

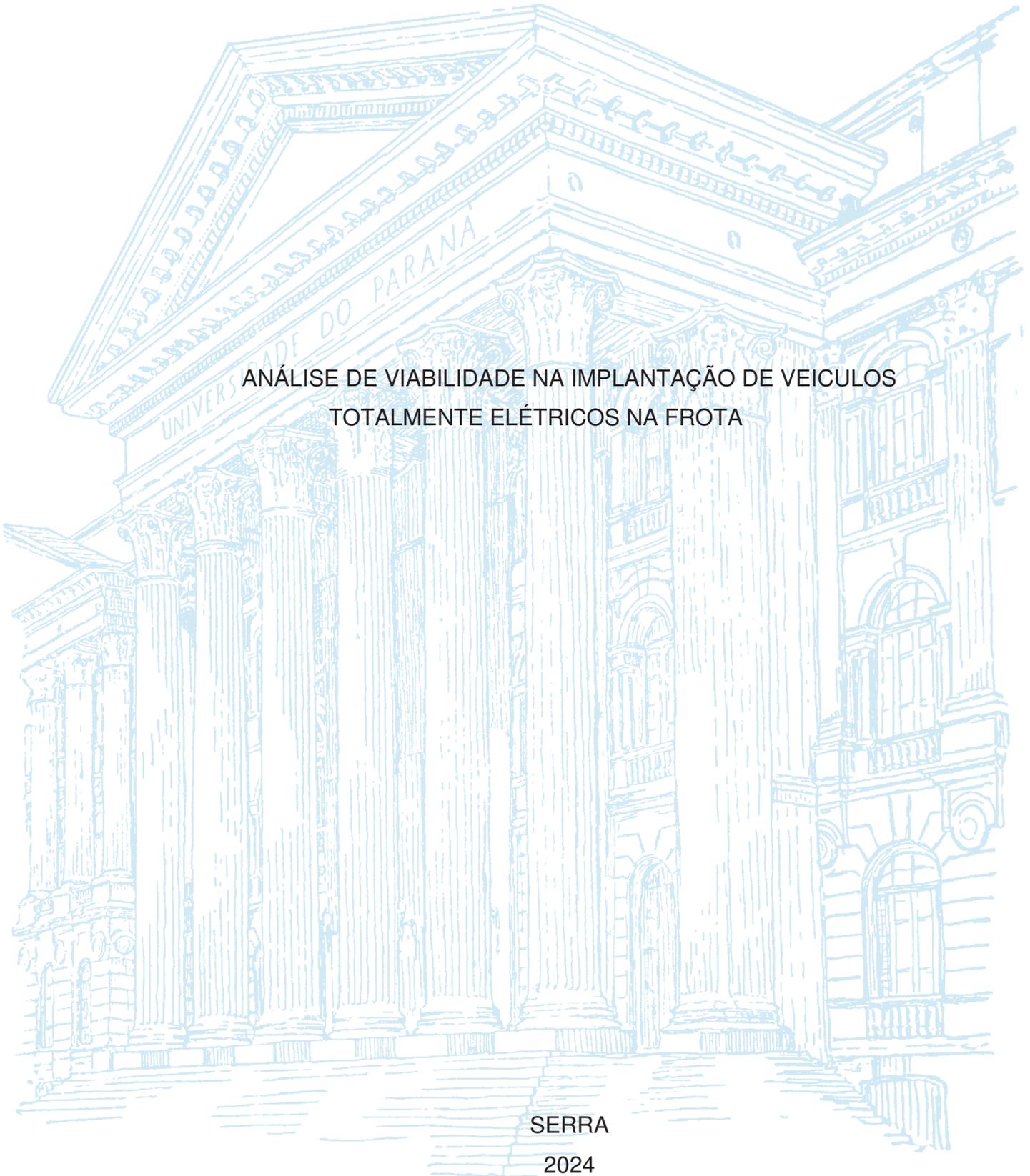
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALISSON OLIVEIRA DA SILVA

ANÁLISE DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE VEÍCULOS
TOTALMENTE ELÉTRICOS NA FROTA

SERRA

2024



Alisson Oliveira da Silva

ANÁLISE DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE VEÍCULOS
TOTALMENTE ELÉTRICOS NA FROTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Luis Henrique de Assumpção Lolis.

SERRA-ES

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

ALISSON OLIVEIRA DA SILVA

ANÁLISE DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE VEICULOS TOTALMENTE ELÉTRICOS NA FROTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Prof(a). Dr(a). Luis Henrique de Assumpção Lolis.

Orientador(a) – Departamento Engenharia Elétrica, UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ.

Serra, 05 de dezembro de 2024.

