

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**PANORAMA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: AVANÇOS, DESAFIOS E
PERSPECTIVAS PARA A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL**

GABRIEL AGUILAR SOARES DE MELO
JOÃO PEDRO SUZUKI DE FIGUEIREDO

São Carlos

2025

GABRIEL AGUILAR SOARES DE MELO
JOÃO PEDRO SUZUKI DE FIGUEIREDO

**PANORAMA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: AVANÇOS, DESAFIOS E
PERSPECTIVAS PARA A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Eletricista com
Ênfase em Sistemas de Energia e
Automação.

Orientadora: Profa. Dra. Daisy Aparecida
do Nascimento Rebelatto
Coorientadora: Dra. Marcela Taiane
Schiavi

São Carlos
2025

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

F475p Figueiredo, João Pedro Suzuki de
Panorama dos veículos elétricos no Brasil:
avanços, desafios e perspectivas para a mobilidade
sustentável / João Pedro Suzuki de Figueiredo;
orientador Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto;
coorientador Marcela Taiane Schiavi. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2025.

1. Veículos Elétricos. 2. Mobilidade
Sustentável. 3. Infraestrutura. 4. Políticas. 5.
Brasil. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M517p Melo, Gabriel Aguilar Soares de
Panorama dos veículos elétricos no Brasil:
avanços, desafios e perspectivas para a mobilidade
sustentável / Gabriel Aguilar Soares de Melo;
orientador Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto;
coorientador Marcela Taiane Schiavi. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2025.

1. Veículos Elétricos. 2. Mobilidade
Sustentável. 3. Infraestrutura. 4. Políticas. 5.
Brasil. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: João Pedro Suzuki de Figueiredo

Título: "Panorama dos veículos elétricos no Brasil: Avanços, desafios e perspectivas para a mobilidade sustentável"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 04/12/2025,

com NOTA 9.0 (bom), pela Comissão Julgadora:

Profa. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto -
Orientadora - SEP/EESC/USP

Dra. Marcela Taiane Schiavi - Pós-Doutoranda EESC/USP

Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Gabriel Aguilar Soares de Melo

Título: "Panorama dos veículos elétricos no Brasil: Avanços, desafios e perspectivas para a mobilidade sustentável"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 04/12/2025,

com NOTA 9,0 (Novo), pela Comissão Julgadora:

Profa. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto -
Orientadora - SEP/EESC/USP

Dra. Marcela Taiane Schiavi - Pós-Doutoranda EESC/USP

Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior

Este trabalho é dedicado aos alunos da USP, como uma contribuição das Bibliotecas do Campus USP de São Carlos para o desenvolvimento e disseminação da pesquisa científica da Universidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, de forma conjunta, a todos os funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos que, com dedicação e profissionalismo, contribuíram para a nossa formação ao longo destes anos. Estendemos nossos agradecimentos ao Professor Doutor Rogério Andrade Flauzino pelo aceite do convite e pelo período em que atuou como coordenador do curso, contribuindo de forma importante para a nossa formação. Registramos também nossa gratidão ao atual coordenador do curso, Professor Doutor José Carlos de Melo Vieira Júnior por todo o apoio, suporte e ensinamentos nos últimos anos.

Em nome do Gabriel, agradecemos carinhosamente à sua mãe, Izildinha Aguilar, e aos seus tios, José Caetano Aguilar e Solange Coimbra Aguilar, pelo apoio incondicional e pela confiança desde o início desta jornada. Agradecemos, ainda, à República Berlim, república da qual fez parte durante toda a sua trajetória na graduação, pela amizade, parceria e apoio cotidiano.

Em nome do João, agradecemos à sua mãe, Iane Suzuki de Figueiredo, por todo o apoio, amor e sacrifícios ao longo destes anos de graduação, e à Lara Lessa Filgueiras, que foi um grande alicerce nesse período. Estendemos também nosso agradecimento à República TipoZero, família construída em São Carlos e que seguirá fazendo parte de sua vida.

Por fim, expressamos nosso especial reconhecimento à Professora Doutora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto, cuja orientação acadêmica e rigor científico foram decisivos para a construção deste trabalho, e à Drª. Marcela Taiane Schiavi, pelo acompanhamento constante e pelas contribuições técnicas e humanas ao longo do percurso. Sem vocês, este projeto não teria ganhado a mesma consistência e profundidade.

“A persistência é o caminho do êxito.”
— Charles Chaplin

RESUMO

Com base em uma revisão bibliográfica e documental de caráter qualitativo, este estudo busca compreender o panorama atual dos veículos elétricos (VEs) no Brasil, destacando os avanços obtidos, os obstáculos persistentes e as perspectivas para o fortalecimento da mobilidade sustentável. A pesquisa busca identificar os fatores que limitam a adoção em larga escala desses veículos, considerando aspectos técnicos, econômicos e institucionais. Para isso, adota-se uma abordagem qualitativa, sustentada por revisão bibliográfica e análise documental, complementadas pelo uso de dados setoriais secundários para contextualização. Os resultados evidenciam que o alto custo de aquisição, a escassez de infraestrutura de recarga e a falta de incentivos coordenados ainda são os principais obstáculos. Por outro lado, observa-se um ambiente de oportunidades, especialmente com a articulação entre políticas públicas, inovações tecnológicas e ações estratégicas da iniciativa privada. Conclui-se que, apesar dos desafios, a mobilidade elétrica no Brasil possui potencial significativo de crescimento, desde que inserida em um contexto de planejamento integrado e sustentabilidade.

Palavras-chave: veículos elétricos; mobilidade sustentável; infraestrutura; políticas públicas; Brasil.

ABSTRACT

Based on a qualitative literature and document review, this study seeks to understand the current landscape of electric vehicles (EVs) in Brazil, highlighting the advances made, the persistent obstacles, and the prospects for strengthening sustainable mobility. The research seeks to identify the factors that limit the large-scale adoption of these vehicles, considering technical, economic, and institutional aspects. To this end, a qualitative approach is adopted, supported by a literature review and documentary analysis, complemented by the use of secondary sector data for contextualization. The results show that the high cost of acquisition, the scarcity of charging infrastructure, and the lack of coordinated incentives are still the main obstacles. On the other hand, there is an environment of opportunities, especially with the articulation between public policies, technological innovations, and strategic actions by the private sector. It is concluded that, despite the challenges, electric mobility in Brazil has significant growth potential, provided it is inserted in a context of integrated planning and sustainability.

Keywords: electric vehicles; sustainable mobility; infrastructure; public policies; Brazil.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AC	Corrente Alternada (Alternating Current)
CA	Corrente Alternada
Camex	Câmara de Comércio Exterior
CC	Corrente Contínua
CCS2	Combined Charging System Tipo 2 (Sistema Combinado de Recarga — Tipo 2)
DC	Corrente Contínua (Direct Current)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GB/T	Padrão chinês de conectores (Guobiao Standards)
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Veículo Híbrido)
IEA	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
KBB	Kelley Blue Book (Brasil)
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
Mover	Programa Mobilidade Verde e Inovação (Lei nº 14.902/2024)
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Veículo Híbrido Plugável)
PNME	Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica
SoH	State of Health (Saúde da Bateria)
TCO	Total Cost of Ownership (Custo Total de Propriedade)
VE	Veículo Eletrificado
V2G	Vehicle-to-Grid (Veículo para a Rede)
BEV	Battery Electric Vehicle (Veículo Elétrico a Bateria)
ICE	Internal Combustion Engine (Motor a Combustão Interna)
LFP	Lithium Iron Phosphate (Lítio Ferro Fosfato)
NMC	Nickel Manganese Cobalt (Níquel-Manganês-Cobalto)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de eletropostos públicos por estado no Brasil (2025).....	25
Figura 2 - Marketshare dos eletropostos por região do Brasil	26
Figura 3 – Evolução do número de conectores públicos globais de recarga (2017–2025e).....	29
Figura 4 – Vendas globais de veículos elétricos de passageiros por mercado (2017–2025e).....	30
Figura 5 – Vendas acumuladas de veículos eletrificados por estado brasileiro (até 2024).....	32
Figura 6 – Principais componentes de cada tipo de veículo eletrificado	37
Figura 7 – Comparativo entre os principais tipos de veículos elétricos no Brasil	37
Figura 8 – Conector Tipo 1.....	49
Figura 9 – Conector Tipo 2.....	49
Figura 10 - Conector GB/T 20234	50
Figura 11 - Conector CHAdeMO	51
Figura 12 – Conector Tesla	52
Figura 13 – Demanda de eletricidade de veículos elétricos por modo e por região (2024–2030, cenário de políticas vigentes — STEPS).....	54
Figura 14 – Comparativo por modelo dos veículos 100% elétricos no Brasil	57
Figura 15 – Participação de carros 100% elétricos nas vendas de novos automóveis na Noruega (2013–2024)	59
Figura 16 – Participação de BEVs na frota norueguesa (estoque), fim de 2024	59
Figura 17 – Participação de BEV nas vendas de carros novos (2024, %) — comparação internacional	61
Figura 18 – China: participação mensal de NEVs nas vendas (2023–2024)	62
Figura 19 – Estoque global de pontos públicos de recarga por região (2018–2024).....	64
Figura 20 – Pontos públicos de recarga por região (2024 vs. 2030	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo internacional da mobilidade elétrica (2025).....	31
Quadro 2 – Relação entre objetivo, insumos e produto analítico	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo técnico entre principais tipos de baterias veiculares	40
Tabela 2 – Cronograma de recomposição do Imposto de Importação para veículos eletrificados (Camex)	67
Tabela 3 – Ações recentes no Brasil para eletromobilidade: foco, mecanismo e estágio (consolidado).....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.3 OBJETIVO.....	19
2 DESENVOLVIMENTO	21
2.1 PANORAMA NACIONAL DA MOBILIDADE ELÉTRICA	21
2.1.1 Evolução Histórica	21
2.1.2 Estrutura da Frota Nacional	23
2.1.3 Avanços Regulatórios e Políticas Públicas	24
2.1.4 Infraestrutura de Recarga no Brasil.....	25
2.1.5 Barreiras à Expansão Nacional.....	27
2.1.6 Panorama Internacional e Tendências Globais	29
2.1.7 Indicadores Recentes de Adoção e Projeções Futuras	32
2.2 ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA MOBILIDADE ELÉTRICA.....	33
2.2.1 Tipos de Veículos Elétricos e Suas Aplicações	33
2.2.2 Tecnologias de Bateria	38
2.2.2.1 Tipos predominantes de bateria	39
2.2.2.2 Desafios ambientais e logísticos	40
2.2.2.3 Pesquisas e inovações no Brasil.....	41
2.2.2.4 Aspectos técnicos adicionais.....	41
3 METODOLOGIA	43
3.1 PERGUNTA NORTEADORA	43
3.2 FONTES E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	43
3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE.....	44
3.4 SÍNTESE COMPARATIVA E FORMULAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES	44
3.5 GARANTIA DE QUALIDADE, LIMITAÇÕES E REPRODUTIBILIDADE	44
3.6 MAPA DE INSUMOS E ENTREGÁVEIS.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1 TEMPO DE RECARGA E AUTONOMIA.....	45
4.1.1 Nível 1 - Recarga lenta em corrente alternada (CA)	46
4.1.2 Nível 2 - Recarga semi-rápida em corrente alternada (CA).....	46
4.1.3 Nível 3 - Recarga rápida em corrente contínua (CC)	47

4.1.4 Padrões de conectores e compatibilidade	48
4.2 IMPACTO NA DEMANDA ELÉTRICA BRASILEIRA.....	52
4.3 ECONOMIA E DESVALORIZAÇÃO DOS VES	55
4.4 POLÍTICAS PÚBLICAS E INICIATIVAS PRIVADAS: CAMINHOS PARA A SUPERAÇÃO.....	58
4.4.1 Experiências Internacionais Bem-Sucedidas	58
4.4.1.1 <i>O modelo norueguês: referência global em eletrificação.</i>	58
4.4.1.2 <i>O modelo chinês: política industrial e massificação</i>	62
4.4.1.3 <i>O modelo estadunidense: integração com a transição energética</i>	64
4.4.2 Panorama Atual das Ações no Brasil.....	66
4.4.3 Lacunas e Desafios no Contexto Nacional	69
4.4.4 Propostas de Políticas Públicas	71
4.4.5 Contribuições Potenciais do Setor Privado	73
5 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o setor de transportes foi responsável por aproximadamente 47% das emissões de CO₂ relacionadas à energia no Brasil em 2021 (SEEG, 2023), sendo um dos maiores emissores do país. Esse contexto evidencia a necessidade de soluções sustentáveis para a mobilidade urbana, dentre as quais os veículos elétricos (VEs) se destacam como uma alternativa promissora para mitigar impactos ambientais e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Diversos países têm avançado significativamente na eletrificação de suas frotas, impulsionados por políticas públicas robustas, incentivos fiscais e investimentos em in-fraestrutura de recarga. No Brasil, embora o tema venha ganhando espaço nas agendas públicas e privadas, a adoção dos VEs ainda ocorre de forma lenta e desigual. Fatores como o alto custo de aquisição, a escassez de eletropostos, a desvalorização acentuada dos veículos elétricos usados e a falta de padronização tecnológica limitam sua disseminação em larga escala.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), as vendas globais de carros elétricos ultrapassaram 17 milhões de unidades em 2024, representando mais de 20% de todos os automóveis novos vendidos no mundo (IEA, 2025). Esse volume indica um crescimento superior a 25% em relação ao ano anterior, o que evidencia a aceleração dessa tendência em escala mundial.

No contexto brasileiro, a transição para a mobilidade elétrica adquire contornos particulares. O país conta com uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo — com aproximadamente 90% de sua geração proveniente de fontes renováveis, acima da média global de 41% (Ember Climate, 2025) — e reservas relevantes de minerais estratégicos, como o lítio, metal essencial para a produção de baterias, no qual o Brasil possui aproximadamente 5% da reserva mundial (MME; EPE; ApexBrasil, 2025). Tais características conferem ao Brasil vantagens competitivas importantes para liderar processos de descarbonização no setor de transportes e para desenvolver uma cadeia industrial nacional associada à eletromobilidade.

A presente pesquisa buscou compreender o cenário atual da eletromobilidade no Brasil, analisando os principais fatores que limitam sua expansão e as estratégias possíveis para a superação desses entraves. Para isso, o trabalho adotou uma abordagem sistêmica e multidimensional, considerando aspectos técnicos,

econômicos, regulatórios e comportamentais. Essa análise é conduzida com base em metodologia qualitativa, sustentada por revisão bibliográfica, análise documental e interpretação de dados secundários sobre o setor de veículos elétricos no Brasil. Além disso, serão explorados os impactos potenciais da crescente eletrificação sobre a matriz elétrica nacional e o papel dos diferentes agentes na estruturação desse mercado emergente.

Este trabalho organiza-se em cinco capítulos. No **Capítulo 1**, apresenta-se a Introdução, com a contextualização do tema, a justificativa, o problema de pesquisa e os objetivos do estudo. O **Capítulo 2** reúne o Desenvolvimento, contemplando o panorama nacional e internacional e os principais aspectos técnico-econômicos da eletromobilidade. O **Capítulo 3** descreve a Metodologia empregada. O **Capítulo 4** apresenta os Resultados e as Discussões — com ênfase em tempos de recarga e autonomia, impactos na demanda elétrica, economia e desvalorização, além de caminhos de políticas públicas e iniciativas privadas. Por fim, **Capítulo 5** traz as Conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

1.1 JUSTIFICATIVA

A mobilidade elétrica integra um portfólio de soluções para os desafios contemporâneos da sustentabilidade urbana, das mudanças climáticas e da transição energética. No entanto, no Brasil, sua adoção em larga escala ainda encontra obstáculos relevantes que vão além da mera disponibilidade tecnológica. A compreensão desses obstáculos e das interações entre infraestrutura, regulação, economia e comportamento do consumidor é essencial para orientar políticas públicas e decisões estratégicas do setor produtivo.

Este trabalho justificou-se por contribuir com uma análise abrangente e atualizada da eletromobilidade no Brasil, reunindo dados consolidados, literatura especializada e indicadores técnicos que permitiram avaliar não apenas o estágio atual, mas também as perspectivas de evolução do setor. Um dos diferenciais desta abordagem esteve na articulação entre os fatores limitantes e os potenciais vetores de transformação, integrando variáveis como padronização de conectores, tempo de recarga, tipos de baterias, desvalorização dos veículos elétricos e impactos sobre o sistema elétrico nacional.

A relevância do tema é reforçada por três aspectos centrais: (i) a urgência

global de redução das emissões de gases de efeito estufa, em consonância com compromissos climáticos assumidos internacionalmente; (ii) o potencial de integração dos veículos elétricos à matriz energética brasileira, majoritariamente renovável, ampliando os ganhos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do produto; e (iii) as oportunidades de reindustrialização e desenvolvimento tecnológico nacional, especialmente no campo de baterias e componentes estratégicos.

Além de sua importância ambiental e tecnológica, o tema envolve aspectos de engenharia, economia, planejamento urbano e política energética, que o torna particularmente pertinente para a formação de engenheiros e profissionais envolvidos com tecnologias sustentáveis. Neste sentido, o trabalho também visa preencher lacunas analíticas decorrentes da ausência de políticas públicas coordenadas e da heterogeneidade regulatória observada entre estados e municípios brasileiros.

Ao mapear também os exemplos de omissão ou fragmentação por parte do poder público e das montadoras, como a falta de metas claras, a concentração de infraestrutura em áreas mais ricas, a ausência de padronização técnica e os obstáculos regulatórios à expansão da infraestrutura de recarga, o trabalho oferece insumos importantes para a elaboração de políticas públicas mais eficazes e para o amadurecimento da indústria nacional de veículos elétricos.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar do avanço da eletromobilidade em diversos países, o Brasil ainda apresenta uma adoção tímida e concentrada em nichos de mercado, o que levanta importantes questões sobre os entraves estruturais à sua expansão. Diversos fatores contribuem para esse cenário, incluindo o elevado custo de aquisição dos veículos elétricos, a infraestrutura de recarga insuficiente e concentrada regionalmente, a ausência de padronização técnica e a carência de políticas públicas integradas de incentivo.

Além dessas barreiras, observa-se um ambiente regulatório fragmentado e, em muitos casos, omissivo quanto à definição de metas de eletrificação, à regulamentação da recarga pública e ao descarte e reaproveitamento de baterias. A inexistência de um marco legal que contemple a logística reversa, a interoperabilidade entre redes de recarga e o vehicle-to-grid (V2G) representa um desafio adicional, limitando a criação de um ecossistema coeso e funcional.

Sob a ótica do consumidor, persistem desafios relacionados à autonomia dos veículos, à escassez de assistência técnica especializada, à falta de padronização de conectores e à incerteza quanto ao valor de revenda, fatores esses que alimentam a “ansiedade de autonomia” e dificultam a popularização da tecnologia. A escassez de campanhas educativas e oportunidades de experimentação também contribui para a resistência à adoção.

Nesse contexto, torna-se essencial compreender de forma integrada os fatores que limitam a adoção dos veículos elétricos no país e analisar como políticas públicas e iniciativas do setor privado podem, de maneira articulada, contribuir para superar esses desafios. Tal compreensão é fundamental para o fortalecimento da mobilidade sustentável e para o alinhamento do Brasil às metas globais de descarbonização, transição energética e inovação tecnológica.

A partir dessa problemática, formulou-se a seguinte pergunta de pesquisa: *“Quais são os principais fatores que limitam a adoção em larga escala de veículos elétricos no Brasil, e de que forma políticas públicas e iniciativas privadas podem contribuir para a superação desses desafios?”*

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os principais fatores que limitam a adoção em larga escala de veículos elétricos no Brasil e compreender como políticas públicas e iniciativas privadas podem atuar de maneira coordenada para superar esses desafios e viabilizar um mercado de mobilidade elétrica mais robusto, acessível e sustentável.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Identificar os entraves econômicos, técnicos, regulatórios e comportamentais à ex-pansão da mobilidade elétrica, com base em dados recentes e na percepção de consumidores e especialistas;
- Descrever a estrutura atual da frota nacional de veículos eletrificados, segmentando por tipo de tecnologia (BEV, PHEV, HEV) e por distribuição geográfica;
- Explorar os diferentes tipos de baterias, padrões de conectores, tempos de recarga e suas implicações para a experiência do usuário, infraestrutura e redes de distribuição;

- Analisar os impactos potenciais da eletrificação da frota sobre a demanda elétrica nacional e a integração com uma matriz predominantemente renovável;
- Investigar a percepção dos consumidores quanto à confiabilidade tecnológica, ao custo de reposição de baterias e à desvalorização no mercado secundário;
- Avaliar o papel de políticas públicas e ações empresariais na promoção da eletro-mobilidade, destacando experiências internacionais bem-sucedidas e iniciativas em curso no Brasil;
- Sistematizar recomendações estratégicas para aprimoramento das políticas públicas, regulamentações e iniciativas privadas, com foco em metas nacionais, infraestrutura, cadeia produtiva, incentivos e capacitação técnica.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta o quadro atual da mobilidade elétrica no Brasil, iniciando por um panorama nacional e, na sequência, discutindo os determinantes de adoção e as principais barreiras observadas. Também quantifica-se, de forma objetiva, o impacto elétrico agregado da eletrificação, além de tratar de compatibilidade de conectores e questões de custo/desvalorização.

