera energia com diesel**, 2020d. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/noronha-proibe-novos-carros-a-combustao-mas-ainda-gera-energia-com-diesel/>. Acesso em: 13 out. 2021.

QUATRO RODAS. **Primeiro veículo elétrico da VW feito no Brasil é um caminhão de cerveja**, 2021. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/testes/primeiro-veiculo-eletrico-da-vw-feito-no-brasil-e-um-caminhao-de-cerveja/amp/>. Acesso em: 11 jul. 2021.

RAMOS, A. e SILVA, C. **FNM está de volta e fará caminhões elétricos**, 2020. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/fnm-esta-de-volta/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

RAMOS, A. **Retrofit é porta de entrada para eletromobilidade**, 2021. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/retrofit-e-porta-de-entrada-para-eletromobilidade/>. Acesso em: 24 out. 2021.

RASTANI, S.; YÜKSEL, T. e ÇATAY, B., 2019, "Effects of ambient temperature on the route planning of electric freight vehicles", **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 74, pp. 124-141.

REIS, P. **Porque é que os carros elétricos não gostam do frio?**, 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/carros-eletricos-frio-145071/>. Acesso em: 29 set. 2019.

REPARAÇÃO AUTOMOTIVA. **Veículos de "zero emissão" são de verdade "zero**

emissão”?, 2018. Disponível em: <https://www.reparacaoautomotiva.com.br/single-post/2018/05/16/Veiculos-de-zero-emissao-sao-de-verdade-zero-emissao>. Acesso em: 06 mai. 2020.

RIO PREFEITURA. **Comlurb apresenta caminhões de coleta de lixo 100% elétricos e faz do Rio cidade pioneira no Ocidente**, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.rio/comlurb/comlurb-apresenta-caminhoes-de-coleta-de-lixo-100-eletricos-e-faz-do-rio-cidade-pioneira-no-ocidente/amp/>. Acesso em: 19 out. 2021.

RIZET, C.; CRUZ, C. e VROMANT, M., 2016, “The constraints of vehicle range and congestion for the use of electric vehicles for urban freight in France”, **Transportation Research Procedia**, v. 12, pp. 500-507.

RIZET, C. e HOAI-THU, T., 2019, “Economic Cost of Urban Freight GHG Mitigation”, **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 879, pp. 394-401.

ROCHA, L. **Afinal, por que as baterias de lítio podem pegar fogo?**, 2015. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/amp/bateria/81577-baterias-litio-pegar-fogo.htm>. Acesso em: 05 abr. 2020.

ROCHA, P. D., 2015, **Avaliação de um sistema híbrido: carvão ativado, membrana cerâmica e resina trocadora de íons para fins de abrandamento de águas.** Trabalho de conclusão de curso de graduação em Química Industrial, UEPB, Campina Grande, PB.

ROMÃO, U. G.; CARVALHO, A. D. e CARVALHO JÚNIOR, A., 2019, “Baterias de íon de lítio estado da arte e aplicações”, **Revista Acadêmica – Ensino de Ciências e Tecnologias**, v. 5, n. 5, pp. 86-106.

SANTOS, C. S. L., 2016, **Aplicação do processo de eletrodiálise na remoção de cromo em efluente sintético advindo de biorreator anaeróbio**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

SBO – Sociedade Brasileira de Otologia. **Poluição sonora em São Paulo pode provocar depressão e distúrbios do sono, alerta especialista**, 2014. Disponível em: <http://www.sbotologia.org.br/detalhe-noticia/192/poluicao-sonora-em-sao-paulo-pode-provocar-depressao-e-disturbios-do-sono--alerta-especialista>. Acesso em: 24 out. 2021.

SEEG BRASIL. **EMISSÕES POR ATIVIDADE ECONÔMICA - Diagrama Sankey**, 2021. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sankey>. Acesso em: 13 nov. 2021.