2.1 PANORAMA NACIONAL DA MOBILIDADE ELÉTRICA

Esta seção apresenta uma visão de conjunto da mobilidade elétrica no Brasil. Partimos de um resgate histórico e dos principais marcos tecnológicos e institucionais e, na sequência, sintetizamos a dinâmica recente do mercado, a infraestrutura de recarga e os elementos regulatórios que moldam o ritmo de adoção no país. O objetivo é prover a linha de base sobre a qual se apoiam as comparações e análises dos capítulos seguintes.

2.1.1 Evolução Histórica

A história da mobilidade elétrica no Brasil remonta ao início do século XX, quando veículos importados seguiram as tendências observadas nos Estados Unidos e na Europa. No entanto, a ausência de infraestrutura, os custos elevados e a consolidação dos motores a combustão interna impediram a difusão desses modelos no país.

O marco pioneiro nacional ocorreu em 1974, com o lançamento do Gurgel Itaipu E150, primeiro veículo elétrico brasileiro, desenvolvido pelo engenheiro João Augusto Conrado do Amaral Gurgel. Apresentado no Salão do Automóvel de São Paulo, o modelo contava com baterias de chumbo-ácido que representavam aproximadamente 70% de seu peso total, oferecendo autonomia de cerca de 50 km e velocidade máxima de até 60 km/h. Apesar de seu caráter visionário, o projeto enfrentou entraves técnicos — como o peso excessivo das baterias e o longo tempo de recarga (cerca de 10 horas) — além da ausência de incentivos governamentais. Entre 1974 e 1982, foram produzidas cerca de 27 unidades do E150 e aproximadamente mil do modelo seguinte, o Itaipu E400, um furgão elétrico voltado a frotas corporativas (Pereira, 2021;

Autoesporte, 2021).

Após esse período, as décadas de 1990 e 2000 foram marcadas por estagnação no desenvolvimento da eletromobilidade no país. Enquanto países como Japão, Alemanha e Estados Unidos avançavam com políticas voltadas a veículos de baixa emissão, o Brasil manteve o foco em combustíveis alternativos como o etanol, priorizando a tecnologia flex-fuel. O lançamento do Toyota Prius em 1997, por exemplo, marcou a consolidação dos híbridos no mercado internacional, evidenciando o caminho distinto seguido pelo Brasil.

Iniciativas pontuais, como o “Veículo Elétrico Brasileiro” da Itaipu Binacional (2006), voltaram a atrair interesse acadêmico e institucional, mas não se traduziram em produção em escala comercial (Itaipu Binacional, 2017).

Foi apenas a partir da década de 2010 que a eletromobilidade passou a ganhar novo fôlego, impulsionada por fatores como a queda no custo das baterias de íons-lítio, cujo preço caiu mais de 80% entre 2010 e 2020 (BloombergNEF, 2024). O fortalecimento dos compromissos globais de descarbonização e a emergência de novas tecnologias veiculares. Nesse contexto, universidades e institutos de pesquisa brasileiros, como a UNICAMP, o IPEN e a própria Itaipu Binacional, passaram a desempenhar papel relevante no desenvolvimento de protótipos e estudos de integração com a rede elétrica.

Cidades como São Paulo e Campinas passaram a testar ônibus elétricos, enquanto surgiam os primeiros eletropostos em centros urbanos. A partir de 2015, observa-se um movimento mais consistente de retomada, com marcos como a introdução comercial do BMW i3, a criação da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) em 2018, e o lançamento do programa P&D Estratégico da ANEEL voltado à integração dos veículos elétricos com o sistema elétrico. A comercialização de veículos eletrificados começou a crescer a partir de 2020, sobretudo com os modelos híbridos. No mesmo período, a infraestrutura de recarga saltou de 350 pontos públicos em 2020 para mais de 14.800 em 2025, embora ainda concentrada regionalmente e sem padronização nacional (PNME, 2024).

2.1.2 Estrutura da Frota Nacional

O número de veículos eletrificados no Brasil cresceu de 8 mil unidades em 2018 para 208 mil até o final de 2023, considerando modelos 100% elétricos (BEVs), híbridos plug-in (PHEVs) e híbridos convencionais (HEVs). Em 2024, esse total avançou ainda mais, atingindo 374 mil veículos. Ainda assim, esse volume representa menos de 1% da frota leve nacional, estimada em aproximadamente 45 milhões de unidades (ABVE, 2024; ANFAVEA, 2023).

Modelos híbridos, especialmente os HEVs, ainda predominam no mercado devido ao menor custo de aquisição, maior autonomia e menor dependência de infraestrutura. Já os veículos totalmente elétricos ainda enfrentam resistência por parte dos consumidores devido à autonomia limitada e à cobertura restrita da rede de recarga (Alves, 2023).

A distribuição da frota também revela disparidades regionais significativas. O Sudeste concentra a maior parte dos emplacamentos, sobretudo em São Paulo e Minas Gerais, enquanto Norte e Nordeste ainda registram índices incipientes, em grande parte pela ausência de infraestrutura adequada. Essa concentração regional reflete a desigualdade no acesso à tecnologia e reforça a necessidade de políticas específicas de estímulo em estados menos desenvolvidos no setor.

Outro aspecto relevante é a segmentação por perfil de uso. Os BEVs têm maior presença em frotas corporativas, serviços de táxi e mobilidade por aplicativo em grandes centros urbanos, além de consumidores de maior poder aquisitivo. Os PHEVs se consolidaram como opção de transição, oferecendo autonomia elétrica em trajetos urbanos e a segurança do motor a combustão para longas distâncias. Já os HEVs apresentam forte penetração no mercado de entrada, atraindo consumidores que buscam maior eficiência energética sem depender de pontos de recarga. Essa diversidade de perfis reforça o caráter híbrido da eletrificação no Brasil.

Complementarmente ao panorama, as vendas de eletrificados aceleraram: em 2024, os emplacamentos de BEV, PHEV e HEV somaram 173.530 unidades (+85% vs. 2023), e o estoque acumulado de eletrificados no país atingiu 503.654 unidades entre 2012 e julho de 2025. Nas vendas mensais recentes de 2025, observa-se predominância de PHEV, seguidos por BEV, com HEV/HEV flex em menor participação — por exemplo, em junho/2025: PHEV 47,3%, BEV 38,1%, HEV 8,9% e HEV Flex 5,7% do total de eletrificados leves (ABVE, 2024; IEA, 2025).

Projeções da BloombergNEF indicam que o país poderá alcançar cerca de 2 milhões de veículos eletrificados até 2030, o que representaria pouco mais de 4% da frota leve nacional esperada para esse ano (BloombergNEF, 2024). Ainda que modesto em termos globais, esse crescimento sugere um mercado em expansão gradual, condicionado à redução de custos e ao avanço regulatório.

2.1.3 Avanços Regulatórios e Políticas Públicas

O avanço da mobilidade elétrica no Brasil tem ocorrido em meio a um conjunto fragmentado de políticas públicas. O principal marco federal é o *Programa Rota 2030*, instituído pela Lei nº 13.755/2018, voltado à modernização do setor automotivo. Embora não contemple incentivos diretos para VEs, o programa favorece inovações tecnológicas que beneficiam indiretamente o setor (PNME, 2024).

Outros avanços têm vindo de estados e municípios. Cidades como Curitiba, São Paulo e Salvador implementaram ônibus elétricos em suas frotas públicas, e leis locais, como a de São Luís (MA), as quais exigem infraestrutura de recarga em novos empreendimentos imobiliários (PNME, 2024). Além disso, alguns estados adotaram incentivos fiscais específicos, como a redução do IPVA em São Paulo (50% de desconto) e Paraná (isenção parcial), ou a isenção de rodízio para veículos elétricos no Rio de Janeiro.

A criação da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), em 2020, articulou agentes públicos, privados e acadêmicos em torno de uma agenda comum para o setor, promovendo estudos, indicadores e diretrizes nacionais. Outro destaque é o programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, que tem financiado projetos de integração de veículos elétricos à rede elétrica, explorando conceitos como *vehicle-to-grid* (V2G) e carregamento inteligente.

Entretanto, o país ainda carece de uma política nacional clara, com metas de eletrificação da frota, padronização técnica e incentivos consistentes. A ausência de diretrizes sobre descarte e reciclagem de baterias representa um entrave adicional, já que a logística reversa é essencial para garantir sustentabilidade no longo prazo. Também persistem barreiras tributárias: a carga elevada de ICMS e IPI sobre veículos elétricos ainda encarece a aquisição, em contraste com países que aplicam isenções totais ou subsídios diretos. Projetos de lei como o PL 2156/21 buscam endereçar parte dessas lacunas, mas ainda não há um marco regulatório abrangente que coloque o

Brasil em linha com as metas internacionais (ABVE, 2024; Ferreira; Dias, 2022).

2.1.4 Infraestrutura de Recarga no Brasil

A infraestrutura de recarga no Brasil avançou de forma expressiva entre 2020 e 2025, com o número de pontos públicos saltando de 350 para mais de 14,8 mil, segundo o 4º Anuário da PNME (PNME, 2024). Esse crescimento, entretanto, foi fortemente concentrado nas regiões Sul e Sudeste, refletindo a desigualdade regional na difusão da eletromobilidade.

Figura 1 - Distribuição de eletropostos públicos por estado no Brasil (2025)



Fonte: ABVE (2024).

Figura 2 - Marketshare dos eletropostos por região do Brasil



Fonte:ABVE (2024).

Essas figuras evidenciam a concentração dos pontos de recarga no Sudeste, especialmente em São Paulo e Rio de Janeiro. Essa disparidade limita a expansão da eletromobilidade em regiões como o Norte e o Nordeste, onde a ausência de infraestrutura de apoio torna o uso de VEs logisticamente inviável.

Além da distribuição desigual, é importante destacar a tipologia dos carregadores em operação no país. A maior parte é composta por carregadores semirrápidos (7 a 22 kW), instalados em estacionamentos de shoppings, supermercados e universidades. Já os carregadores rápidos (50 a 150 kW) ainda são minoria e estão concentrados em grandes centros urbanos e corredores rodoviários do Sudeste e Sul, enquanto os ultrarrápidos (acima de 350 kW), essenciais para viagens de longa distância, permanecem incipientes no Brasil (PNME, 2024). Essa predominância de carregadores de baixa e média potência contribui para a percepção de limitação da autonomia e restringe o uso dos BEVs em trajetos intermunicipais.

Outro ponto relevante é a distinção entre recarga pública e privada. A maioria dos carregamentos ainda ocorre em ambiente residencial ou corporativo, sobretudo no caso dos PHEVs e BEVs utilizados em frotas de empresas. No entanto, a expansão da recarga pública é essencial para democratizar o acesso à tecnologia, já que nem

todos os consumidores dispõem de garagem ou rede elétrica adequada para instalação de carregadores domésticos.

Persistem também desafios técnicos: padronização de conectores, interoperabilidade entre diferentes redes de recarga, manutenção periódica dos pontos instalados e ausência de regulação nacional sobre padrões de operação, o que compromete a confiabilidade do sistema e encarece a expansão dos eletropostos (Besen Group, 2024). Empresas privadas, como montadoras, locadoras e operadoras de energia, têm desempenhado papel relevante na instalação dos pontos, mas a falta de coordenação nacional limita a eficiência dos investimentos.

Outro aspecto crítico é o impacto na rede elétrica. Estudos apontam que a concentração de carregamentos em horários de pico pode sobrecarregar circuitos urbanos, especialmente em áreas residenciais densamente povoadas. Nesse contexto, a adoção de soluções como o carregamento inteligente (*smart charging*), o armazenamento distribuído e o uso de fontes renováveis — como a energia solar em garagens e estacionamentos — são medidas estratégicas para mitigar esses efeitos (Cachão, 2023). Além disso, a integração de tecnologias como *vehicle-to-grid* (V2G) pode, no futuro, transformar veículos elétricos em elementos ativos da rede, contribuindo para a estabilidade do sistema.

Por fim, as projeções da BloombergNEF (BloombergNEF, 2024) estimam que o Brasil poderá ultrapassar 50 mil pontos de recarga públicos até 2030, desde que mantenha políticas de incentivo e investimentos coordenados. Entretanto, sem diretrizes nacionais que garantam equidade regional, padronização técnica e planejamento energético integrado, a expansão da infraestrutura corre o risco de perpetuar desigualdades e limitar o ritmo de adoção da mobilidade elétrica no país.

2.1.5 Barreiras à Expansão Nacional

As barreiras à mobilidade elétrica no Brasil são multidimensionais, abrangendo dimensões econômicas, regulatórias, técnicas e comportamentais.

No campo econômico, destaca-se o alto custo de aquisição dos VEs, agravado pela ausência de incentivos fiscais estruturados. A carga tributária ainda é elevada, e os benefícios existentes se limitam a poucos estados, o que encarece os veículos para o consumidor final e reduz sua atratividade frente aos modelos a combustão (Alves; Frascino; Chimelli, 2022). Além disso, o custo de substituição de baterias — que pode

variar de R\$ 30 mil a R\$ 90 mil — compromete o valor residual dos veículos e desestimula o mercado de usados, gerando receio adicional nos consumidores. Outro ponto crítico é a falta de linhas de financiamento específicas e acessíveis, que poderiam reduzir a barreira inicial de entrada para frotistas e pessoas físicas.

Na dimensão regulatória, falta uma política federal integrada com metas de eletrificação da frota, normas claras para o descarte e reaproveitamento de baterias e mecanismos de financiamento adequados (Batista, 2019). A ausência de metas nacionais de longo prazo e de um marco legal robusto gera incertezas para investidores e fabricantes, limitando a consolidação de uma cadeia produtiva nacional. Essa lacuna contrasta com o cenário de países que já estabeleceram cronogramas para o banimento de veículos a combustão e regulamentações sobre logística reversa de baterias.

Do ponto de vista técnico, o país carece de padronização de conectores, interoperabilidade entre diferentes redes de recarga, infraestrutura densa e estratégias de recarga inteligente (PNME, 2024). A concentração de pontos de recarga no Sudeste e a falta de corredores elétricos interligando regiões limitam o uso de VEs em viagens de longa distância. A ausência de normativas nacionais para padrões técnicos também eleva os custos de instalação e manutenção dos eletropostos.

Na dimensão comportamental, os consumidores ainda demonstram insegurança quanto à autonomia, vida útil da bateria, valor de revenda e disponibilidade de assistência técnica (Ferreira; Dias, 2022). Esse fenômeno, conhecido como “ansiedade de autonomia”, compromete a expansão do mercado de BEVs e afeta diretamente a formação de um mercado secundário de VEs. Além disso, a carência de campanhas educativas e de experiências práticas (como test-drives e programas de compartilhamento) reduz a familiaridade da população com a tecnologia, perpetuando barreiras culturais e perceptivas.

Em levantamento do Webmotors Autoinsights em abril de 2025, com mais de 1,3 mil usuários, a falta de pontos de recarga foi o principal obstáculo citado (54%), seguida de dificuldade de revenda (49%) e insegurança tecnológica/confiabilidade (44%) — sinal de que a adoção permaneceu condicionada à conveniência e confiança da recarga, e ao risco percebido de liquidez do usado (Quilowatt, 2025). Em paralelo, o EY Mobility Consumer Index 2025 mostrou que apenas 10% dos consumidores brasileiros pretendiam ter um BEV como próximo carro (média global 24%; entre as

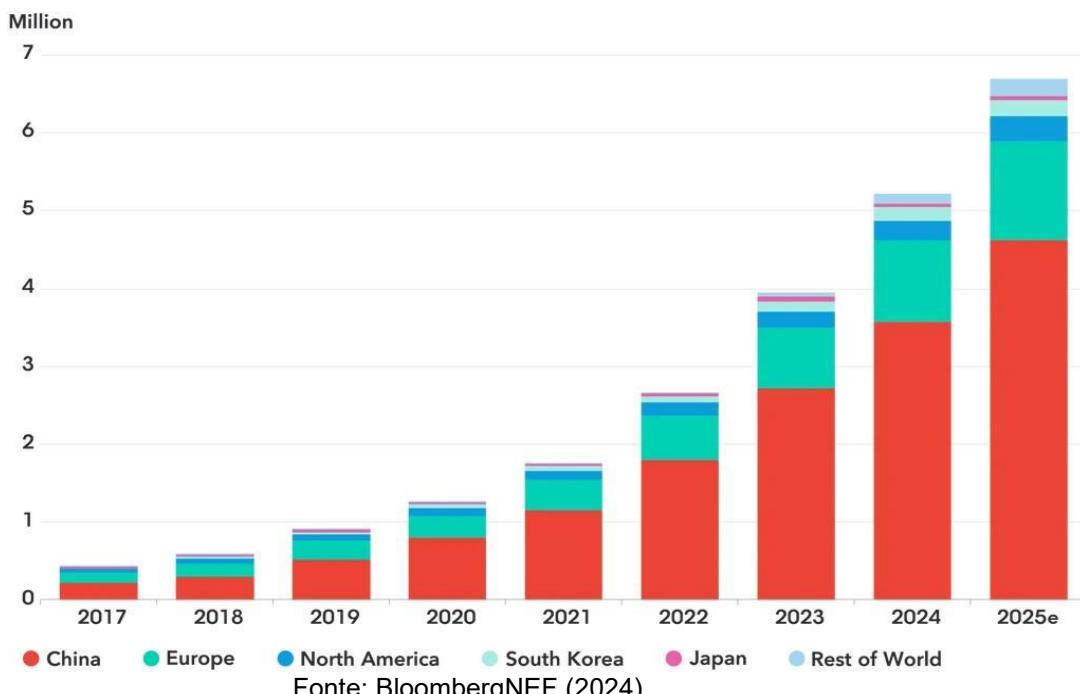
menores intenções entre 28 países), reforçando a leitura de demanda cautelosa diante de custo total e infraestrutura (EY, 2025).

2.1.6 Panorama Internacional e Tendências Globais

A mobilidade elétrica tem avançado de forma acelerada em diversos países, sobretudo após 2024, impulsionada por metas globais de descarbonização e pelo fortalecimento de políticas industriais voltadas à eletromobilidade. A Figura 3 ilustra esse crescimento, apresentando a evolução do número de conectores públicos de recarga no mundo entre 2017 e a estimativa para 2025. Observa-se que a infraestrutura de recarga global deverá ultrapassar 6,5 milhões de pontos públicos até 2025, refletindo a rápida expansão da rede em mercados asiáticos e europeus.

A China, por exemplo, já ultrapassa 4,5 milhões de eletropostos públicos em 2024, com ampla cobertura urbana e rodoviária (BloombergNEF, 2024). Além da escala de mercado, o país lidera a cadeia produtiva global de baterias, consolidando-se como referência em produção, inovação e exportação.

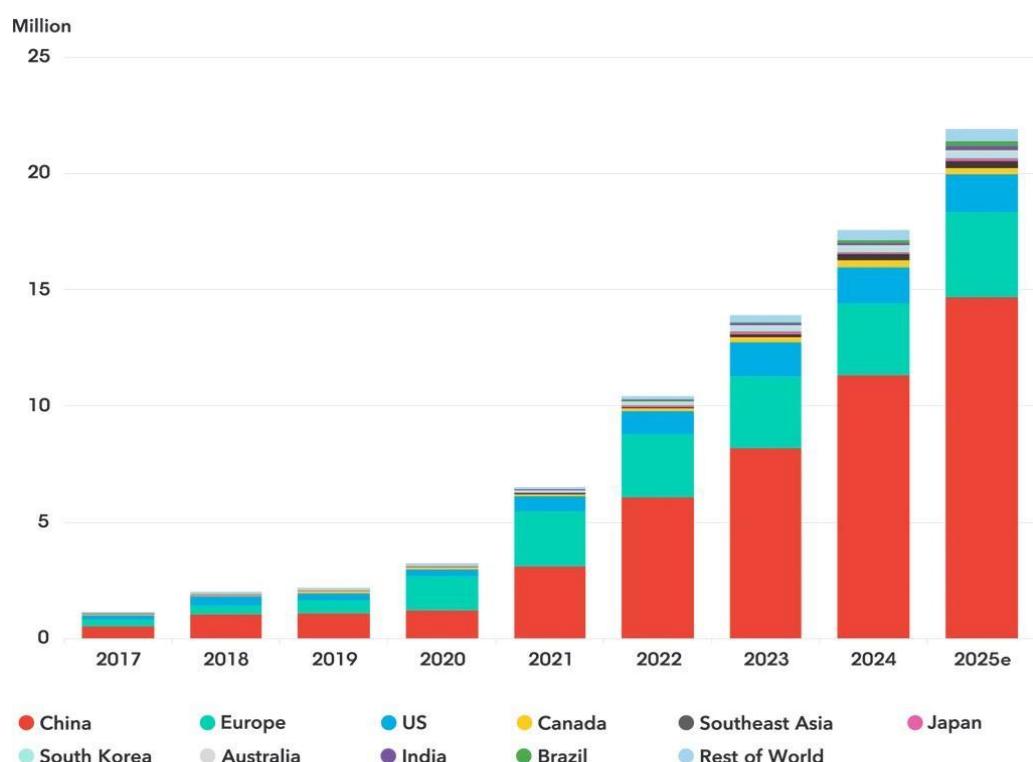
Figura 3 – Evolução do número de conectores públicos globais de recarga (2017–2025e)



Na Europa, a Alemanha lidera com 18% de participação de mercado de BEVs

em 2024. A União Europeia mantém a meta de banir a venda de veículos a combustão até 2035, medida que tem impulsionado o investimento em infraestrutura de recarga rápida e o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como baterias de estado sólido (ACEA), 2024; IEA, 2025). Já a Noruega permanece como referência, com mais de 90% das vendas de veículos novos sendo elétricas, resultado de décadas de políticas públicas consistentes de subsídios, isenções fiscais e investimentos em rede de recarga (Norwegian EV Association, 2024).

Figura 4 – Vendas globais de veículos elétricos de passageiros por mercado (2017–2025e)



Fonte: (BloombergNEF, 2024).

Na América do Norte, os Estados Unidos têm acelerado sua transição com o *Inflation Reduction Act* (IRA), aprovado em 2022, que prevê subsídios bilionários para veículos elétricos e fábricas de baterias. Esse pacote de estímulos fortalece a indústria local e busca reduzir a dependência da cadeia asiática de suprimentos.

Na América Latina, Chile e Colômbia adotaram planos nacionais desde 2023, com foco em frotas públicas e redução de tributos sobre importações. Esses países têm buscado articular políticas federais claras, combinadas com estímulos regionais, para acelerar a eletrificação do transporte público urbano. Comparativamente, o Brasil

avança de forma mais lenta, com menos de 1% da frota eletrificada em 2025, em grande parte pela ausência de um marco regulatório nacional abrangente (PNME, 2024).

Quadro 1 – Comparativo internacional da mobilidade elétrica (2025)

Região/País	Políticas e Incentivos	Infraestrutura de Recarga	Resultados (2025)
Brasil	Incentivos fragmentados (IPVA reduzido em alguns estados, isenção de rodízio); ausência de metas fe-derais claras.	14,8 mil pontos públicos, concentrados no Sudeste; baixa padronização.	374 mil VEs em circulação (<1% da frota leve).
China	Subsídios diretos à compra; metas de eletrificação; apoio massivo à indústria de baterias.	+4,5 milhões de pontos de recarga públicos, ampla cobertura urbana e rodoviária.	10 milhões de VEs vendidos em 2024 (líder mundial).
Europa (UE/Alemanha/Noruega)	Metas de banimento de combustão até 2035; isenções fiscais; subsídios; incentivos a P&D.	Expansão acelerada de pontos rápidos/ultrarrápidos; interoperabilidade regulada pela UE.	Alemanha: 18% das vendas em 2024; Noruega: >90% elétricos entre novos.
EUA	<i>Inflation Reduction Act</i> (IRA) com subsídios bilionários a VEs e baterias; incentivos federais e estaduais.	Rede em expansão, com foco em corredores rodoviários; infraestrutura ainda desigual.	Forte crescimento em 2024; consolidação da indústria local de baterias.
América Latina (Chile/Colômbia)	Planos nacionais desde 2023; redução de tributos sobre importações; foco em transporte público.	Expansão inicial de corredores e pontos urbanos, ainda limitada.	Frota ainda pequena, mas crescimento acelerado em frotas de ônibus.

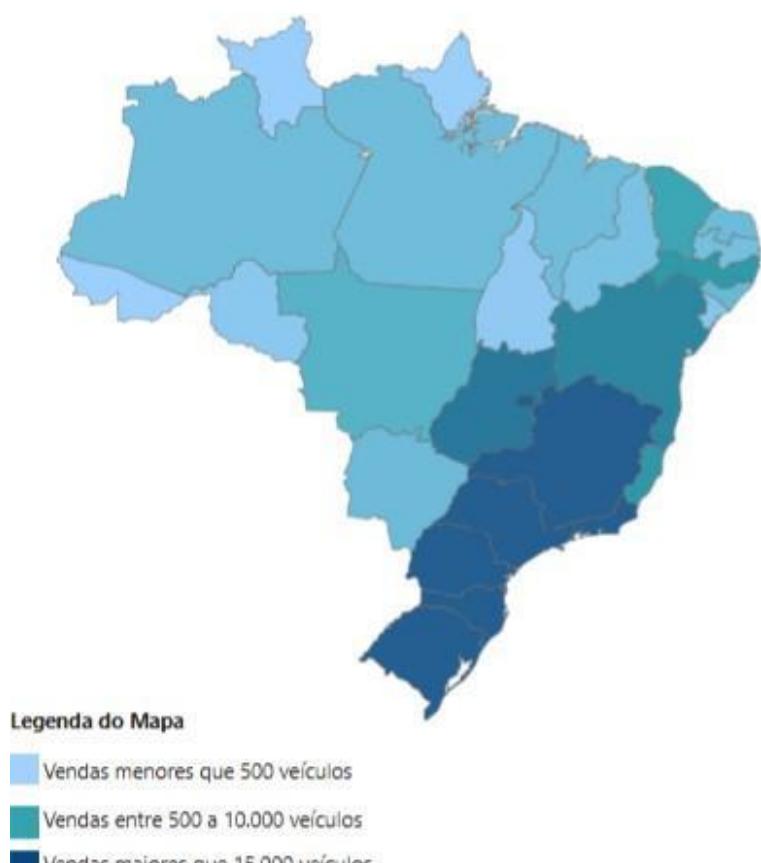
Fonte: Elaboração própria com base na ABVE (2024); BloombergNEF (2024); International Energy Agency (2025); Norwegian EV Association (2024).

De maneira geral, as tendências globais apontam para três direções principais: (i) expansão acelerada da infraestrutura de recarga, especialmente de carregadores rápidos e ultrarrápidos; (ii) investimentos maciços em tecnologias de baterias de maior densidade energética e custo reduzido; e (iii) definição de prazos legais para o fim da venda de veículos a combustão. Esse cenário reforça a necessidade de o Brasil alinhar suas políticas nacionais às experiências internacionais para não ampliar ainda mais a defasagem tecnológica e regulatória.

2.1.7 Indicadores Recentes de Adoção e Projeções Futuras

O ritmo de adoção dos VEs no Brasil começou a acelerar nos últimos três anos. Dados da ABVE indicam que, em 2024, mais de 160 mil veículos eletrificados foram vendidos — um aumento de 91% em relação a 2023 (ABVE, 2024). Entre janeiro e maio de 2025, mais de 90 mil novos emplacamentos já foram registrados.

Figura 5 – Vendas acumuladas de veículos eletrificados por estado brasileiro (até 2024)



Fonte: ABVE (2024).

A Figura 5 mostra que São Paulo, Minas Gerais e Paraná lideram as vendas acumuladas, o que reforça a concentração regional já discutida. Por outro lado, estados do Norte e Nordeste ainda apresentam índices baixos, indicando espaço para políticas de estímulo regional.

As projeções da BloombergNEF estimam que o Brasil poderá atingir cerca de 2 milhões de veículos eletrificados até 2030, o que corresponderia a apenas 4% da frota nacional esperada. Apesar do crescimento, o país permanecerá distante dos

líderes globais, salvo adoção de políticas públicas coordenadas e assertivas.

2.2 ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA MOBILIDADE ELÉTRICA

Esta seção consolida os indicadores atuais da mobilidade elétrica no Brasil, organizando evidências sobre frota e vendas, infraestrutura de recarga, políticas e regulação e as principais barreiras que ainda limitam a difusão. O objetivo é oferecer uma linha de base objetiva para as análises e recomendações que virão adiante.

2.2.1 Tipos de Veículos Elétricos e Suas Aplicações

A eletrificação veicular se caracteriza por diferentes graus de implementação tecnológica, resultando em categorias distintas que atendem a necessidades específicas de mercado e infraestrutura. Compreender essas diferenças e suas implicações técnico-econômicas é fundamental para analisar o potencial de cada tecnologia no contexto brasileiro e sua contribuição para a mobilidade sustentável.

Os veículos eletrificados podem ser classificados em quatro categorias principais, conforme seu nível de eletrificação: híbridos leves (MHEV), híbridos convencionais (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e elétricos puros a bateria (BEV). Adicionalmente, embora com presença ainda incipiente no mercado nacional, existem os veículos elétricos a célula de combustível (FCEV) (Severine, 2025b).

Os híbridos leves (Mild Hybrid Electric Vehicle - MHEV) incorporam um sistema elétrico auxiliar de 48V que opera em paralelo ao motor a combustão, porém não são capazes de propulsionar o veículo exclusivamente com energia elétrica. Sua função principal é assistir o motor convencional em situações de maior demanda energética e possibilitar o sistema start-stop avançado, recuperando energia cinética durante as frenagens. A tecnologia MHEV proporciona reduções de consumo de combustível entre 8% e 15%, dependendo do ciclo de condução, com impacto limitado no custo de produção (ICCT, 2022).

Os híbridos convencionais (Hybrid Electric Vehicle - HEV) combinam um motor a combustão interna com motor(es) elétrico(s) e bateria de capacidade intermediária (até 8 kWh), formando um sistema que permite propulsão elétrica em baixas velocidades e curtas distâncias (tipicamente até 2-3 km). A energia elétrica é gerada exclusivamente pelo próprio veículo através de frenagem regenerativa e pelo motor a

combustão, sem possibilidade de recarga externa. Um aspecto técnico relevante dos HEVs é seu sistema de gerenciamento energético, que otimiza constantemente a operação entre os motores elétrico e a combustão, priorizando a eficiência global do conjunto. Estudos técnicos demonstram que os HEVs apresentam redução média de 20-30% no consumo de combustível em ciclos urbanos e 10-15% em ciclos rodoviários, quando comparados a veículos convencionais equivalentes (Haytzmann; Cieplinski, 2025).

Os HEVs disponíveis no mercado brasileiro utilizam predominantemente duas arquiteturas principais: paralela (como em modelos da Honda) e série-paralela ou híbrida completa (como nos modelos da Toyota). A arquitetura série-paralela, embora mais complexa, permite maior flexibilidade operacional e eficiência em diferentes condições de uso, sendo responsável pelo maior volume de vendas desta categoria no país. Em termos de aplicação, os HEVs têm apresentado forte penetração no mercado brasileiro como alternativa intermediária para consumidores que buscam maior eficiência energética sem depender da infraestrutura de recarga, com crescimento expressivo nas vendas a partir de 2023 (Haytzmann; Cieplinski, 2025).

Os híbridos plug-in (Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV) representam um avanço técnico em relação aos HEVs, incorporando baterias de maior capacidade (tipicamente 10-20 kWh) que podem ser recarregadas em tomadas ou eletropostos. Esta configuração permite operar em modo totalmente elétrico por distâncias significativas (entre 30 e 100 quilômetros, dependendo do modelo), utilizando o motor a combustão apenas quando necessário. A tecnologia PHEV implementa sistemas de gestão energética mais complexos que os HEVs convencionais, permitindo ao usuário selecionar diferentes modos de operação (elétrico puro, híbrido, recarga da bateria, entre outros) de acordo com o tipo de deslocamento e preferências individuais (Haytzmann; Cieplinski, 2025).

No contexto brasileiro, os PHEVs têm registrado crescimento expressivo, liderando as vendas anuais de eletrificados desde 2023. Dados da ABVE (2025) mostram que a participação dos PHEVs no total de veículos eletrificados saltou de 69% no primeiro semestre de 2024 para 84% em 2025, consolidando-se como a tecnologia predominante no mercado nacional de veículos eletrificados. Esta preferência deve-se a características técnicas que se adequam especialmente ao mercado brasileiro: autonomia estendida pela combinação dos dois sistemas de propulsão, possibilidade de uso em modo elétrico em trajetos urbanos cotidianos e a

segurança do motor a combustão para viagens mais longas, compensando a ainda limitada infraestrutura de recarga do país.

Os veículos 100% elétricos (Battery Electric Vehicles), ou BEVs, são movidos exclusivamente por motores elétricos alimentados por baterias de alta capacidade (20-100+ kWh), sem qualquer motor a combustão auxiliar (Edmunds, 2024). Do ponto de vista técnico, os BEVs apresentam arquitetura significativamente mais simples que os veículos convencionais, com cerca de 20 componentes móveis no sistema de propulsão, contra mais de 2.000 em motores a combustão interna (Severine, 2025a).

A eficiência energética constitui uma das principais vantagens técnicas dos BEVs, convertendo aproximadamente 85-95% da energia armazenada nas baterias em energia me-cânica, contra apenas 20-30% nos motores a combustão interna. Esta diferença fundamental resulta em um consumo energético por quilômetro significativamente menor: enquanto um veículo a combustão convencional consome aproximadamente 64 kWh/100km (em equivalente energético), um BEV típico consome entre 15 e 20 kWh/100km (ICCT, 2022).

Outras vantagens técnicas dos BEVs incluem: torque instantâneo desde 0 rpm, proporcionando melhor aceleração; regeneração de energia na frenagem, aumentando a eficiência em ciclos urbanos; operação silenciosa; ausência de vibrações; e manutenção reduzida, com custos estimados entre 40-60% menores que veículos a combustão devido à eliminação de diversos sistemas (lubrificação, alimentação de combustível, escapamento, etc.) (Haytzmann G.; Cieplinski, 2025).

No mercado brasileiro, os BEVs têm registrado crescimento expressivo, com aumento de 219,1% nas vendas em 2024 comparado ao ano anterior, segundo dados da Autoesporte (2025). No primeiro semestre de 2025, foram vendidos 30.657 BEVs no Brasil, consolidando uma participação de mercado de aproximadamente 1,5% nas vendas totais de veículos leves (Barros, 2025).

Um segmento adicional, com presença ainda limitada no Brasil, são os veículos elétricos a célula de combustível (Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV). Estes utilizam hidrogênio como combustível, convertendo-o em eletricidade através de uma célula de combustível para alimentar motores elétricos. As principais vantagens técnicas incluem: alta densidade energética (permitindo maior autonomia, tipicamente 500-700 km); recarga rápida (3-5 minutos para reabastecimento completo); e emissão apenas de vapor d'água como subproduto. Contudo, sua adoção no Brasil é praticamente inexistente devido a desafios como: infraestrutura nula para abastecimento de

hidrogênio, custo elevado da tecnologia e menor eficiência energética quando comparado aos BEVs em uma análise well-to-wheel (Haytzmann G.; Cieplinski, 2025).

Em termos de segmentação de mercado e aplicações no contexto brasileiro, observa-se uma clara distribuição conforme o perfil de uso:

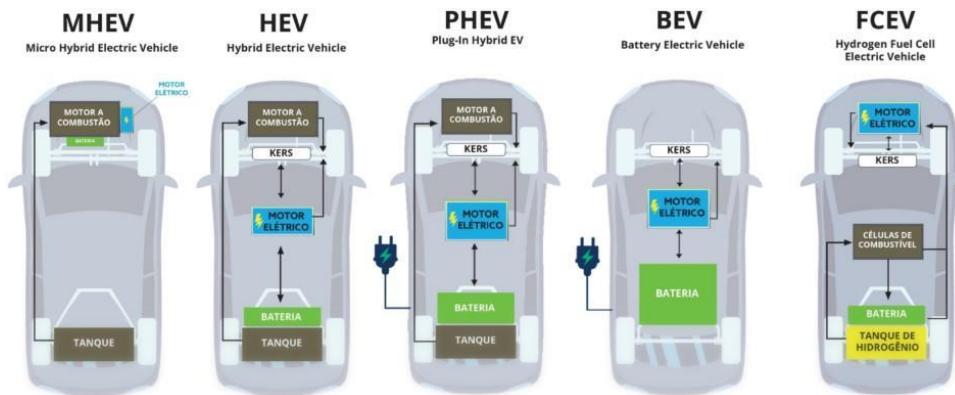
1. BEVs: predominam em frotas corporativas (especialmente serviços de assinatura e compartilhamento); frotas de táxis e aplicativos em grandes centros urbanos; consumidores urbanos de maior poder aquisitivo; e operações de logística urbana.
2. PHEVs: têm conquistado usuários que realizam deslocamentos intermunicipais frequentes; proprietários de veículos premium que buscam as vantagens de emissão zero em trajetos urbanos sem comprometer a versatilidade em viagens longas; e consumidores sensíveis a benefícios fiscais estaduais (como redução de IPVA).
3. HEVs: apresentam forte crescimento no segmento de entrada para consumidores que buscam maior eficiência sem o compromisso com a recarga elétrica; frotas de táxi em cidades com menor infraestrutura de recarga; e como alternativa para usuários que não dispõem de estrutura para carregamento residencial.
4. MHEVs: concentram-se em veículos premium importados, principalmente SUVs e sedãs de luxo, como solução intermediária para redução de emissões sem alteração significativa na experiência de uso.

A aplicação comercial de veículos elétricos no Brasil tem crescido particularmente em segmentos específicos, como demonstra o crescente número de ônibus elétricos em operação. Dados da ABVE (2025) revelam que entre 2022 e abril de 2025, o Brasil emplacou 642 ônibus elétricos, com o Sudeste concentrando 89% do total (ABVE, 2025). A cidade de São Paulo lidera esta transição, com a maior frota de ônibus 100% elétricos do país, atualmente com mais de 500 veículos em operação e meta de eletrificação total até 2037.

Um aspecto técnico relevante para a evolução da mobilidade elétrica no Brasil é a compatibilidade com as condições de operação específicas do país, como altas temperaturas, pavimentação irregular e perfis de uso intensivos. Estudos técnicos conduzidos por fabricantes como BYD e Volvo têm demonstrado adaptabilidade satisfatória dos sistemas de propulsão elétricos e de gerenciamento térmico de baterias às condições brasileiras, principalmente em aplicações urbanas e regionais.

Abaixo temos uma figura que mostra os principais componentes dos diferentes tipos de veículos eletrificados que foram detalhados nessa seção:

Figura 6 – Principais componentes de cada tipo de veículo eletrificado



Fonte: (Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2024).

E como foi visto, temos que os principais tipos de veículos elétricos utilizados no Brasil são o HEV, o PHEV e o BEV. Abaixo temos um comparativo mais detalhado entre esses tipos de veículos:

Figura 7 – Comparativo entre os principais tipos de veículos elétricos no Brasil

Característica	BEV (Veículo Elétrico a Bateria)	PHEV (Veículo Híbrido Plug-In)	HEV (Veículo Elétrico Híbrido)
Fonte de energia	Bateria elétrica	Bateria e motor a combustão	Motor elétrico e motor a combustão
Capacidade da bateria	20 a 100 kWh	10 a 20 kWh	até 8 kWh
Autonomia média	200 a 500 km	400 a 700 km no combustível a 120 km na bateria	400 a 700 km no combustível
Recarga em tomada elétrica	Sim	Sim	Não (não plugável)
Emissões de escapamento	Zero	Reduzidas em modo elétrico	Reducidas em baixa velocidade
Tempo de recarga	Variável (horas)	Variável (horas)	Não aplicável
Flexibilidade de longa distância	Limitada	Sim	Limitada
Eficiência no consumo de combustível	Não aplicável	Sim	Sim
Alguns modelos	BYD D1 Volvo C40 BMW i3	GWM Haval 6 Jeep Compass 4xe BMW 330e	Toyota Corolla Hybrid Lexus UX

Fonte: (Haytzmann; Cieplinski, 2025).