SEN, B.; ERCAN, T. e TATARI, O., 2017, “Does a battery-electric truck make a difference? – Life cycle emissions, costs, and externality analysis of alternative fuel-powered Class 8 heavy-duty trucks in the United States”, **Journal of Cleaner Production**, v. 141, pp. 110-121.

SIMEFRE. **Marca FNM renasce, agora com caminhões elétricos**, 2021. Disponível em: <https://simefre.org.br/marca-fnm-renasce-agora-com-caminhoes-eletricos/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

SIQUEIRA, F. **Efeito memória**, 2019. Disponível em: <https://espacodigital.tv/blog/efeito-memoria-causa-prevencao-espaco-digital/>. Acesso em: 22 jun. 2019.

SINDIPEÇAS - SISTEMA SINDIPEÇAS FROTA CIRCULANTE NACIONAL. **Relatório da frota circulante**, 2019. Disponível em: <https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2019/RelatorioFrotaCirculante_Maio_2019.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

SOCESP – Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo. **Mal de Parkinson e Alzheimer: a culpa pode ser da poluição?**, 2020. Disponível em: <https://socesp.org.br/publico/noticias/sem-categoria/mal-de-parkinson-e-alzheimer-a-culpa-pode-ser-da-poluicao/>. Acesso em: 24 out. 2021.

SOLARVOLT. **Net metering e feed in: saiba o que são e como funcionam**, 2015. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/net-metering-e-feed-in-saiba-o-que-sao-e-como-funcionam/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SONOC, A.; JESWIET, J. e SOO, V. K., 2015, "Opportunities to Improve Recycling of Automotive Lithium Ion Batteries", **Procedia CIRP 29**, pp. 752-757.

SOUZA, G. **Converter carro a gasolina para elétrico: Como fazer?**, 2018. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/converter-carro-eletrico/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SOVACOOL, B. K.; KESTER, J.; NOEL, L. e RUBENS, G. Z., 2019, "Income, political affiliation, urbanism and geography in stated preferences for electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G) technologies in Northern Europe", **Journal of Transport Geography**, v. 78, pp. 214-229.

STEWARD, D.; MAYYAS, A. e MANN, M., 2019, "Economics and challenges of Li-ion battery recycling from end-of-life vehicles", **Procedia Manufacturing**, v. 33, pp. 272-279.

TAEFI, T. T.; STÜTZ, S. e FINK, A., 2017, "Assessing the cost-optimal mileage of medium-duty electric vehicles with a numeric simulation approach", **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 56, pp. 271-285.

TALEBIAN, H.; HERRERA, O. E.; TRAN, M. e MÉRIDA, W., 2018, "Electrification of road freight transport: Policy implications in British Columbia", **Energy Policy**, v. 115, pp.109-118.

TANCO, M.; CAT, L. e GARAT, S., 2019, "A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America", **Journal of Cleaner Production**, v. 228, pp. 1354-1367.

TECNOLOGÍSTICA. **Grupo Imediato coloca em operação dois caminhões desenvolvidos pelo projeto e-retrofit**, 2021. Disponível em: <https://www.tecnologistica.com.br/portal/noticias/87136/grupo-imediato-coloca-em-operacao-dois-caminhoes-desenvolvidos-pelo-projeto-e-retrofit/>. Acesso em: 24 out. 2021.

TEOH, T.; KUNZE, O e TEO, C., 2016, “Methodology to evaluate the operational suitability of electromobility systems for urban logistics operations”, **Transportation Research Procedia**, v. 12, pp. 288-300.

TESLA. **Semi**, 2021. Disponível em: <https://www.tesla.com/semi>. Acesso em: 09 mai. 2021.

TOYOTA. **Novo RAV4 híbrido – descubra seu novo mundo**, 2020. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/modelos/rav4/>. Acesso em: 08 abr. 2021.

TRANSPORTE MUNDIAL. **VW e-Delivery: começou a produção em série. 1º pedido: 1.600 unidades**, 2021. Disponível em: <https://transportemundial.com.br/e-delivery-em-serie/>. Acesso em: 11 jul. 2021.