Como podemos ver na tabela comparativa e o que já foi dito anteriormente nessa seção, temos que os BEVs representam a forma mais avançada de eletrificação, uma vez que operam exclusivamente com baterias elétricas de maior capacidade (20 a 100+ kWh), oferecendo autonomias médias entre 200 e 500 km.

Apesar de não emitirem gases de escapamento e contarem com maior potencial de redução de emissões, enfrentam limitações em viagens de longa distância, devido ao tempo de recarga variável e à dependência de infraestrutura adequada. Modelos como BYD D1, Volvo C40 e BMW i3 ilustram esta categoria, concentrada sobretudo em consumidores de maior poder aquisitivo e em áreas com melhor infraestrutura de recarga.

Os PHEVs, por sua vez, combinam motor a combustão e bateria elétrica de menor capacidade (10 a 20 kWh), permitindo autonomias de até 120 km em modo exclusivamente elétrico e entre 400 e 700 km quando combinados com o motor a combustão. Essa configuração garante maior flexibilidade de uso, reduzindo a chamada “ansiedade de autonomia”, além de oferecer vantagens em eficiência energética. A possibilidade de recarga em tomada elétrica torna-os uma solução de transição para mercados em que a infraestrutura ainda está em expansão. No Brasil, modelos como GWM Haval 6, Jeep Compass 4xe e BMW 330e vêm ganhando espaço nesse segmento.

Já os HEVs funcionam por meio da integração entre motor a combustão e motor elétrico de baixa capacidade (até 8 kWh), sem a possibilidade de recarga externa. Essa limitação implica que a energia elétrica utilizada é obtida principalmente por frenagem rege-nerativa e outras formas de recuperação de energia, reduzindo emissões apenas em condições de baixa velocidade. Sua autonomia depende quase integralmente do motor a combustão, situando-se entre 400 e 700 km, o que os aproxima mais de veículos convencionais. Modelos como Toyota Corolla Hybrid e Lexus UX exemplificam a categoria, amplamente difundida devido ao menor custo relativo de aquisição, manutenção simplificada e independência de infraestrutura de recarga.

Em síntese, os comportamentos de uso e a penetração relativa de cada arquitetura — discutidos tecnicamente nesta subseção — conectam-se ao retrato de mercado apresentado na Seção 2.1.2 e são condicionados, sobretudo, pelas soluções de armazenamento de energia, tema aprofundado adiante em § 2.2.2.

2.2.2 Tecnologias de Bateria

As baterias constituem o principal componente técnico e econômico dos veículos elétricos (VEs), representando até 40% do seu custo total (IEA, 2025). A

viabilidade da eletromobilidade está diretamente atrelada à evolução tecnológica das baterias, que influencia aspectos como autonomia, segurança, tempo de recarga, desempenho e sustentabilidade ambiental. No contexto brasileiro, compreender as principais tecnologias em uso e os desafios logísticos e regulatórios associados é essencial para delinear os caminhos futuros da mobilidade elétrica.

2.2.2.1 Tipos predominantes de bateria

Atualmente, os veículos eletrificados comercializados no Brasil utilizam predominantemente baterias de íons de lítio, com destaque para três configurações técnicas:

- **LFP (Fosfato de Ferro-Lítio)**: apresenta menor densidade energética, mas oferece alta segurança térmica, maior vida útil e menor custo de produção. É amplamente utilizada em modelos populares, como os produzidos pela BYD, sendo ideal para operações urbanas. Segundo a PNME (2024), cerca de 72% dos BEVs vendidos no Brasil em 2024 utilizaram baterias LFP.
- **NMC (Níquel-Manganês-Cobalto)**: oferece maior densidade energética e autonomia, mas tem custo superior e maior sensibilidade térmica. É utilizada em modelos premium, como o BMW i3.
- **NCA (Níquel-Cobalto-Alumínio)**: possui altíssima densidade energética e longa autonomia, com destaque para a linha da Tesla. Apesar de seu desempenho superior, essa tecnologia ainda é pouco difundida no mercado brasileiro, devido ao custo elevado e à limitação nas importações.

Segundo dados, as densidades energéticas típicas são: 30–50 Wh/kg para baterias de chumbo-ácido, 90–160 Wh/kg para baterias LFP, 150–220 Wh/kg para NMC e até 500 Wh/kg estimados para baterias de estado sólido (IEA, 2025; Battery University, 2024).

Tabela 1 – Comparativo técnico entre principais tipos de baterias veiculares

Característica	Chumbo-Ácido	LFP	NMC	Estado Sólido
Densidade energética (Wh/kg)	30–50	90–160	150–220	300–500 (estim.)
Custo médio (US\$/kWh)	100–150	90–120	130–160	200–300
Vida útil (ciclos)	300–500	2,000–3,000	1,500–2,500	> 5,000 (estim.)
Segurança térmica	Média	Alta	Média	Alta
Aplicações típicas	Modelos antigos e estacionários	Modelos urbanos populares (BYD)	Veículos premium (BMW)	Futuro tecnológico (protótipos)

Fonte: Adaptado de IEA (2025), Battery University (2024), ABVE (2025), PNME (2024).

A escolha da tecnologia da bateria depende de fatores como o perfil de uso, o segmento de mercado, a disponibilidade de infraestrutura e a estratégia de posicionamento da montadora.

2.2.2.2 Desafios ambientais e logísticos

Com a expansão da eletromobilidade, surgem desafios relativos à gestão do ciclo de vida das baterias. O Brasil ainda carece de um marco regulatório robusto para logística reversa, reaproveitamento e reciclagem de baterias de VEs. Estimativas apontam que o país acumulará mais de 15 mil toneladas de baterias em fim de vida até 2030 (Ferreira; Dias, 2022).

O custo de substituição das baterias permanece elevado, variando entre R\$ 30 mil e R\$ 90 mil por unidade no Brasil, a depender do fabricante, capacidade e arquitetura da célula utilizada (ABVE, 2024). Essa realidade compromete o valor residual dos VEs e dificulta sua aceitação no mercado de veículos seminovos.

2.2.2.3 Pesquisas e inovações no Brasil

Instituições como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Instituto SENAI de Inovação têm desenvolvido estudos voltados à substituição de materiais críticos, aumento da densidade energética e redução do tempo de recarga. Destaca-se o avanço de pesquisas com baterias de estado sólido e nanomateriais à base de carbono, que podem triplicar a autonomia atual e reduzir o tempo de recarga em até 60% (EPE, 2024b).

Além disso, o Brasil tem se posicionado como ator estratégico no fornecimento de matérias-primas, especialmente o lítio, cujas reservas concentram-se no Vale do Jequitinhonha (MG). Iniciativas como o *Lithium Valley Brazil* buscam estruturar uma cadeia nacional de produção e refino do insumo, articulando interesses econômicos, ambientais e geopolíticos (MME; EPE; ApexBrasil, 2025).

2.2.2.4 Aspectos técnicos adicionais

A durabilidade média das baterias de íons de lítio atuais gira em torno de 8 a 10 anos ou 1.500 a 2.000 ciclos completos de carga e descarga, com degradação progressiva da capacidade de armazenamento. O custo médio por kWh caiu de US\$ 1.000 em 2010 para cerca de US\$ 130 em 2024, com projeções de atingir US\$ 80 até 2030, segundo a BloombergNEF (BloombergNEF, 2024). Esse declínio é essencial para viabilizar a eletrificação da frota em escala global.

Contudo, o Brasil enfrenta limitações adicionais relacionadas ao clima — especialmente temperaturas elevadas —, à umidade e à qualidade da pavimentação, o que demanda soluções adaptadas à realidade nacional. Sistemas de gerenciamento térmico e de proteção contra vibração têm sido adotados por fabricantes para garantir o desempenho e a longevidade das baterias em território brasileiro.

Portanto, a evolução das tecnologias de bateria representa um dos pilares centrais para a transição energética na mobilidade. Sua eficiência, disponibilidade e impacto ambiental serão determinantes para o ritmo, a escala e a sustentabilidade da expansão dos veículos elétricos no Brasil.

Historicamente, os primeiros veículos elétricos brasileiros, como o Gurgel Itaipu E150, utilizavam baterias de chumbo-ácido, uma tecnologia caracterizada por alta disponibilidade e baixo custo, mas com limitações técnicas significativas — incluindo

elevada massa, baixa densidade energética e vida útil reduzida. Essa tecnologia ainda é utilizada em aplicações estacionárias e veículos de baixa performance, porém foi amplamente substituída por baterias de íons de lítio nos modelos comerciais modernos.

No que se refere à reciclagem, os métodos tecnicamente mais difundidos internacionalmente incluem a *pirometalurgia* (processo térmico de fusão dos materiais para extração de metais como cobalto e níquel) e a *hidrometalurgia* (uso de soluções químicas para extração seletiva dos elementos). Países como Alemanha e China já possuem cadeias industriais estabelecidas para este fim, enquanto o Brasil carece de regulamentação específica e infraestrutura adequada para o tratamento seguro e eficiente desses resíduos.

3 METODOLOGIA

Este estudo adotou um desenho de revisão bibliográfica e documental com análise qualitativa. O objetivo é explicar por que a adoção de VEs no Brasil avança de forma desigual e avaliar implicações técnicas, econômicas e regulatórias, oferecendo recomendações factíveis para o curto e médio prazos.

3.1 PERGUNTA NORTEADORA

Como compatibilizar a expansão dos VEs no Brasil com (i) a operação do sistema elétrico, (ii) a viabilidade econômico-financeira para o usuário e (iii) o desenho regulatório/tributário, reduzindo barreiras de mercado?

Para isso, a pesquisa adotou o seguinte caminho:

1. Mapear evidências técnicas e de infraestrutura (padrões/conectores, tempos de recarga, impactos na rede e gestão temporal).
2. Analisar o consumo energético e possíveis efeitos na curva de carga.
3. Entender as vantagens econômicas no uso e dissertar sobre a desvalorização dos veículos em circulação.
4. Sistematizar o panorama regulatório e tributário no Brasil (Camex, Mover, incentivos) e comparar com referências internacionais.
5. Propor recomendações priorizadas para curto e médio prazos, com indicação de responsáveis (União, estados/municípios, distribuidoras, indústria).

3.2 FONTES E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

A evidência provém de documentos institucionais (EPE, ANEEL, MDIC/Planalto, PNME, ABVE, ANFAVEA, IEA, BloombergNEF), relatórios setoriais (como KBB/Cox para preços) e literatura técnica (ICCT, artigos acadêmicos). Os principais critérios aplicados foram:

1. Recência: prioridade ao período 2022–2025.
2. Confiabilidade: órgãos oficiais e multilaterais, seguidos de entidades setoriais e veículos especializados.
3. Consistência: cruzamento de dados e padronização de unidades (kWh/100

km, MWh/TWh).

4. Transparência: explicitação dos cálculos próprios quando utilizados.

3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

A análise foi organizada em quatro eixos alinhados aos capítulos do estudo:

1. Técnico e infraestrutura: classificação tecnológica (BEV/PHEV/HEV), padrões de recarga e conectores, tempos de recarga e efeitos sistêmicos (pico, rampas, perdas, necessidade de *smart charging/V2G*).
2. Econômico: custo energético por quilômetro, manutenção, TCO e desvalorização (preço relativo vs. zero-km e Fipe), com apoio em relatórios consolidados.
3. Regulatório e tributário: recomposição do Imposto de Importação (Camex), arranjo do Mover (bônus–malus via IPI, P&D, conteúdo tecnológico) e incentivos subnacionais (IPVA/ICMS).
4. Comparativo internacional: medidas com comprovação de tração (Noruega, China, EUA) e análise de transferibilidade ao caso brasileiro.

3.4 SÍNTSE COMPARATIVA E FORMULAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES

Com base nos quatro eixos, elaborou-se um diagnóstico cruzado entre:

1. Barreiras técnicas, econômicas e regulatórias observadas no Brasil;
2. Evidências internacionais (padrões de serviço, cronogramas, previsibilidade, instrumentos mandatórios, infraestrutura);
3. Priorização de ações por horizonte temporal e responsável.

3.5 GARANTIA DE QUALIDADE, LIMITAÇÕES E REPRODUTIBILIDADE

Qualidade: As informações foram coletadas em fontes públicas e institucionais reconhecidas, priorizando documentos recentes. Os dados foram conferidos por comparação entre fontes independentes e padronizados em unidades compatíveis. Tabelas e figuras incluem fonte e data de acesso, e os trechos numéricos passaram por revisão interna.

Tratamento dos dados: Quando diferentes documentos apresentaram números

próximos, adotou-se o mais atualizado e transparente quanto ao método. Em casos de divergência significativa, os valores foram apresentados como faixas ou acompanhados de nota explicativa. Estimativas simples foram feitas com parâmetros explícitos e estão indicadas como ilustrativas.

Limitações: O estudo não utilizou microdados horários por alimentador, nem realizou coleta primária com consumidores, oficinas ou concessionárias. Há heterogeneidade regional de informações, lacunas sobre preços de usados em alguns modelos e mudanças regulatórias em curso. Esses pontos são indicados ao longo do texto sempre que afetam a interpretação dos resultados.

3.6 MAPA DE INSUMOS E ENTREGÁVEIS

Quadro 2 – Relação entre objetivo, insumos e produto analítico

Objetivo	Insumos principais	Produto/Seção
Impacto elétrico	Consumo específico e demanda necessária	Cenários agregados e discussão de pico/horário
Economia e desvalorização	Relatórios de preço (KBB/Cox) e notas setoriais	Figuras comparativas e análise de causas/normalização
Panorama regulatório BR	Camex (cronograma), Lei do Mo-ver, incentivos estaduais	Tabelas de alíquotas e possíveis implicações
Benchmark internacional	Dossiês Noruega/China/EUA	Estudos de casos replicáveis ao Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Partindo do panorama técnico–econômico do Capítulo 2 e do percurso metodológico do Capítulo 3, este capítulo reúne as informações que respondem à pergunta de pesquisa: quais fatores limitam a adoção de VEs no Brasil e como políticas públicas e iniciativas privadas podem superá-los. Os resultados são organizados por barreiras e respectivos vetores de superação, com ênfase em implicações práticas para o contexto brasileiro.

4.1 TEMPO DE RECARGA E AUTONOMIA

O tempo necessário para recarregar um veículo elétrico e a distância que este pode percorrer com uma carga completa constituem parâmetros decisivos para sua

adoção em larga escala. Ambos os fatores têm evoluído significativamente nos últimos anos, mas ainda representam desafios técnicos e operacionais relevantes, especialmente em um país com as dimensões continentais do Brasil.

No contexto brasileiro, os sistemas de recarga são categorizados em três níveis principais, cada um com diferentes características técnicas, aplicações e impactos na rede elétrica:

4.1.1 Nível 1 - Recarga lenta em corrente alternada (CA)

Esta modalidade utiliza a infraestrutura elétrica residencial padrão sem modificações significativas, através de tomadas convencionais de 10A ou 16A (127V ou 220V). As características técnicas incluem (NeoCharge, 2024):

- **Potência:** 1,4-3,7 kW (dependendo da tensão e corrente disponíveis)
- **Ganho de autonomia:** 7-18 km por hora de recarga
- **Tempo para recarga completa:** 8-24 horas (para bateria de 40-50 kWh)
- **Corrente:** Alternada (CA), monofásica
- **Equipamento:** Cabo EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment) portátil fornecido com o veículo, com proteções integradas

O carregamento Nível 1 representa a opção mais acessível para usuários residenciais, sem necessidade de instalações dedicadas. Contudo, sua baixa potência o torna adequado apenas para híbridos plug-in ou como solução emergencial para BEVs. Do ponto de vista técnico, o impacto na rede elétrica residencial é mínimo, equivalente à adição de um ar-condicionado ou chuveiro elétrico ao sistema (NeoCharge, 2024).

4.1.2 Nível 2 - Recarga semi-rápida em corrente alternada (CA)

Representa o equilíbrio entre praticidade e custo, utilizando carregadores dedicados (wallboxes residenciais ou eletropostos comerciais) que operam em potências intermediárias (NeoCharge, 2024):

- **Potência:** 7,4-22 kW
- **Ganho de autonomia:** 35-110 km por hora de recarga
- **Tempo para recarga completa:** 2-7 horas (para bateria de 50 kWh)

- **Corrente:** Alternada (CA), monofásica, bifásica ou trifásica
- **Conector padrão no Brasil:** Tipo 2 (Mennekes)
- **Equipamento:** Wallbox residencial ou eletroposto CA

O carregamento Nível 2 requer instalação elétrica dedicada, tipicamente com disjuntor exclusivo de 32A-63A e cabeamento dimensionado para a corrente nominal. No Brasil, a maioria das residências com padrão de entrada trifásico pode acomodar carregadores de até 7,4 kW sem modificações significativas, enquanto potências superiores podem exigir aumento da capacidade do padrão de entrada ou limitação de potência via configuração do equipamento.

Um aspecto técnico relevante é a comunicação entre o veículo e o carregador, realizada através do protocolo IEC 61851, que estabelece seis estados de controle (Control Pilot) para garantir recarga segura e eficiente. Carregadores mais avançados oferecem funcionalidades como balanceamento dinâmico de carga (ajustando automaticamente a potência conforme o consumo residencial) e programação horária para aproveitamento de tarifas diferenciadas.

4.1.3 Nível 3 - Recarga rápida em corrente contínua (CC)

Representa a solução para carregamento em trânsito, possibilitando recargas em tempo comparável a paradas para refeições ou descanso (NeoCharge, 2024):

- **Potência:** 50-350 kW
- **Ganho de autonomia:** 250-1.000+ km por hora de recarga
- **Tempo para recarga de 10-80%:** 20-40 minutos (para bateria de 50-80 kWh)
- **Corrente:** Contínua (CC), fornecida diretamente às baterias, contornando o carregador embarcado
- **Conector padrão no Brasil:** CCS2, CHAdeMO, GB/T e proprietários
- **Equipamento:** Estações de recarga CC, normalmente em locais públicos, rodovias e centros comerciais

A recarga em corrente contínua apresenta complexidade técnica significativamente maior que os níveis anteriores. Neste sistema, o carregador externo assume o controle direto do processo de carga, comunicando-se com o BMS (Battery Management System) do veículo através de protocolos específicos (CAN-BUS ou

PLC) para ajustar continuamente tensão e corrente conforme o estado de carga e temperatura da bateria.

O perfil de recarga CC típico apresenta três fases distintas: corrente constante (de 0% até aproximadamente 50-60% da carga, onde a potência aumenta linearmente com a tensão da bateria); potência constante (de 50-60% até 80%, onde a corrente diminui para manter potência estável); e tensão constante (acima de 80%, onde a potência diminui progressivamente para proteger a bateria). Esta característica explica por que a maioria dos fabricantes especifica o tempo de recarga de 10% a 80%, intervalo onde a potência média é mais alta e previsível (Moura, 2023).

4.1.4 Padrões de conectores e compatibilidade

O Brasil não adotou oficialmente um padrão único de conector para recarga de VEs; por isso convivem Tipo 2/Mennekes em CA (incluindo o soquete “universal” Tipo 2, sem cabo, que utiliza o cabo do próprio veículo e, na prática, atende qualquer VE com porta Tipo 2, exclusivamente em CA), alguns legados GB/T em CA e CCS2 em CC. Na rede pública, predominam pontos com soquete “universal” Tipo 2 e/ou CCS2, o que reduz problemas de compatibilidade; ainda assim, quando necessário, recomenda-se o uso de cabos/adaptadores homologados pelo fabricante do veículo e do equipamento.

- **Tipo 1 (SAE J1772):** padrão norte-americano de recarga em corrente alternada monofásica, usualmente operando entre 3,7 kW e 7,4 kW (230 V, 32 A), a depender do carregador e da rede. O conector possui fase, neutro e terra, além de dois pinos de comunicação — control pilot (CP) e proximity pilot (PP) — responsáveis por sinalização e travamento do plugue. Em veículos que suportam carga rápida, a porta Tipo 1 pode receber dois pinos adicionais de alta corrente para formar o CCS1 (Combined Charging System tipo 1), combinando CA (na porção superior) e CC na mesma interface física. No Brasil, aparece em parte da frota importada; marcas citadas nas fontes incluem Citroën, Chevrolet, Ford, Kia, Mitsubishi, Nissan, Opel, Peugeot e Toyota.

Figura 8 – Conector Tipo 1



Fonte: (NeoCharge, 2024).

- **Tipo 2 (IEC 62196, “Mennekes”):** padrão europeu concebido para CA trifásica (também operante em monofásica), com potências usuais de até 22 kW (400 V, 32 A), superando o Tipo 1 em velocidade de recarga quando a instalação elétrica é trifásica. Estruturalmente, replica a lógica do Tipo 1 e adiciona duas fases para viabilizar o regime trifásico. Nas estações AC, o Tipo 2 pode ser ofertado com cabo fixo (tethered) ou como soquete Tipo 2 “universal” (sem cabo, Modo 3 IEC 61851), em que o usuário conecta o próprio cabo; ambas as variantes são exclusivamente CA. Para veículos com porta Tipo 1 (J1772), a compatibilidade em estações com soquete universal depende do cabo adequado (Zapmap, 2024). A evolução para carga rápida em CC ocorre ao acoplar dois pinos de potência adicionais, originando o CCS2, cuja especificação de estações/veículos pode atingir até 350 kW. Entre as marcas com compatibilidade reportada estão Audi, BMW, BYD, Mercedes-Benz, Renault, Smart, Tesla, Volkswagen e Volvo — o que explica sua ampla difusão na infraestrutura pública e residencial no país.

Figura 9 – Conector Tipo 2



Fonte: (NeoCharge, 2024).

- **GB/T 20234 (China):** em CA, é funcionalmente semelhante ao Tipo 2, com

uso típico de até 22 kW (400 V, 32 A) em redes trifásicas, porém não há compatibilidade física entre os dois (o GB/T adota gênero invertido: conectores macho nas duas extremidades do cabo e fêmea no veículo, além de diferenças de sinalização). Na versão CC, o GB/T 20234 DC chega a até 250 kW e apresenta uma particularidade técnica: alimenta simultaneamente a bateria de tração (alta tensão) e a bateria auxiliar (baixa tensão). O layout CC traz 5 pinos de alimentação (2 para a bateria principal em CC, 2 para a bateria auxiliar e 1 terra) e 4 contatos de sinal (2 PP e 2 CP). No Brasil, aparecem veículos chineses originalmente GB/T; contudo, muitas versões locais vêm com Tipo 2/CCS2 para compatibilidade com a infraestrutura regional, ou demandam cabos/adaptadores específicos quando mantêm a porta GB/T.

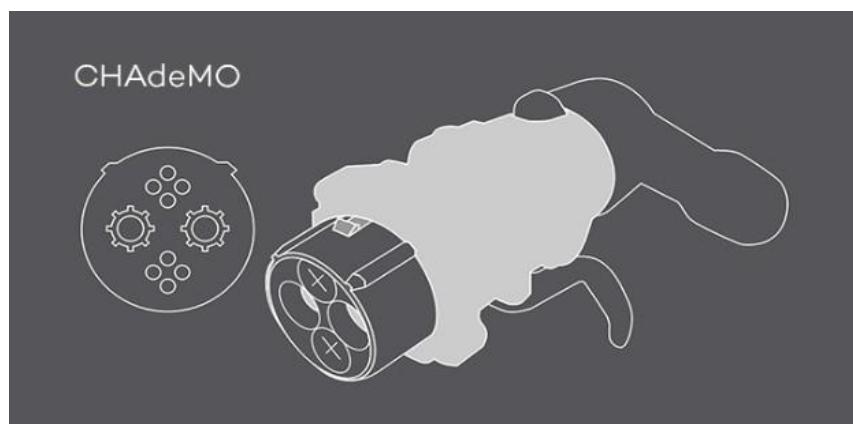
Figura 10 - Conector GB/T 20234



Fonte: (NeoCharge, 2024).

- **CHAdeMO (Japão):** padrão japonês focado em recarga rápida em CC e bidirecionalidade (base para V2G/V2X). As implementações usuais trabalham até 100 kW, mas especificações revisadas preveem até 400 kW (1.000 V, 400 A). O conector tem 3 pinos de alimentação e 6 contatos de comunicação. No mercado, esteve associado principalmente a marcas japonesas (como Nissan e Mitsubishi, além de Citroën, Honda, Kia, Mazda, Peugeot, Subaru e Tesla via adaptador em certos contextos). No Brasil, as estações rápidas costumam oferecer CCS2 e CHAdeMO na mesma unidade, garantindo interoperabilidade com a base instalada de veículos.

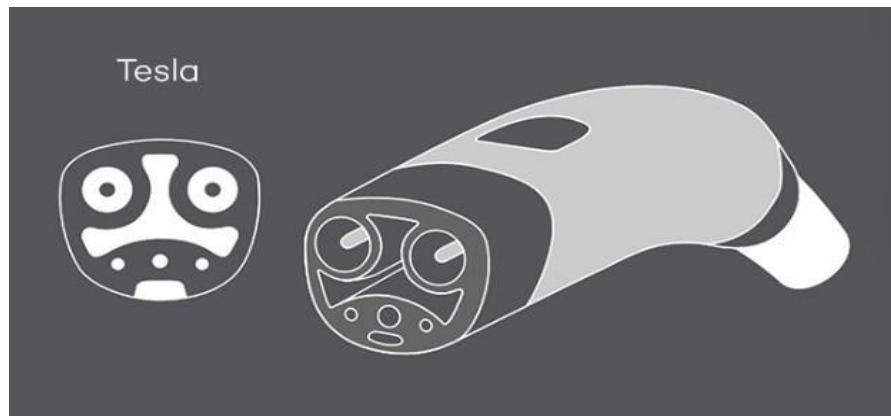
Figura 11 - Conector CHAdeMO



Fonte: (NeoCharge, 2024).

- **Combo CCS (CCS1 e CCS2):** o Sistema de Recarga Combinada (CCS) integra CA + CC na mesma porta do veículo: a parte superior é Tipo 1 (CCS1) ou Tipo 2 (CCS2) para CA, e a parte inferior acrescenta dois pinos de alta corrente para CC. Isso permite monofásico em CA, trifásico em CA e CC rápida/ultrarrápida em um único padrão físico. No Brasil, a adoção é majoritariamente CCS2, acompanhando a base europeia e a compatibilidade da maioria dos modelos vendidos localmente; diversas estações públicas de alta potência são instaladas com CCS2 (e, muitas vezes, CHAdeMO em paralelo) para cobrir a maior parte da frota.
- **Tesla (padrão próprio e compatibilidades):** a Tesla opera um conector proprietário capaz de CA e CC no mesmo plugue. Em diversos mercados, modelos Tesla utilizam também o Tipo 2 (inclusive com CC integrado para cargas ultrarrápidas) e a marca oferece adaptadores que viabilizam o uso em estações CHAdeMO e Tipo 1/CCS. As fontes destacam que o conector Tesla inclui 2 contatos de sinal e 3 pinos de alimentação, com suporte de até 150 kW, e que Superchargers podem, em certas praças, restringir o uso a veículos da própria Tesla. No Brasil, é comum a convivência com Tipo 2/CCS2 e adaptadores, o que facilita a integração com a infraestrutura local.

Figura 12 – Conector Tesla



Fonte: (NeoCharge, 2024).

Como não há um único padrão oficial nacional, a escolha do conector do veículo e do ponto de recarga precisa ser observada desde a compra/instalação, lembrando que “a tomada da estação deve ser compatível com a tomada do veículo” — ou que se deve usar cabos/adaptadores adequados. Na prática brasileira, em CA prevalecem Tipo 2 e GB/T, enquanto em CC predominam CCS2 (com presença de CHAdeMO). A expansão recente de infraestrutura e portfólios de veículos vendidos no país aponta para convergência prática em Tipo 2/CCS2, ainda que outras interfaces continuem relevantes pela diversidade da frota.

4.2 IMPACTO NA DEMANDA ELÉTRICA BRASILEIRA

A expansão da frota de veículos elétricos (VEs) impõe novos requisitos ao planejamento e à operação do sistema elétrico. Em escala global, o consumo de eletricidade associado aos VEs ainda representa fração modesta da carga total, mas cresce de forma consistente e altera a forma da curva diária de demanda, exigindo soluções de flexibilidade e sinalização temporal de preços (International Energy Agency (IEA), 2025). No Brasil, cuja matriz elétrica é majoritariamente renovável, a discussão desloca-se menos para a oferta total e mais para *quando* e *onde* a recarga ocorre (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a).

Determinantes do consumo. Em termos energéticos, o consumo adicional decorre da combinação entre: (i) tamanho e distribuição espacial da frota, (ii) padrões de uso (quilometragem anual por perfil urbano/interurbano), (iii) eficiência dos modelos (kWh/100km) e (iv) comportamento de recarga (residencial/pública; horários). Para o caso brasileiro, referências setoriais indicam consumos médios de BEVs leves entre

20,6 e 23,4 kWh/100km, com quilometragem anual típica próxima a 12,9 mil km (International Council on Clean Transportation (ICCT), 2022; Revista Carro, 2019). Esses valores produzem ordens de grandeza de 2,7–3,0 MWh/ano por VE leve, úteis para balizar cenários.

Cenários de ordem de grandeza. Considerando apenas veículos leves e mantendo o intervalo de 2,7–3,0 MWh/ano por unidade, tem-se:

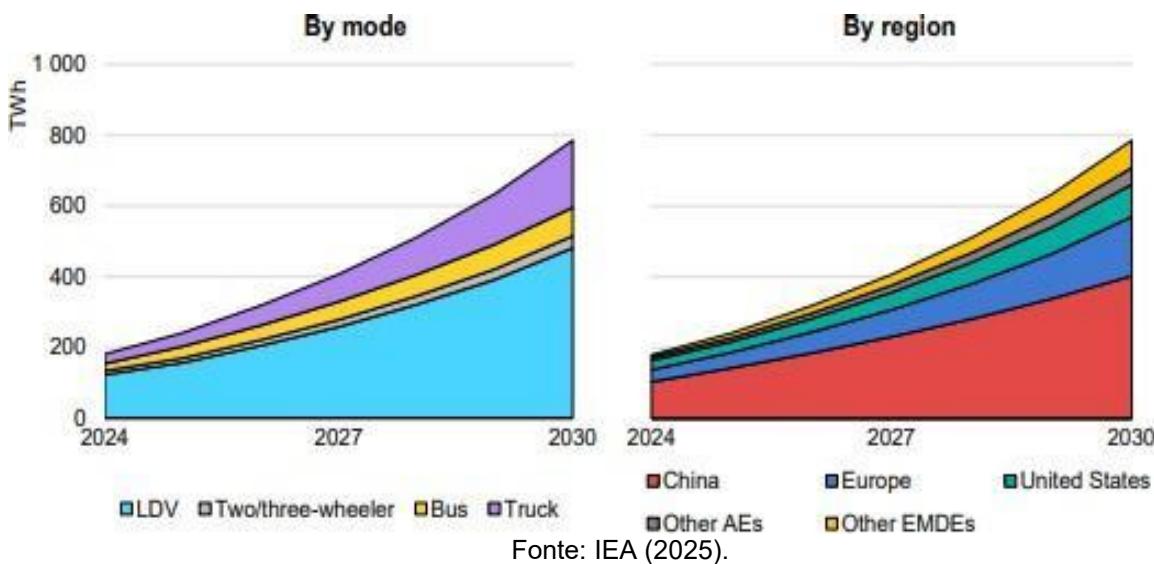
- *1 milhão de VEs*: acréscimo de ~ 2,7–3,0 TWh/ano;
- *milhões de VEs*: ~ 13,5–15,0 TWh/ano;
- *10 milhões de VEs*: ~ 27,0–30,0 TWh/ano.

Tais números são agregados nacionais e devem ser interpretados como **estimativas exploratórias**, não substituindo estudos com curva de carga real, distribuição locacional e resposta a preços. A quantificação fina de impactos exige modelagem com curvas reais de carga, distribuição locacional dos VEs e elasticidades a preços.

Em 2024, a frota global de VEs consumiu 180 TWh (aproximadamente 0,7% do consumo elétrico final), e a IEA projeta algo como 780 TWh até 2030 no cenário de políticas vigentes (STEPS), com crescimento puxado pela entrada de veículos pesados em vários mercados. Globalmente, os VEs passariam a 2,5% da eletricidade em 2030; para América Latina, a participação estimada é de 1,0%, o que sugere impacto agregado ainda modesto, mas com relevância local/horária onde a penetração se concentrar.

A Figura 13 reforça a leitura de que o consumo elétrico associado aos VEs cresce de forma acelerada até 2030, com aumento do peso relativo de segmentos pesados em vários mercados e forte heterogeneidade regional. Em termos de planejamento, a mensagem é dupla: volumes agregados permanecem administráveis no curto prazo, mas a distribuição por *modo* e *região* condiciona o impacto sobre redes de distribuição e a necessidade de sinalização temporal de preços. Essa evidência é consistente com o argumento deste capítulo de que a prioridade, no caso brasileiro, reside menos na expansão de oferta e mais na coordenação de *quando* e *onde* a recarga ocorre.

Figura 13 – Demanda de eletricidade de veículos elétricos por modo e por região (2024–2030, cenário de políticas vigentes — STEPS)



Fonte: IEA (2025).

Fatores de sensibilidade. A energia efetivamente entregue à bateria varia com (a) eficiência do trem de força e massa/área frontal (diferenças entre hatches, sedãs e SUVs), (b) topografia e tráfego (ciclos urbanos mais intensos tendem a elevar consumo específico), (c) uso de climatização (aumenta demanda elétrica, sobretudo no verão) e (d) perdas no processo de recarga (AC/DC). Além disso, a partilha entre recarga residencial e pública altera o perfil temporal e, por consequência, as perdas técnicas na rede. Essas sensibilidades explicam por que os valores médios adotados devem ser lidos como faixas e não como constantes fixas.

Relevância temporal e espacial. Mesmo quando a energia adicional é modesta no agregado, a concentração de recargas em janelas específicas — tipicamente no início da noite no contexto residencial — pode elevar picos locais e pressionar redes de distribuição em áreas de maior penetração (Cachão, 2023). Alavancas como *smart charging* e tarifas por período figuram entre as medidas prioritárias, ao deslocar recarga para horas de menor carregamento do sistema e melhorar a utilização dos ativos existentes. Evidências nacionais indicam reduções significativas da contribuição dos VEs à ponta quando há coordenação simples de horários (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2024). Em horizonte mais longo, arquiteturas *vehicle-to-grid* (V2G) ampliam a flexibilidade ao permitir que frotas estacionadas atuem como recursos energéticos distribuídos (Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), 2024).

Síntese. A mensagem central é dupla: (i) o consumo adicional dos VEs em

escala nacional tende a ser administrável, sobretudo no caso brasileiro de base renovável; (ii) os impactos *quando* e *onde* a recarga ocorre são determinantes para o planejamento de curto e médio prazos. Políticas tarifárias, gestão de recarga e coordenação com distribuidoras são decisivas para capturar benefícios (melhor uso da base renovável, redução de despacho térmico) e mitigar riscos localizados. Resultados numéricos detalhados e exercícios de sensibilidade, quando necessários, devem apoiar-se em dados locacionais e em diretrizes setoriais para projeção de demanda e avaliação de impactos da eletromobilidade (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a).

4.3 ECONOMIA E DESVALORIZAÇÃO DOS VES

A difusão de veículos elétricos (VEs) no Brasil tem sido marcada por um descompasso temporal entre *custo inicial* e *economia em uso*. Na fase recente de entrada de modelos importados e de produção local incipiente, o preço de aquisição permaneceu elevado frente a equivalentes a combustão, enquanto os ganhos operacionais (menor gasto energético por quilômetro e manutenção reduzida) já se mostravam presentes.

No eixo da **economia em uso**, destacam-se dois vetores. Primeiro, o custo energético: mesmo considerando tarifas residenciais e perdas de recarga, o custo por quilômetro tende a ser inferior ao de combustíveis líquidos em uso urbano, pelo rendimento superior do trem de força elétrico (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a). Segundo, a manutenção preventiva: a ausência de óleo de motor, correias e sistema de exaustão, somada ao menor número de partes móveis, reduz itens recorrentes e desloca o foco para pneus, filtros de cabine e verificações do sistema de alta tensão (Governo Federal do Brasil, 2023). Em conjunto, esses elementos sustentam um *custo total de propriedade* (TCO) potencialmente competitivo no médio prazo, conforme recuam custos de aquisição e financiamento (International Energy Agency (IEA), 2025).

Por outro lado, a **desvalorização de seminovos** tem sido acentuada nesta fase inicial. Estudos setoriais e levantamentos de mercado indicam quedas de valor superiores às de híbridos e veículos a combustão no primeiro e segundo anos de uso, com desvalorizações de até ~40%–47% em alguns modelos 100% elétricos em dois anos, a depender de marca, versão e momento de mercado (KBB Brasil; Cox

Automotive, 2025). As causas mais recorrentes incluem: (i) *incerteza sobre a saúde da bateria* (transparência limitada de *State of Health* e receio de custos de substituição), (ii) *rede de assistência* menos capilar e escassez de mão de obra especializada, (iii) *dinâmica de preços do zero-km* (reduções/promos comprimem o usado) e (iv) *percepção de risco* vinculada à infraestrutura pública de recarga e à cobertura de garantias.

As Figuras 14a e 14b evidenciam a **dispersão por modelo e a sensibilidade de preços** nos seminovos, mostrando que cortes no zero-km tendem a *comprimir* o preço relativo do usado, enquanto modelos com maior liquidez, transparência sobre a bateria (SOH) e rede técnica mais ampla preservam percentuais próximos à referência (p. ex., Tabela Fipe). Além disso, a leitura das distribuições por quantis indicou que o zero-km operou como teto de referência, os seminovos formaram uma banda imediatamente inferior (com sobreposição pontual a usados de maior valor) e os usados delimitaram o piso de liquidez do segmento. A largura das bandas variou substancialmente entre modelos: bandas estreitas sugeriram maior estabilidade de especificação e giro; bandas largas sinalizaram heterogeneidade e maior volatilidade (diferenças de versão, autonomia e pacotes, e sensibilidade a políticas comerciais). Reduções de preço no zero-km e lançamentos mais competitivos deslocaram e comprimiram, com defasagem temporal, as bandas de seminovos e usados, evidenciando a transmissão do preço do novo ao mercado secundário. A “vantagem” de apresentar distribuições — em lugar de um único ponto — foi tornar explícita a heterogeneidade intramarca e permitir inferências sobre liquidez, risco de revenda e sensibilidade a promoções por modelo.

Figura 14 – Comparativo por modelo dos veículos 100% elétricos no Brasil

		Jul/25	Ago/25	Média (2024)		Jul/25	Ago/25	Média (2024)		Jul/25	Ago/25	Média (2024)		
BYD MINI DOLPHIN	OKM	-1,66%	-0,72%	-0,14%	BYD DOLPHIN	OKM	-3,16%	-0,01%	-0,24%	ORA	OKM	0,10%	-3,30%	-0,03%
Seminovos	-1,08%	-0,94%	-0,87%	Usados	-	-	-	-0,63%	Usados	-	-	-0,99%		
EX30	OKM	0,00%	0,00%	-0,07%	YUAN PLUS	OKM	-1,66%	-2,16%	0,02%	E-JS1	OKM	0,49%	-1,90%	-0,51%
SEAL	Seminovos	-1,42%	-0,13%	-0,96%	Usados	-	-	-	Usados	-	-	-1,69%		
EX30	OKM	-0,02%	-0,03%	0,28%	E-KWID	OKM	0,00%	-3,27%	-2,26%	XC40	OKM	-	-	0,12%
Seminovos	0,23%	-0,54%	-0,19%	Usados	-	-	-	Usados	-	-	-1,81%			
E200B	OKM	0,81%	-0,03%	-0,19%	C40	OKM	-	-	0,11%	IX1	OKM	-0,04%	-0,03%	0,11%
Seminovos	-1,93%	-2,18%	-1,66%	Usados	-	-	-	Usados	-	-	-1,73%			

(a) Distribuição de preços entre 0 km, seminovos e usados (painel 1)

		Jul/25	Ago/25	Média (2024)		Jul/25	Ago/25	Média (2024)		Jul/25	Ago/25	Média (2024)			
E-TRANSIT	OKM	0,01%	0,01%	0,09%	BYD ET3	OKM	-	-	-	MINI COOPER S	OKM	-	-	-0,50%	
Seminovos	-0,32%	-0,16%	0,12%	Usados	-0,51%	0,21%	-	Usados	-1,25%	-4,26%	-0,71%	Usados	-	-0,57%	
IX3	OKM	0,25%	-0,02%	-0,15%	KANGOO	OKM	-1,40%	-0,36%	0,74%	TAN	OKM	0,00%	0,01%	-1,09%	
Seminovos	-1,76%	-0,85%	-1,21%	Usados	-2,57%	-1,62%	-	Usados	-0,75%	-0,15%	0,37%	Usados	-0,13%	-3,26%	-1,16%
MUSTANG	OKM	-	-	-0,87%	ID4	OKM	-	-	-	EJV5	OKM	-1,03%	-0,13%	-0,17%	
Seminovos	-3,49%	-3,25%	-1,19%	Usados	-0,03%	-3,27%	-	Usados	-	-	-	Usados	-0,13%	-0,08%	-0,77%

(b) Distribuição de preços entre 0 km, seminovos e usados (painel 2)

Fonte (KBB Brasil; Cox Automotive, 2025)

A aceitação no mercado de seminovos reflete essas fricções: relatórios de preço relativo frente à Tabela Fipe mostram grande variação entre marcas, com alguns modelos mantendo percentuais próximos aos de referência e outros exigindo descontos maiores para girar estoque. Com aumento da base circulante, garantias de bateria mais claras (com métricas auditáveis de SOH) e expansão de oficinas credenciadas, a tendência é de *normalização* das curvas de depreciação — padrão observado em mercados mais maduros (International Energy Agency (IEA), 2025).