TRIBUNA DO NORTE. **Bateria e alternador: a energia do seu automóvel**, 2010. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/bateria-e-alternador-a-energia-do-seu-automovel/150228>. Acesso em: 15 ago. 2019.

USGS – United States Geological Survey. **Nickel statistics and information**, 2017 Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ULTIMATE SPECS. **Fichas técnicas de carros > Nissan > Evalia / NV200 > e-NV200 FLEX 24 kWh**, 2018. Disponível em: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Nissan/69405/Nissan-Evalia---NV200-e-NV200-FLEX-24-kWh.html> Acesso em: 16 out. 2021.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C. e CASTRO, B. H. R., 2015, “Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento”, **BNDES Setorial**, n. 41, pp. 295-344.

VOLAN, T.; VAZ, C. R. e MALDONADO, M. U., “Difusão de veículos elétricos e baterias em fim de vida – o caso da Noruega para 2040.” **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, Balneário Camboriú, SC, 10-14 novembro 2019.

VORA, A. P.; JIN, X.; HOSHING, V.; SAHA, T.; SHAVER, G.; VARIGONDA, S.; WASYNCZUK, O. e TYNER, W. E., 2017, “Design-space exploration of series plug-in hybrid electric vehicles for medium-duty truck applications in a total cost-of-ownership framework”, **Applied Energy**, v. 202, pp. 662-672.

WANG, M. e THOBEN, K., “Selecting appropriate types of electrical commercial vehicles for the sustainable urban freight transport”. **EVS30 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium**, Sttugart, Alemanha, 9-11 outubro 2016.

WANG, M. e THOBEN, K., “Sustainable urban freight transport: Analysis of factors affecting the employment of electric commercial vehicles”. **5th International Conference LDIC**, Bremen, Alemanha, 2017.

WANG, S.; TIAN, Y.; ZHANG, X.; YANG, B; WANG, F.; XU, B.; LIANG, D. e WANG,

L., 2020, “A review of processes and technologies for the recycling of spent lithium-ion batteries”, **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 782, n. 2.

WIKSTRÖM, M.; HANSSON, L. e ALVFORS, P., 2015, “An end has a start – investigating the usage of electric vehicles in commercial fleets”, **Energy Procedia**, v. 75, pp. 1932-1937.

WRI BRASIL. **A experiência de 3 cidades com as zonas de baixa emissão de poluentes**, 2019a. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/01/experiencia-de-3-cidades-com-zonas-de-baixa-emissao-de-poluentes>. Acesso em: 30 out. 2019.

WRI BRASIL. **O que significa zerar as emissões líquidas? Respondemos 6 dúvidas frequentes**, 2019b. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/09/o-que-significa-zerar-emissoes-liquidas-respondemos-6-duvidas-frequentes>. Acesso em: 13 nov. 2021.

XIAO, J.; LI, J. e XU, Z., 2017, “Novel Approach for in Situ Recovery of Lithium Carbonate from Spent Lithium Ion Batteries Using Vacuum Metallurgy”, **Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 20, pp. 11960-11966.

YUKSEL, T. e MICHALEK, J. J., 2015, “Effects of regional temperature on electric vehicle efficiency, range, and emissions in the United States**”**, **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 6, pp. 3974-3980.

ZHANG, L. W. e YU, Y. S., 2019, “Simulation of thermal characteristics of lithium batteries for electric vehicles”, **IOP Conference Series: Material Science and Engineering**, v. 657, n. 1.

ZHAO, F.; LIU, F.; LIU, Z. e HAO, H., 2019, “The correlated impacts of fuel consumption improvements and vehicle electrification on vehicle greenhouse gas emissions in China”, **Journal of Cleaner Production**, v. 207, pp. 702-716.

ZIVANCEV, M.; UBAVIN, D.; MARINKOVIC, T.; BEZANOVIC, V. e MILOVANOVIC, D., “Possibilities for implementation of circular economy for lithium-ion batteries in Serbia”. **1st International Conference “The Holistic Approach to Environment”**, Sisak, Croácia, 13-14 setembro 2018.