Do ponto de vista **cronológico**, a trajetória recente no Brasil pode ser resumida em três etapas: (1) *entrada*, com custo inicial elevado e ganhos operacionais já presentes; (2) *ajuste de mercado*, com compressão do preço relativo do usado diante de reduções no zero-km e novos lançamentos; e (3) *convergência*, com estabilização gradual das taxas de desvalorização à medida que infraestrutura, assistência e

transparência da bateria se consolidam. A velocidade de transição entre as etapas depende de volume de vendas, competição de preços, política industrial e padronização de métricas no mercado secundário (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a; International Energy Agency (IEA), 2025).

4.4 POLÍTICAS PÚBLICAS E INICIATIVAS PRIVADAS: CAMINHOS PARA A SUPERAÇÃO

Esta seção aprofunda os determinantes da adoção de veículos elétricos no Brasil, articulando quatro frentes: custo total de propriedade, oferta e disponibilidade de modelos, infraestrutura de recarga e arcabouço regulatório/incentivos. O objetivo é consolidar indicadores e implicações para o ritmo de penetração no país e preparar.

4.4.1 Experiências Internacionais Bem-Sucedidas

A transformação da mobilidade global em direção à eletrificação tem sido impulsionada por políticas públicas assertivas em diversos países. Analisar estas experiências internacionais oferece insights valiosos para o contexto brasileiro, permitindo identificar estratégias eficazes e adaptáveis às particularidades nacionais.

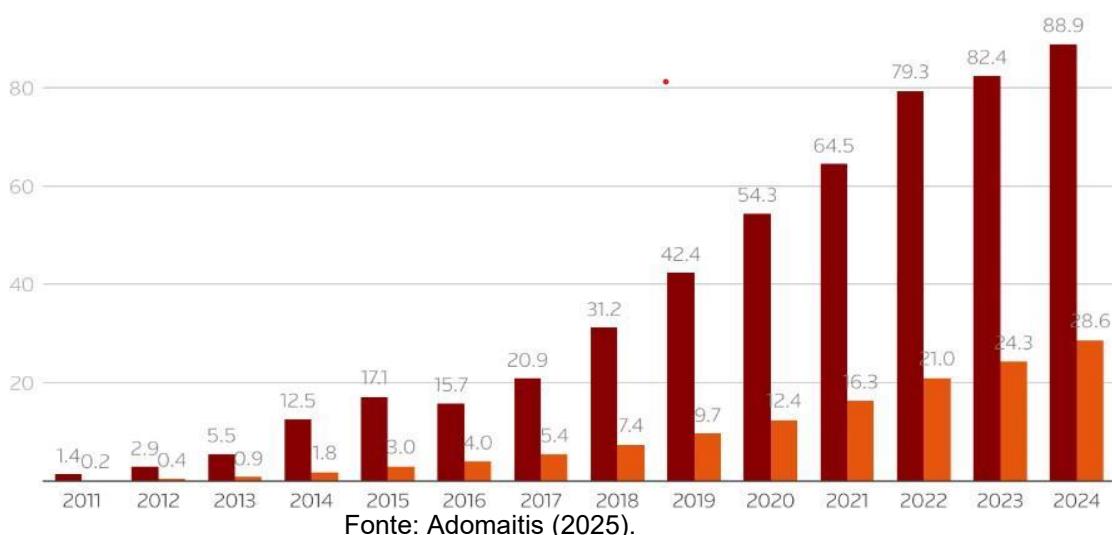
4.4.1.1 O modelo norueguês: referência global em eletrificação

A Noruega é o caso mais avançado de eletrificação na venda de carros novos. Em 2024, 88,9% das vendas foram 100% elétricos, frente a 82,4% em 2023, segundo a federação rodoviária (OFV) reportada pela Reuters. Em 2025, a participação mensal chegou a 98,3% (setembro) e, no acumulado jan-set, 95% — mantendo o país a um passo da meta de 100% das vendas de “emissão zero” (Adomaitis, 2025).

Figura 15 – Participação de carros 100% elétricos nas vendas de novos automóveis na Noruega (2013–2024)

Zero-emission cars reach nearly 90% of new car sales in Norway in 2024

● Share of new passenger car sales ● Share of total passenger car fleet

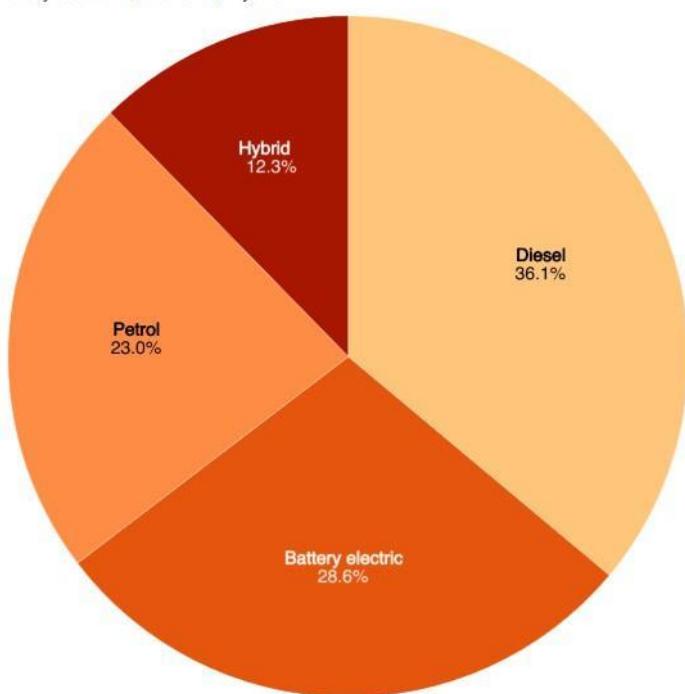


Fonte: Adomaitis (2025).

É crucial separar fluxo (vendas) de estoque (frota). Ao final de 2024, os BEVs já eram 28,6% da frota norueguesa e superaram os carros puramente a gasolina; a frota total ainda não ultrapassa 50% elétricos, mas cresce rapidamente.

Figura 16 – Participação de BEVs na frota norueguesa (estoque), fim de 2024
Norway passenger car fleet at end-2024

● Diesel ● Battery electric ● Petrol ● Hybrid



Fonte: Adomaitis (2025).

O pacote norueguês combina:

- 1** Forte diferencial tributário pró-zero emissão.
- 2** Benefícios de uso administrados localmente com tetos nacionais.
- 3** Metas quantitativas estáveis: desde 2016/2017, objetivo de 100% das vendas novas serem de emissão zero até 2025.

Sobre tributação, por anos, os BEVs foram isentos de IVA (25%) e do imposto de aquisição (muito alto nos carros poluentes). A partir de 2023, a isenção de IVA passou a valer somente até NOK 500 mil (no excedente aplica-se IVA) e foi introduzido um componente de imposto por peso nos BEVs. A lógica permanece “poluidor-pagador”: manter altos impostos para veículos de maiores emissões e alívio para zero emissão — com ajuste gradual conforme o mercado amadurece (Norwegian EV Association (Norsk elbilforening), s.d.).

Sobre benefícios de uso, o governo nacional define limites e municípios executam:

- **Pedágios:** regra nacional de até 50% da tarifa de um carro a combustão (e, em revisões recentes, teto de 70%), com variações locais.
- **Balsas (ferries):** BEVs pagam até 50% da tarifa.
- **Faixas de ônibus:** acesso permitido, podendo ser limitado por decisão local (carona, horários).
- **Estacionamento:** muitas isenções viraram descontos, calibrados por município.

Mesmo com os ajustes de 2023, as renúncias de receita para BEVs custaram NOK 43 bilhões em 2023 (US\$ 3,9 bi), segundo o orçamento citado pela Reuters. A estratégia de longo prazo tem sido recalibrar gradualmente (ex.: IVA parcial, imposto por peso), sem romper o diferencial relativo pró-zero emissão (Adomaitis, 2025).

A política caminhou junto com a infraestrutura. A Noruega estabeleceu cobertura de carga rápida nos principais corredores e facilitou a instalação em condomínios com um “direito de recarga” (regras nacionais que amparam o morador a solicitar o ponto, cabendo ao condomínio viabilizar tecnicamente). O resultado é uma rede capilar de alta potência nas rodovias e AC residencial nos centros urbanos, que sustenta o uso cotidiano e viagens longas (Norwegian EV Association (Norsk elbilforening), s.d.).

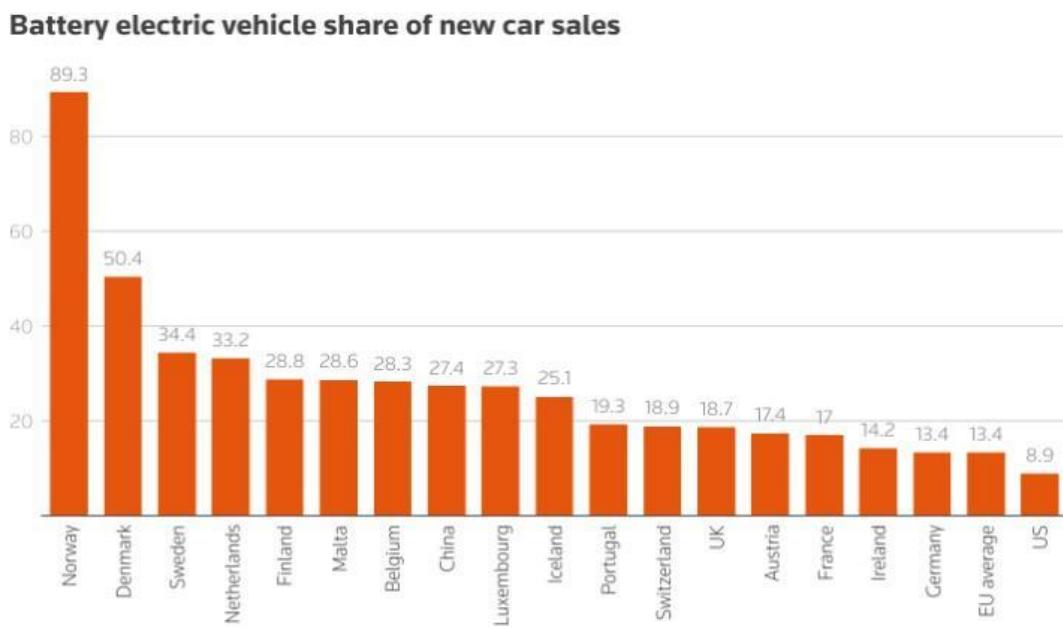
Fases de eletrificação da Noruega e o que está acontecendo agora:

- **Arranque (1990–2010)**: incentivos a early adopters; isenções em tributos e pedá-gios.
- **Escala (2010–2020)**: BBEV competitivo em TCO; queda de preço; expansão acelerada de recarga.
- **Ajuste (2020–presente)**: redução/segmentação de incentivos (IVA parcial e im-posto por peso desde 2023) mantendo a meta 2025 e novas metas para veículos pesados até 2030; em 2025, o governo debate ampliar a tributação e reduzir gradualmente isenções para massificar o equilíbrio fiscal, preservando a prioridade ao zero-emissão.

Portanto, vemos algumas lições transponíveis da Noruega ao Brasil, que seriam:

- 1** Previsibilidade: metas claras por ano-alvo e cronograma de revisão de incentivos.
- 2** Diferencial tributário como “âncora” (não apenas subsídio orçamentário).
- 3** Benefícios com teto nacional e execução local (por exemplo, pedágios).
- 4** Direito à recarga em condomínios e corredores rápidos priorizados.
- 5** Recalibração gradual à medida que a paridade de custo chega — sem choques de política.

Figura 17 – Participação de BEV nas vendas de carros novos (2024, %) — comparação internacional



Para contextualizar o desempenho norueguês frente a outros mercados, a Figura 17 compara a participação de BEVs nas vendas de 2024 entre países europeus e EUA.

Vemos que a Noruega lidera com folga, seguida por Dinamarca e Suécia; esse contraste ajuda a entender quais peças de política pública se repetem nos países mais avançados, tema das subseções seguintes.

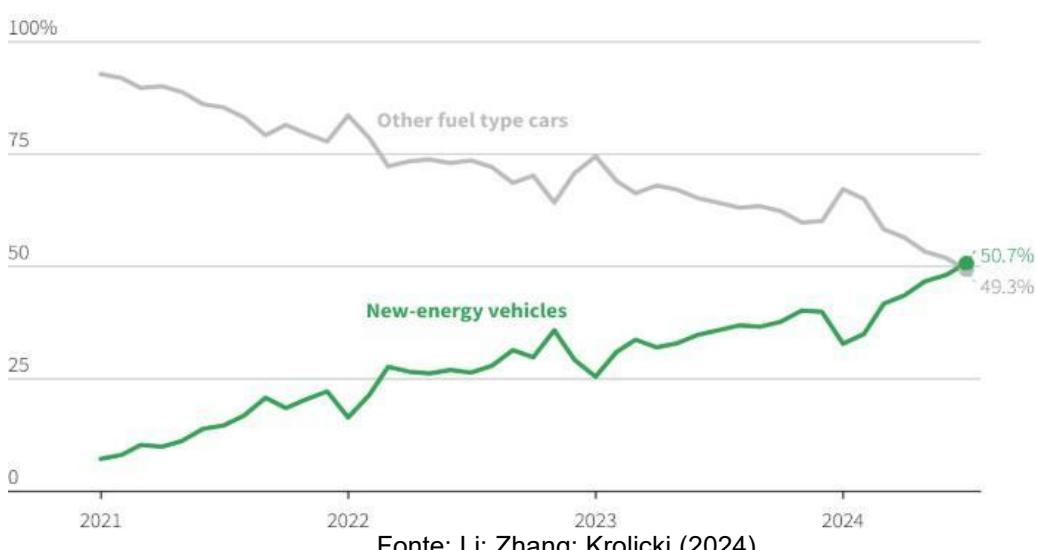
4.4.1.2 O modelo chinês: política industrial e massificação

A China combinou política industrial com escala para se tornar, ao mesmo tempo, o maior mercado e o maior produtor de veículos eletrificados do mundo. Em 2024, as vendas de “NEVs” (BEV+PHEV) atingiram patamar próximo de 50% de participação no mercado doméstico no ano, com meses acima de 50% a partir de julho de 2024 segundo a associação do setor (CPCA) (Li; Zhang; Krolicki, 2024).

Figura 18 – China: participação mensal de NEVs nas vendas (2023–2024)

NEV sales cross the halfway mark in July

New energy vehicle sales accounted for 50.7% of the total vehicle sales in China in July 2024, a record monthly high.



Fonte: Li; Zhang; Krolicki (2024)

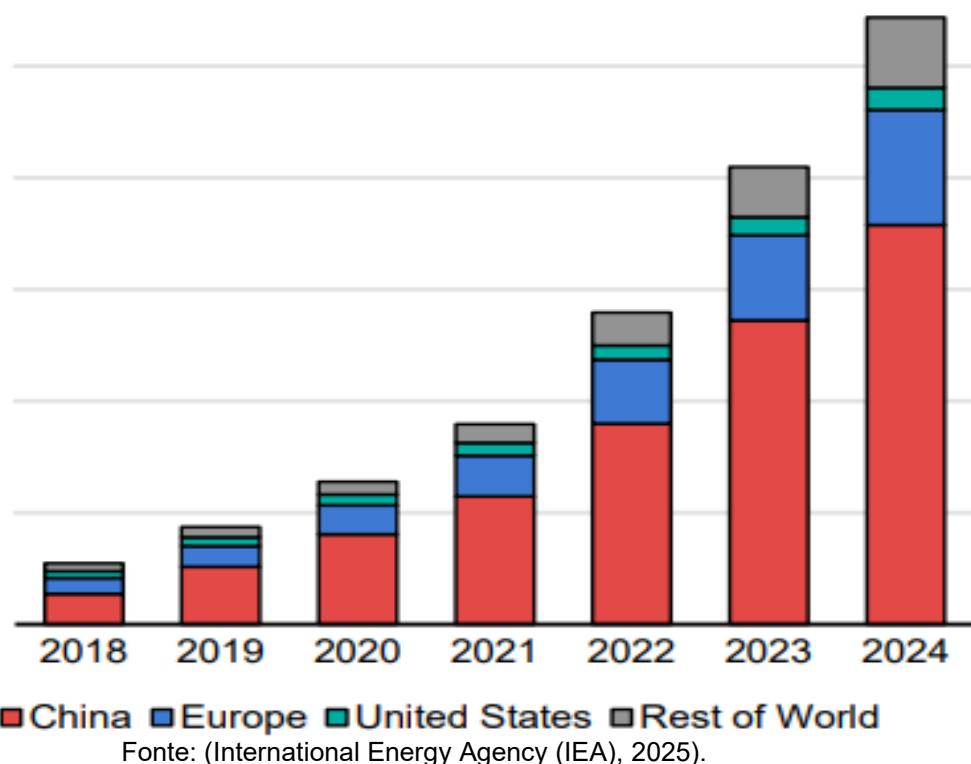
No contexto global, a China respondeu pela maior parte das vendas de elétricos em 2024/2025, e concentra a maior base instalada de veículos elétricos leves (LDVs). Essa dominância em escala de demanda é um dos pilares da queda de custos e da rápida curva de aprendizado do ecossistema local (International Energy Agency (IEA),

2025).

O arranjo de políticas funciona da seguinte forma:

- **Política industrial de cadeia completa:** A estratégia cobre P&D, manufatura e insumos (incluindo químicas de bateria como LFP e projetos-piloto em íon de sódio), além de logística, padronização e infraestrutura. A escala doméstica sustenta investimentos e especialização, e a política se ajusta por metas setoriais e instrumentos de mercado (International Energy Agency (IEA), 2025).
- **Regulação mandatória via créditos (NEV):** Desde 2017, montadoras precisam cumprir metas mínimas anuais de créditos NEV (mecanismo inspirado no ZEV da Califórnia). A Fase 2 elevou as exigências até 2023 (14% → 18% em créditos), reduziu o crédito por veículo (tornando o requisito mais apertado) e passou a incluir veículos eficientes como opção parcial de conformidade, com regras de “banking”/carregamento de créditos. O sistema é a espinha dorsal da oferta de produtos elétricos no país (Cui, 2018).
- **Incentivos ao consumidor calibrados:** Após o fim dos subsídios federais diretos à compra em 2022, a demanda foi ancorada por isenção/redução do imposto de compra (com parâmetros definidos por período) e por benefícios locais de trânsito/licenciamento em grandes cidades. O ponto central é a previsibilidade: regras com janela plurianual mitigam a volatilidade do mercado e dão segurança para a indústria (International Energy Agency (IEA), 2025).
- **Infraestrutura pública em escala:** Em 2024, o mundo adicionou >1,3 milhão de pontos públicos de recarga; a China respondeu por 2/3 do crescimento desde 2020 e hoje concentra 65% do estoque global de carregadores públicos, liderando tanto em corrente alternada quanto em carga rápida. Essa capilaridade, apoiada por utilities e governos locais, evita “engarrafar” a adoção (International Energy Agency (IEA), 2025).

Figura 19 – Estoque global de pontos públicos de recarga por região (2018–2024)



■ China ■ Europe ■ United States ■ Rest of World

Fonte: (International Energy Agency (IEA), 2025).

A política induziu um portfólio amplo: de microcarros urbanos de entrada a PHEVs de longo alcance e BEVs médios, permitindo que a demanda avançasse em vários segmentos de preço. Essa amplitude, somada à escala e à infraestrutura, explica a rápida difusão dos NEVs no mercado chinês.

Portanto, as lições transponíveis da China ao Brasil seriam:

- 1 Estabilidade regulatória (metas plurianuais e mecanismos de obrigação — créditos NEV).
- 2 Escala de infraestrutura pública, sobretudo DC nos corredores e AC urbana.
- 3 Portfólio amplo para atingir diferentes pontos de preço e usos (urbano/familiar/frota).
- 4 Previsibilidade tributária em janelas de 3–4 anos para o lado da demanda.

4.4.1.3 O modelo estadunidense: integração com a transição energética

O caso norte-americano combina política industrial (créditos ao consumidor e incentivos à manufatura) com um programa federal de infraestrutura de recarga por corredores interestaduais (NEVI). O desenho traz padrões mínimos de qualidade

(uptime e transparência de preço), critérios de elegibilidade para o crédito ao consumidor que induzem conteúdo local e cadeias domésticas de baterias, e compras públicas/frotas que aceleram a demanda. Os resultados incluem expansão rápida da rede — ainda que com ramp-up operacional mais lento do que o originalmente esperado — e um mercado com crescente participação de VEs em frotas corporativas e utilitárias (International Energy Agency (IEA), 2025).

O programa National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI), estabelecido pela Bipartisan Infrastructure Law, financia estações DCFC em corredores designados, com requisitos federais uniformes:

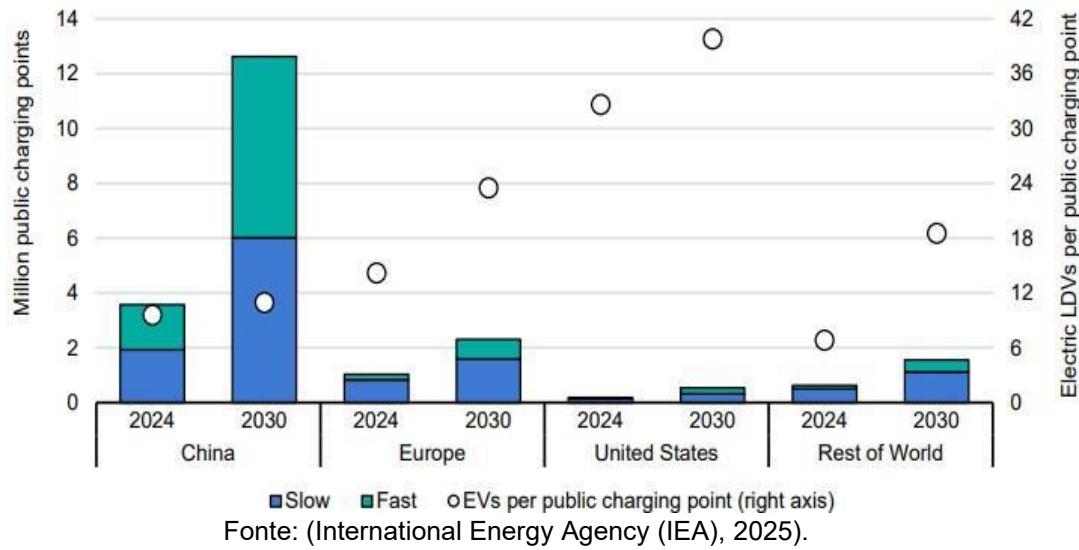
- **Qualidade/reliabilidade:** cada porta de recarga deve manter uptime médio anual 97%.
- **Transparência de tarifa:** o preço em \$/kWh deve ser mostrado antes do início da sessão, e não pode variar durante a cobrança; quaisquer taxas adicionais precisam ser exibidas e explicadas.
- **Disponibilidade:** estações em corredores devem ser acessíveis 24/7.
- **Meios de pagamento e interoperabilidade:** com regras mínimas para uso público e roaming. Esses critérios criam um “piso” nacional de serviço que reduz assimetria entre estados e redes.

Nos Estados Unidos, tem a política ao consumidor (IRA/IRS). O crédito federal para “new clean vehicles” (seção 30D) oferece até US\$ 7.500, condicionado a: montagem final na América do Norte, bateria \geq 7 kWh, limites de preço e renda, e atendimento a requisitos graduais de componentes de bateria e minerais críticos (aplicados desde 2023 e apertando ao longo do tempo). Desde 2024, o crédito pode ser transferido no ponto de venda, reduzindo o preço de imediato para o comprador, o que melhora a financiabilidade e a adoção fora das faixas de renda mais altas (Internal Revenue Service (IRS), 2025).

É possível ver evidências de tração e gargalos. Em 2024, a rede pública dos EUA cresceu 20% e chegou a pouco menos de 200 mil pontos de recarga. Apesar do impulso do NEVI, a execução física foi gradual no primeiro ciclo: até o final de 2024, apenas uma fração do orçamento havia se convertido em estações em operação, refletindo a curva de aprendizado regulatória e de padronização. Ainda assim, o conjunto NEVI + créditos ao consumidor + políticas estaduais/municipais de frotas vem sustentando o efeito demonstração em corredores e polos urbanos (International Energy Agency (IEA), 2025).

Figura 20 – Pontos públicos de recarga por região (2024 vs. 2030)

Number of public light-duty vehicle charging points by region in the Stated Policies Scenario, 2024-2030



Dessa forma, vemos que as lições transponíveis dos Estados Unidos ao Brasil seriam:

1. Padrões mínimos nacionais (uptime, transparência tarifária, acesso 24/7 em corredor-res) elevam a confiança do usuário e reduzem “estação fantasma”.
2. Incentivo com contrapartida industrial (critérios de bateria/minerais + montagem local) pode orientar a cadeia produtiva e logística de componentes, desde que com previsibilidade e cronograma escalonado.
3. Ponto de venda: a transferência imediata do crédito no dealer simplifica a captura do benefício e pode ser um desenho inspirador para mecanismos brasileiros (ex.: descontos financiados ou bônus fiscais operados por agentes credenciados).

4.4.2 Panorama Atual das Ações no Brasil

À luz das experiências internacionais, o caso brasileiro transita de um arranjo focado em acesso via importação para um desenho que combina *recomposição tarifária* e *incentivo por desempenho tecnológico*. Até o fim de 2023, vigoraram isenções ou reduções amplas do imposto de importação de veículos eletrificados. A partir de 2024, a Camex iniciou a **retomada gradual do Imposto de Importação** com

cronograma por tecnologia, resumido na Tabela 2, de modo a reequilibrar a proteção comercial e sinalizar previsibilidade para a formação de base produtiva doméstica (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), 2023).

Observa-se que as alíquotas retornam ao patamar de 35% em julho de 2026 para os três grupos, com rampas semestrais diferenciadas entre BEV, PHEV e HEV. Essa recomposição tende a afetar a precificação de modelos importados no curto prazo, ao mesmo tempo em que cria um horizonte de previsibilidade para investimentos locais.

Tabela 2 – Cronograma de recomposição do Imposto de Importação para veículos eletrificados (Camex)

Tecnologia	Jan/2024	Jul/2024	Jul/2025	Jul/2026
BEV	10%	18%	25%	35%
PHEV	12%	20%	28%	35%
HEV	15%	25%	30%	35%

Fonte: Elaborado pelos autores com base em (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), 2023).

Em paralelo, o **Programa Mover** (Lei 14.902/2024) reposicionou o incentivo federal: menos renúncia ampla na compra e mais *bônus–malus* atrelado a **eficiência e emissões**, com *crédito financeiro* condicionado a **P&D** e conteúdo tecnológico. Na prática, o IPI torna-se instrumento de *inovação e descarbonização*, premiando configurações mais eficientes independentemente do trem de força e induzindo investimento local (Presidência da República, 2024). No plano subnacional, permanecem *tratamentos diferenciados de IPVA* e ajustes de ICMS por estados, formando um mosaico que afeta o *custo total de propriedade* (TCO) de forma heterogênea.

Para consolidar as frentes de atuação, a Tabela 3 sintetiza o foco, o mecanismo e o estágio de implementação das principais medidas tributárias. Nota-se que a recomposição tarifária (Camex) atua sobre preço relativo no curto prazo, enquanto o Mover reorienta o incentivo para eficiência e conteúdo tecnológico; o PDE/EPE e os incentivos subnacionais complementam a coordenação setorial e o TCO.

Do ponto de vista setorial, o caderno de eletromobilidade do PDE 2034 ressalta a importância de coordenar expansão da frota com *redes de distribuição, sinalização temporal de preços e gestão de recarga*, de modo a capturar benefícios sistêmicos da

base renovável brasileira e mitigar impactos locacionais (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a). Em conjunto, as mudanças recentes podem ser lidas como: (i) *fase de ajuste* de preços no zero-km, decorrente da recomposição tarifária; (ii) *recalibração* do incentivo federal em direção a metas de eficiência e conteúdo tecnológico; e (iii) *padronização gradual* de práticas que favorecem a aceitação no mercado secundário (transparência sobre bateria, assistência técnica e interoperabilidade de recarga).

O Brasil sai de um ciclo de estímulo principalmente na *frente comercial* (importação) para um arranjo que combina *industrialização e eficiência* (Mover) com *coordenação setorial* (PDE/EPE). Essa transição explica parte do ajuste recente de preços e estabelece as bases para ganhos de escala e redução de custos no médio prazo, sem perder de vista a necessidade de gestão temporal e locacional da recarga nas redes.

Tabela 3 – Ações recentes no Brasil para eletromobilidade: foco, mecanismo e estágio (consolidado)

Medida	Foco e mecanismo	Estágio (2024–2025)
Retomada gradual do Im-posto de Importação (Ca-mex)	Reequilíbrio da proteção comercial com cronogramas por tecnologia (BEV/PHEV/HEV) e cotas; transição de estímulo amplo na importação para previsibilidade e base produtiva doméstica	Cronograma iniciado em 2024, com etapas subsequentes já definidas (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC, 2023))
Programa Mover (Lei 14.902/2024)	Redesenho do incentivo federal: <i>bônus–malus</i> via IPI por eficiência e emissões; crédito financeiro atrelado a P&D e conteúdo tecnológico local	Lei sancionada e regulamentação/ execução em curso por ciclos anuais (Presidência da República, 2024)
PDE 2034 — Caderno de Eletromobilidade (EPE)	Coordenação setorial: cenários de adoção; ênfase em gestão temporal da recarga, planejamento de redes e sinalização de preços	Referência para planejamento energético e alinhamento com distribuidoras (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a)
Incentivos subnacionais (IPVA/ICMS)	Isenções/reduções de IPVA e ajustes de ICMS segundo regras estaduais; impacto direto no TCO e na aceitação do seminovo (mosaico heterogêneo)	Vigência contínua e assimétrica entre estados; monitoramento permanente pelos estados locais

Fonte: Elaborado pelos autores com base em (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), 2023; Presidência da República, 2024; Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024a).

4.4.3 Lacunas e Desafios no Contexto Nacional

O arranjo brasileiro combinou avanços recentes — expansão do número de pontos públicos, maior presença de VEs em frotas e início de coordenação setorial — com gargalos estruturais que ainda limitam escala e previsibilidade. A leitura do Capítulo 2 indica quatro frentes críticas: (i) infraestrutura pública de recarga e padrões de qualidade, (ii) economia do usuário e mercado de seminovos, (iii) regulação e tributação e (iv) coordenação com o sistema elétrico. A concentração regional dos pontos e a heterogeneidade de serviço continuam sendo obstáculos centrais à difusão fora dos grandes centros; as Figuras 1 e 2 já mostraram a assimetria territorial (predominância do Sudeste) e a tipologia dominante de carregadores, com AC semirrápido (7–22 kW) prevalecendo sobre DC rápido/ultrarrápido — desenho que atende bem a recargas de oportunidade urbanas, mas ainda é insuficiente para viagens intermunicipais de alta rotatividade.

Infraestrutura e padrões de qualidade

A expansão física precisa vir acompanhada de previsibilidade de serviço (disponibilidade mínima, transparência de preço e métodos de pagamento interoperáveis). Sem um “piso” nacional de qualidade, a experiência do usuário permanece irregular e parte dos equipamentos opera com baixa confiabilidade ou subutilização, encarecendo o serviço e reduzindo a confiança do consumidor. As evidências setoriais discutidas neste capítulo e os benchmarks internacionais reforçam que estoque de pontos por si só não garante qualidade de atendimento: a adequação depende também da razão veículos por carregador e do tempo efetivo de operação de cada porta de recarga, parâmetros que sustentam a percepção de disponibilidade e a redução de “estações fantasma”.

Economia do usuário e seminovos

Embora o custo por quilômetro e a manutenção tendam a favorecer o VE ao longo do uso, o mercado de usados permanece um elo fraco do ciclo de adoção. A desvalorização acima da média, combinada com incerteza tributária (regras estaduais distintas de IPVA/benefícios) e com avaliação pouco padronizada da saúde

de bateria, deteriora o TCO percebido e restringe o crédito automotivo para camadas mais amplas de consumidores. A harmonização de critérios de avaliação (SoH) e uma sinalização tributária estável em horizonte plurianual são condições para destravar liquidez e reduzir o “prêmio de risco” embutido no financiamento.

Regulação e tributação

O mosaico de medidas em implantação — mapeado na Tabela 3 — aponta na direção certa, mas carece de estabilidade intertemporal e simplificação para orientar decisões de capacidade produtiva, portfólio e precificação ao longo do ciclo 2025–2030. Na prática, a ausência de um roteiro previsível (cronogramas de conteúdo/eficiência, critérios de elegibilidade, coordenação federativa) eleva a incerteza para novos investimentos e pressiona o repasse de custos ao consumidor final. Consolidar esse roteiro e harmonizar regras subnacionais tende a reduzir volatilidade e melhorar o ambiente concorrencial.

Coordenação com o sistema elétrico

Do ponto de vista energético, o impacto agregado da eletromobilidade é administrável no curto prazo; a própria Figura 13 destaca que o crescimento do consumo elétrico de VEs até 2030 é relevante, porém menor no agregado quando comparado ao tamanho do sistema, com forte heterogeneidade regional e por modo. O desafio brasileiro é principalmente temporal e locacional: quando e onde recarregar define o estresse sobre redes de distribuição. Sinais tarifários por período, smart charging e, em horizonte mais longo, integrações V2G, são instrumentos que reduzem a contribuição à ponta, adiam reforços de rede e elevam o fator de utilização dos ativos existentes. A mensagem é coerente com a análise já desenvolvida: mais que ampliar oferta de energia, é necessário organizar a demanda da recarga no tempo e no espaço.

Síntese e implicações para políticas

Em suma, as lacunas críticas estão menos em “quantos pontos” e mais em como operá-los (padrões mínimos de serviço, interoperabilidade e transparência) e

como integrá-los aos sinais do sistema elétrico. Do lado do usuário, reduzir incerteza de valor residual e padronizar avaliação de baterias são determinantes para melhorar financiamento e acelerar a difusão para além de nichos de maior renda. Por fim, estabilidade regulatória e harmonização tributária completam o tripé que dá previsibilidade à indústria.

4.4.4 Propostas de Políticas Públicas

As propostas a seguir derivam diretamente das lacunas mapeadas na seção anterior e das ações já em curso no país, consolidadas na Tabela 3 (Camex, Mover, PDE/EPE e incentivos subnacionais). O objetivo é dar previsibilidade, elevar a qualidade de serviço na recarga pública e integrar a expansão da eletromobilidade ao planejamento energético, orquestrando instrumentos existentes em vez de criar novos arranjos regulatórios.

- **Padrões mínimos nacionais para recarga pública:** Para resolver a experiência heterogênea de recarga e a baixa confiabilidade em parte da rede pública, uma proposta é instituir padrões mínimos nacionais de qualidade que tornem explícitos requisitos de disponibilidade por porta (uptime), transparência de preço (R\$/kWh exibido antes da sessão, com regras claras para taxas), acesso 24×7 nos corredores prioritários e interoperabilidade/roaming com meios universais de pagamento. A definição desse “piso” de serviço endereça a principal fricção do usuário — saber se e quanto vai pagar, quando a estação está operacional e como pagar — e alinha incentivos do operador a métricas auditáveis (uptime médio anual, percentual de estações que exibem preço antes do início e cobertura 24×7 em eixos estratégicos). A medida dialoga com o enfoque do planejamento setorial (PDE/EPE) em coordenação e qualidade de atendimento, deslocando o debate de “quantos pontos” para “quão confiáveis e acessíveis são esses pontos”.
- **Programa “Corredores BR-DC” (rodovias):** Para superar a insuficiência de DC rápido/ultrarrápido em viagens intermunicipais, propõe-se um programa federal de corredores de recarga rápida em rodovias, com metas de cobertura por distância (por exemplo: um conjunto mínimo de estações a cada X km), cronograma casado com concessões/PPPs e governança

que integre União, estados e concessionárias. A priorização deve considerar fluxos de tráfego e integração logística, garantindo previsibilidade ao investimento privado e padronização de serviço onde a demanda é mais sensível ao tempo de abastecimento. O programa deve ser articulado ao PDE/EPE para que a expansão física venha acompanhada de planejamento elétrico locacional, e seu acompanhamento pode usar indicadores como percentual de cobertura, tempo médio de espera e participação de DC no total de pontos dos eixos selecionados.

- **Seminovos: laudo padronizado de bateria (SoH) e previsibilidade tributária:** Para reduzir o TCO percebido e ampliar o acesso a crédito no mercado de usados — elo frágil já identificado no trabalho — recomenda-se a adoção de um protocolo mínimo de laudo de saúde de bateria (State of Health, SoH) aceito por bancos e seguradoras, aliado à harmonização plurianual das regras de IPVA para VEs nos estados. A padronização do SoH dá lastro técnico ao valor residual, reduz a incerteza para financiadores e compradores e pode ser exigida como condição para taxas mais competitivas, ao passo que previsibilidade tributária evita variações abruptas que distorcem preços e retraiem a demanda. O sucesso dessa agenda pode ser acompanhado pela convergência do spread de financiamento VE-vs-ICE, pela queda da depreciação média em 12/24/36 meses e pelo percentual de transações com laudo SoH aceito no sistema financeiro.
- **Sinal tarifário por período e “smart charging” na baixa tensão:** Para mitigar o risco temporal/locacional de sobrecarga nas redes de distribuição, a proposta é ampliar o acesso a tarifas por período (TOU/horosazonais) para residências e comércios e difundir gestão de carregamento (smart charging) como prática padrão em pontos privados e semi-públicos, preparando pilotos para V2G no médio prazo. A Figura 13 sustenta que, no agregado, o impacto adicional de consumo é administrável; o desafio é quando e onde ocorre a recarga, algo que sinais temporais e controle de potência endereçam de forma custo-eficiente. Resultados podem ser medidos por maior participação de recargas fora da ponta, redução da contribuição do VE à demanda de pico em áreas piloto e número de pontos com controle ativo de potência, em linha com a ênfase do planejamento

setorial em coordenação entre expansão de carga e rede.

- **Previsibilidade industrial 2025–2030 (Camex + Mover + PDE/EPE):** Para fortalecer o sinal de portfólio e produção local e reduzir volatilidade de preços ao consumidor, propõe-se publicar um roteiro plurianual (2025–2030) que consolide o cronograma da Camex para recomposição do imposto de importação por tecnologia (como sintetizado na Tabela 2), os parâmetros do Mover (bônus–malus via IPI, P&D e conteúdo tecnológico) e as diretrizes do PDE/EPE quanto à coordenação com a rede. A transparência desse roteiro orienta decisões de capacidade produtiva e conteúdo local, ancora expectativas e reduz prêmios de risco na formação de preço. A efetividade pode ser acompanhada por anúncios de capacidade e conteúdo local, estabilidade de preços por faixa e aumento da participação de VEs nas vendas ao longo do período, com a Tabela 3 servindo de painel de acompanhamento das medidas.

O conjunto de propostas organiza instrumentos já em implementação — notadamente a recomposição tarifária da Camex, o Mover e as diretrizes de planejamento do PDE/EPE — para enfrentar lacunas de qualidade de serviço na recarga pública, financiamento do mercado de seminovos, sinalização temporal do consumo e previsibilidade industrial. A eficácia dessas medidas pode ser acompanhada pelos indicadores consolidados na Tabela 3 e pelos efeitos sobre a demanda elétrica discutidos na Figura 13.

4.4.5 Contribuições Potenciais do Setor Privado

A efetividade das políticas delineadas na seção anterior depende da capacidade de execução do setor privado ao longo de toda a cadeia: operadores de recarga (CPOs), montadoras e concessionárias, locadoras e frotistas, instituições financeiras e seguradoras, utilities e integradores de energia, além de varejo e real estate. Do ponto de partida mapeado neste trabalho — concentração regional de eletropostos e predominância de AC semirrápido (Figuras 1e 2), cronograma de recomposição tarifária da Camex (Tabela 2) e agenda coordenada Mover/PDE-EPE (Tabela 3) — decorrem responsabilidades privadas claras para transformar diretrizes em serviço confiável, preço previsível e expansão compatível com a demanda, respeitando as restrições temporais e locacionais do sistema elétrico destacadas na

Figura 13.

Para os operadores de infraestrutura de recarga, a contribuição central é migrar de “quantidade instalada” para qualidade de serviço mensurável. Isso envolve rotinas de manutenção e telemetria que assegurem disponibilidade (uptime) por porta, divulgação de preço antes da sessão e pagamento interoperável em toda a rede, com ênfase em corredores rodoviários DC para dar suporte às viagens intermunicipais — exatamente onde a experiência do usuário é mais sensível ao tempo de abastecimento. Em áreas urbanas, a prioridade é confiabilidade do AC em polos geradores de tráfego e roaming que evite “ilhas” proprietárias; no médio prazo, contratos com SLAs explícitos (uptime, atendimento, tempo de reparo) tendem a reduzir ociosidade e melhorar o giro por conector. Essas entregas respondem à assimetria territorial e à tipologia ainda concentrada em AC já descritas no Capítulo 2, convertendo expansão física em serviço com padrão único reconhecido pelo consumidor.

No âmbito das montadoras e da rede de concessionárias, duas frentes destravam adoção e liquidez do seminovo: transparência de bateria e pacotes de TCO. A primeira passa por incorporar laudos de saúde de bateria (SoH) padronizados e garantias trans-feríveis aos programas de seminovos, reduzindo incerteza de valor residual e habilitando financiamento mais competitivo; a segunda combina wallbox, orientação tarifária por período e manutenção planejada, ancorando a economia em uso já discutida no trabalho. Alinhar portfólio e calendário comercial ao cronograma Camex (Tabela 2) e aos parâmetros do Mover — eficiência, emissões, conteúdo tecnológico — reduz volatilidade de preços e dá previsibilidade de oferta, condição necessária para ampliar faixas de preço e penetrar segmentos para além dos nichos iniciais.

Para locadoras e frotistas corporativos, a contribuição mais imediata é a execução de pilotos em rotas previsíveis (última milha, frota leve urbana, ride-hailing) com smart charging fora de ponta, articulados a contratos de desempenho com CPOs. Esses pilotos materializam os ganhos de OPEX por quilômetro já explorados no capítulo e criam curvas de aprendizado em escala, com metas objetivas de % de recarga fora da ponta, downtime por veículo e residual no desinvestimento. Ao enxergar a recarga como parte do contrato de nível de serviço (SLA) — e não um insumo “melhor esforço” — frotistas reduzem variabilidade operacional e fornecem sinal de demanda estável para operadores, ajudando a fechar a equação de

investimento em DC nos eixos prioritários.

As instituições financeiras e seguradoras viabilizam escala ao internalizar tecnicamente o SoH no crédito e no seguro. Linhas de financiamento que aceitam laudos padronizados e reconhecem o menor custo operacional do VE no pricing tendem a reduzir spreads e alongar prazos, enquanto apólices com telemetria de uso/recarga e cláusulas claras de cobertura de bateria mitigam riscos percebidos no seminovo. Na prática, isso se traduz em convergência do spread VE-vs-ICE, queda da depreciação média em 12/24/36 meses e maior LTV em operações com evidências de saúde da bateria — métricas que este trabalho já sugeriu acompanhar na política pública e que podem ser igualmente apropriadas pelo mercado.

Para utilities (distribuidoras) e integradores de energia, a contribuição recai sobre planejamento locacional e sinalização temporal. Programas que identifiquem “hotspots” de recarga e combinem tarifas por período acessíveis com controle de potência em pontos privados e semi-públicos reduzem a contribuição do VE ao pico e adiam reforços de rede. Em paralelo, parcerias B2B2C com CPOs e condomínios aceleram a adoção de gestão de carregamento como padrão de mercado. Essas ações dialogam diretamente com a Figura 13, que sustenta impacto agregado administrável, mas exige organizar quando e onde a recarga ocorre.

Por fim, varejo, real estate e destinos (shopping centers, supermercados, estacionamentos, campi) ampliam cobertura ao oferecer AC confiável como amenity, com preço claro e pagamento universal. Em polos de alta rotatividade, políticas de idle fee e slots de 22

kW maximizam giro e disponibilidade percebida, aproximando a experiência do usuário de um serviço padronizado. Esses agentes são o elo de capilaridade urbana e complementam os corredores DC, fechando a lacuna de cobertura que hoje aparece como barreira prática fora dos grandes centros — como sugerem as Figuras 1 e 2.

Em síntese, as contribuições do setor privado descritas nesta seção materializam as propostas de políticas públicas ao transformar diretrizes em execução: elevam a qualidade e a interoperabilidade da recarga, estruturam corredores rodoviários em DC, reduzem a incerteza do valor residual por meio de transparência de bateria e produtos de crédito/seguro, e difundem sinais tarifários e gestão de carregamento na baixa tensão. Monitoradas pelos marcos de acompanhamento das Tabelas 2 e 3 e pelos indicadores de demanda e perfil de carga da Figura 13, essas entregas convertem a orientação de política em serviço confiável,

previsibilidade de preço e uso mais eficiente da rede elétrica.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que as principais barreiras à adoção de veículos elétricos no Brasil envolvem a disponibilidade e a distribuição da infraestrutura de recarga, a adequação dos requisitos elétricos domiciliares, os custos percebidos pelos usuários e a incerteza associada à autonomia e ao valor residual dos veículos. Mesmo assim, os resultados indicam que esses obstáculos podem ser enfrentados por meio de políticas coordenadas que combinem expansão da infraestrutura, maior previsibilidade regulatória e instrumentos econômicos mais estáveis.

Considerando a pergunta norteadora deste estudo, observou-se que as barreiras se concentram em quatro eixos principais. O primeiro é a infraestrutura, ainda muito concentrada nas regiões Sul e Sudeste, com predominância de carregadores de corrente alternada e níveis variados de qualidade de serviço, como mostram as comparações internacionais apresentadas no trabalho. O segundo eixo envolve a economia do usuário. Embora o custo por quilômetro e a manutenção reduzida já representem vantagens claras, a desvalorização acima da média e a falta de critérios padronizados para avaliar a saúde das baterias dificultam o financiamento e reduzem a liquidez do mercado de usados. O terceiro eixo está relacionado ao ambiente regulatório e tributário, marcado por incentivos com pouca previsibilidade ao longo do tempo. O quarto eixo diz respeito à coordenação com as redes de distribuição, já que os impactos relevantes decorrem principalmente do momento e do local em que ocorre a recarga, e não de um aumento expressivo no consumo agregado do país.

A análise internacional evidencia que previsibilidade, padrões mínimos de qualidade de recarga e estabilidade regulatória são elementos essenciais para alcançar escala. No Brasil, iniciativas recentes como o ajuste gradual do Imposto de Importação, a reorientação dos incentivos do programa Mover e as diretrizes de planejamento energético que tratam da gestão temporal da recarga apontam avanços, mas ainda exigem execução coordenada e sinalização de longo prazo capaz de orientar decisões de investimento, produção e desenvolvimento tecnológico.

Do ponto de vista energético, estimativas de ordem de grandeza indicam que a expansão da frota elétrica é administrável para o sistema elétrico como um todo. O desafio mais relevante ocorre nas cargas locais e na necessidade de adiar reforços de rede por meio de tarifas diferenciadas por período, estratégias de carregamento

inteligente e futura integração com tecnologias de fluxo bidirecional. No campo econômico, medidas que ampliem a transparência sobre a condição das baterias, fortaleçam garantias transferíveis e reduzam a volatilidade tributária podem mitigar o problema do valor residual. No eixo tecnológico, diferenças entre químicas de bateria, sintetizadas na Tabela 1, influenciam custos, segurança e vida útil, reforçando a importância de políticas alinhadas às tendências de mercado.

Como qualquer estudo baseado em fontes secundárias, esta análise possui limitações. Não foram utilizados microdados horários ou espaciais das distribuidoras, e não houve coleta direta com usuários, oficinas ou instituições financeiras. Algumas séries apresentam diferenças regionais ou lacunas de disponibilidade, especialmente no mercado de usados, e certas políticas analisadas ainda estão em processo de mudança. Mesmo assim, o cruzamento de fontes independentes e a padronização metodológica adotada tornam possível construir um diagnóstico confiável e útil para orientar decisões.

Os resultados também apontam caminhos para pesquisas futuras. Entre eles estão estudos com curvas reais de carga por alimentador, análises estatísticas da depreciação considerando o estado da bateria, avaliações sobre transparência de preços e disponibilidade em redes de recarga, além de investigações sobre a cadeia produtiva nacional de baterias e processos de reciclagem.

Em síntese, a adoção em larga escala de veículos elétricos no Brasil é viável, desde que acompanhada por padrões mínimos de qualidade, maior estabilidade regulatória e integração com o planejamento do setor elétrico. Com essa direção e com a atuação coordenada entre governo, setor elétrico e indústria, a eletromobilidade pode avançar de um mercado restrito para uma política pública de alcance nacional, apoiada na elevada participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e no potencial de desenvolvimento de uma base produtiva própria.

REFERÊNCIAS

ADOMAITIS, N. In Norway, nearly all new cars sold in 2024 were fully electric. 2025. **Reuters**, [S.I.], 2025. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/norway-nearly-all-new-cars-sold-2024-were-fully-electric-2025-01-02/>. Acesso em: 26 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Programa de P&D Estratégico: Mobilidade Elétrica — Resultados e Recomendações (2018–2024)**. 2024. Rio de Janeiro: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-de-pesquisa-e-desenvolvimento>. Acesso em: 23 out. 2025.

ALVES, F. H.; FRASCINO, I. S.; CHIMELLI, P. A. **Veículos elétricos e tributação: a importância de instituir incentivos efetivos**. 2022. Levy Salomão, [S.I.], 2022. Disponível em: <https://www.levysalomao.com.br/publicacoes/boletim/veiculos-eletricos-e-tributacao-a-importancia-de-instituir-incentivos-efetivos>. Acesso em: 9 mar. 2025.

ALVES, R. C. **Carregamento inteligente para veículos elétricos**. 2023. Dissertação (Mestrado)—Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFES), São Paulo, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/4236/DISSERTAÇÃO_Carregamento_Inteligente_Veículos_Elétricos.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Estudo sobre o mercado de veículos elétricos no Brasil**. 2024. São Paulo: ABVE, 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/bi-geral/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Guia Técnico de Baterias Veiculares**. 2025. São Paulo: ABVE, 2025. Disponível em: <https://www.abve.org.br/guia-baterias-2025>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023**. 2023. São Paulo: ANFAVEA, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/anuarios-2/>. Acesso em: jun. 2025.

AUTOESPORTE. Gurgel Itaipu foi o primeiro carro elétrico nacional, mas morreu por problemas que existem até hoje. 2021. **Autoesporte (Globo)**, São Paulo, abr. 2021. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/04/gurgel-itaipu-foi-o-primeiro-carro-eletrico-nacional-mas-morreu-por-problemas-que-existem-ate-hoje.html>. Acesso em: 8 jul. 2025.

BARROS, R. 30 mil carros elétricos já foram vendidos no Brasil em 2025; veja ranking. 2025. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/auto/30-mil-carros-eletricos-ja-foram-vendidos-no-brasil-em-2025-veja-ranking/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

BATISTA, A. K. Subsídios a combustíveis fósseis: uma análise econômica. 2019. [Rio de Janeiro: Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ), 2019. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2019/Alexandre--Kotcherenko--Batista.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2025.

BATTERY UNIVERSITY. BU-1003: Advantages and Limitations of Lithium-ion Batteries. 2024. **Battery University**, 2024. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-advantages-and-limitations-of-lithium-ion>. Acesso em: 17 ago. 2025.

BESEN GROUP. SAE J1772 vs IEC 62196: qual é a diferença? 2024. **Besen Group**, 2024. Disponível em: <https://www.besen-group.com/pt/sae-j1772-vs-iec-62196-what-is-the-difference/>. Acesso em: 2025.

BLOOMBERGNEF. **Electric Vehicle Outlook 2024**. 2024. [S.I.]: BloombergNEF, 2024. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CACHÃO, D. F. B. **Impacto técnico na ligação de carregadores de veículos elétricos às redes de distribuição em baixa tensão**. 2023. [S.I.]: [s.n.], 2023. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/45488>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CUI, H. China's New Energy Vehicle mandate policy (final rule). International Council on Clean Transportation (ICCT). Publicado em: 11 jan. 2018. [S.I.]: ICCT, 2018. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/China-NEV-mandate_ICCT-policy-update_20032018_vF-updated.pdf. Acesso em: 26 out. 2025.

EDMUND'S. **Electric Vehicle Batteries: Capacity, Charging, Cost and More**. 2024. Edmunds. 2024. Disponível em: <https://www.edmunds.com/car-technology/electric-car-battery-basics-capacity-charging-and-range.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

EMBER CLIMATE. **Brazil: Electricity Transition**. 2025. Ember. 2025. Disponível em: <https://ember-energy.org/countries-and-regions/brazil/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Cenários de Mobilidade Elétrica no Brasil: impactos na demanda e na operação do sistema elétrico**. 2024. [S.I.]: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-739/NT-EPE-DPG-SDB-2024-10_Demandade%20de%20energia%20veiculos%20leves_2025-2034_R1.pdf. Acesso em: 23 out. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Pesquisa e desenvolvimento em baterias: panorama brasileiro**. 2024. [S.I.]: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Paginas/Estudos-de-P&D-em-Baterias.aspx>. Acesso em: 17 ago. 2025.

EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATION (ACEA). **Electric Vehicle Registrations in Europe – Q1 2024**. 2024. ACEA, 2024. Disponível em: <https://www.acea.auto>. Acesso em: 21 jun. 2025.

EY. Brasil está entre as menores intenções de compra do mundo de carro elétrico. Agência EY. Publicado em: 18 mar. 2025. [S.I.]: EY, 2025. Disponível em: https://www.ey.com/pt_br/brasil-esta-entre-menores-intencoes-compra-carro-elettrico. Acesso em: 2 nov. 2025.

FERREIRA, J. P.; DIAS, M. J. Veículos elétricos e híbridos: história e perspectivas para o Brasil. **ETIS - Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 40–54, 2022. Disponível em: <https://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/386>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. **Guia de Eletromobilidade**. 2023. Brasília: Presidência da República / Ministério (quando presente) ou [s.n.], 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes/mobilidade-urbana/Guia_Eletromobilidade.pdf. Acesso em: 2025.

HAYTZMANN, G.; CIEPLINSKI, A. **Tecnologias de propulsão e emissões de CO₂e: comparação de veículos elétricos e híbridos no Brasil**. 2025. International Council on Clean Transportation (ICCT). 2025. Disponível em: https://theicct.org/wp-content/uploads/2025/03/ID-304-%E2%80%93-Brazil-CO2_working-paper_final.pdf. Acesso em: 2025.

INTERNAL REVENUE SERVICE (IRS). **Credits for new clean vehicles purchased in 2023 or after**. Página revisada em: 23 out. 2025. [S.I.]: Internal Revenue Service (IRS), 2025. Disponível em: <https://www.irs.gov/credits-deductions/credits-for-new-clean-vehicles-purchased-in-2023-or-after>. Acesso em: 26 out. 2025.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). **Mild Hybrid Vehicles and their Potential to Reduce CO₂ Emissions**. 2022. [S.I.]: ICCT, 2022. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/07/mild-hybrid-emissions-jul22.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2025: Expanding Sales in Diverse Markets**. 2025. [S.I.]: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>. Acesso em: 26 jul. 2025.

ITAIPU BINACIONAL. **Veículo Elétrico Brasileiro: Histórico e Resultados**. 2017. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2017. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/veiculoelétrico>. Acesso em: 15 jun. 2025.

KBB BRASIL; COX AUTOMOTIVE. **Monitor de Variação de Preços (MVP) — Agosto/2025: Elétricos**. [S.I.], 2025. Disponível em: <https://www.coxautomotive.com.br/wp-content/uploads/2021/12/Relatorio-MVP-Layout-Novo-Agosto-2025.pdf>. Acesso em: 2025.

LI, Q.; ZHANG, Y.; KROLICKI, K. China auto market hits milestone as EVs, hybrids

make up half of July sales. 2024. Reuters. Publicado em: 8 ago. 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/chinas-car-sales-extend-declines-fourth-month-2024-08-08/>. Acesso em: 26 out. 2025.

MINISTRY OF MINES AND ENERGY (MME); ENERGY RESEARCH OFFICE (EPE); APEXBRASIL. **Guide for Foreign Investors: Brazil Energy Transition Investment Opportunities**. 2025. [S.I.]: Invest in Brasil / MME/EPE/ApexBrasil, 2025. Disponível em: <https://www.investinbrasil.com.br/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (MDIC). Imposto de importação para veículos eletrificados será retomado em janeiro de 2024. 2023. [S.I.]: MDIC, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/novembro/imposto-de-importacao-para-veiculos-eletrificados-sera-retomado-em-janeiro-de-2024>. Acesso em: 26 out. 2025.

MOURA, E. **Conheça os carregadores de veículo elétrico disponíveis no mercado brasileiro**. Portal Solar. Publicado em: 22 ago. 2023. [S.I.]: Portal Solar, 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/mobilidade-elettrica/conheca-os-carregadores-de-carro-elettrico-disponiveis-no-mercado-brasileiro>. Acesso em: 05 out. 2025.

NEOCHARGE. **Tipos de plugues e tomadas para carros elétricos**. 2024. NeoCharge, 2024. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-elettrico/tipo-conector-veiculo-elettrico>. Acesso em: 2025.

NORWEGIAN EV ASSOCIATION. **Statistics on Electric Vehicle Sales in Norway – 2024 Update**. 2024. Oslo: Norsk elbilforening, 2024. Disponível em: <https://elbil.no/english/>. Acesso em: 21 jun. 2025.

NORWEGIAN EV ASSOCIATION (Norsk elbilforening). **Norwegian EV policy**. s.d. Oslo: Norsk elbilforening, s.d. Disponível em: <https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>. Acesso em: 26 out. 2025.

PEREIRA, F. **Gurgel Itaipu: há 46 anos, um brasileiro elétrico desafiava a gasolina**. Revista Quatro Rodas. Publicado em: 2021. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carrosclassicoss/gurgel-itaipu-ha-46-anos-um-brasileiro-elettrico-desafiava-a-gasolina/>. Acesso em: 2025.

PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA (PNME). **4º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica**. 2024. [S.I.]: PNME, 2024. Disponível em: <https://pnme.org.br/wp-content/uploads/2024/12/4o-anuario-brasileiro-mobilidade-elettrica.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 14.902, de 27 de junho de 2024: Institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover) e dá outras providências**. 2024. Brasília: Presidência da República, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14902.htm. Acesso em: 26 out. 2025.

QUILOWATT. **Pesquisa mostra principais barreiras para compra de carros**

eletrificados no Brasil. Redação. Publicado em: 16 set. 2025. [S.I.]: Quilowatt, 2025. Disponível em: <https://quilowatt.com.br/pesquisa-mostra-principais-barreiras-para-compra-de-carros-eletrificados-no-brasil/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

REVISTA CARRO. Brasileiro roda média de 12,9 mil km no primeiro ano do veículo, diz KBB Brasil. 2019. Revista Carro, 2019. Disponível em: <https://revistacarro.com.br/brasileiro-roda-media-de-129-mil-km-no-primeiro-ano-do-veiculo/>. Acesso em: 23 out. 2025.

SEEG — SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970–2021. 2023. [S.I.]: SEEG, 2023. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SEVERINE, M. E com vocês o motor elétrico: simplicidade, eficiência e desempenho. 2025. ABVE — Coluna. Publicado em: 2025. Disponível em: <https://abve.org.br/coluna/e-com-voces-o-motor-elettrico-simplicidade-eficiencia-e-desempenho/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SEVERINE, M. Veículos eletrificados: conheça as tecnologias disponíveis. 2025. ABVE — Coluna. Publicado em: 2025. Disponível em: <https://abve.org.br/coluna/veiculos-eletrificados-conheca-as-tecnologias-disponiveis/>. Acesso em: 9 ago. 2025.

ZAPMAP. EV charging connector types. Atualizado em: 19 jun. 2024. [S.I.]: Zapmap, 2024. Disponível em: <https://www.zap-map.com/ev-guides/connector-types>. Acesso em: 2 nov. 2025.