RESUMO

O presente trabalho analisa a viabilidade da implantação de veículos elétricos (VEs) em uma frota empresarial no Brasil, considerando aspectos técnicos, econômicos e operacionais. A eletrificação do transporte é uma tendência global impulsionada pela necessidade de redução de emissões de carbono e pela busca por maior eficiência energética. No entanto, desafios como o alto custo de aquisição, a infraestrutura de recarga limitada e a depreciação acelerada dos veículos ainda representam obstáculos para a adoção dessa tecnologia em frotas de grande porte. Para avaliar a viabilidade da substituição de veículos a combustão por elétricos, foi realizado um estudo comparativo entre o Chevrolet Onix Sedan Premier e o BYD Dolphin GS, levando em conta o custo total de propriedade (TCO), a manutenção, o consumo energético e a depreciação. Os resultados demonstram que, embora o investimento inicial em VEs seja elevado, a economia com combustível e manutenção ao longo dos anos pode compensar a diferença. A análise indicou que, no primeiro ano de operação, o Onix Sedan apresenta um TCO inferior ao Dolphin GS, tornando-se mais vantajoso. No entanto, a partir do terceiro ano, o veículo elétrico se torna mais competitivo, gerando maior economia no longo prazo. Além disso, desafios como a infraestrutura de recarga insuficiente, o tempo de carregamento prolongado e a baixa aceitação do mercado de seminovos foram identificados como fatores que podem impactar a viabilidade da frota elétrica. Diante desse panorama, recomenda-se que empresas avaliem cuidadosamente os perfis de operação, a frequência de rodagem e os incentivos fiscais disponíveis antes de implementar a eletrificação de suas frotas.

Palavras-chave: Veículos elétricos, frotas empresariais, mobilidade sustentável, custo total de propriedade, infraestrutura de recarga.

ABSTRACT

This study analyzes the feasibility of implementing electric vehicles (EVs) in a corporate fleet in Brazil, considering technical, economic, and operational aspects. The electrification of transportation is a global trend driven by the need to reduce carbon emissions and improve energy efficiency. However, challenges such as high acquisition costs, limited charging infrastructure, and accelerated vehicle depreciation still pose obstacles to the adoption of this technology in large fleets. To evaluate the feasibility of replacing combustion vehicles with EVs, a comparative study was conducted between the Chevrolet Onix Sedan Premier and the BYD Dolphin GS, assessing the total cost of ownership (TCO), maintenance, energy consumption, and depreciation. The results indicate that while the initial investment in EVs is high, the long-term savings in fuel and maintenance can offset this difference. The analysis revealed that in the first year of operation, the Onix Sedan has a lower TCO than the Dolphin GS, making it more cost-effective. However, from the third year onwards, the electric vehicle becomes more competitive, generating greater savings over time. Additionally, challenges such as insufficient charging infrastructure, prolonged charging times, and low acceptance in the used car market were identified as factors that could impact the feasibility of an electric fleet. Given this scenario, it is recommended that companies carefully assess operational profiles, driving frequency, and available tax incentives before implementing fleet electrification.

Keywords: Electric vehicles, corporate fleets, sustainable mobility, total cost of ownership, charging infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – GURGEL ITAIPU	14
FIGURA 2 – TIPOS DE VEICULOS ELETRICOS	15
FIGURA 3 – TIPOS DE CARREGADORES WEG	30
FIGURA 4 – ESTIMATIVA DE IPVA POR FEDERAÇÕES SUBSIDIÁRIAS	36
FIGURA 5 – CARREGADORES WEG X TEMPO DE RECARGA	44
FIGURA 6 – CARREGADORES ALTA POTÊNCIA X TEMPO DE RECARGA	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EMPLACAMENTO DE VEICULOS ELETRICOS NO BRASIL	26
TABELA 2 - EMPLACAMENTOS VE POR TECNOLOGIA	26
TABELA 3 – RESUMO TÉCNICO NIVEIS CARREGAMENTO	28
TABELA 4 – COMPARATIVO TÉCNICOS	39
TABELA 5 – DADOS REAIS COMPARATIVOS	40
TABELA 6 – RESUMO TÉCNICO CONSUMO E EFICIÊNCIA	41
TABELA 7 – COMPARATIVO TÉCNICOS	42
TABELA 8 – COMPARATIVO PARA 1 ANO DE OPERAÇÃO	42
TABELA 9 – COMPARATIVO DE CUSTO PARA 3 ANOS	43
TABELA 10 – COMPARATIVO DE CUSTO PARA 5 ANOS	43
TABELA 11 – COMPARATIVO DO TCO PARA 1 ANO	46
TABELA 12 – COMPARATIVO DO TCO PARA 3 ANOS	46
TABELA 13 – COMPARATIVO DO TCO PARA 5 ANOS	47

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	19
GRÁFICO 2 – PRINCIPAIS SETORES CONSUMIDORES DE ENERGIA	20
GRÁFICO 3 – PRINCIPAIS FONTES DE GERAÇÃO ENERGÉTICAS	23
GRÁFICO 4 – FONTES PRIMÁRIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTO DO PROBLEMA	11
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
2.2.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	PRIMEIRO VEICULO DO BRASIL	14
2.2	TIPOS DE VEICULOS ELETRICOS	15
2.3	INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA	18
2.3.1	Consumo Residencial	20
2.3.2	Consumo Industrial	20
2.4	FORNECIMENTO E MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	21
2.4.1	Matriz Elétrica e Evolução das Fontes Renováveis	21
2.4.2	Sinergia entre Fontes Renováveis e Mobilidade Elétrica	24
2.4.3	Integração Com A Infraestrutura De Recarga	24
2.5	DEMANDA CRESCENTE POR VEÍCULOS ELÉTRICOS	25
2.5.1	Cenário atual dos VEs no Brasil	25
2.5.2	Potencial impacto no sistema elétrico	25
2.6	TEMPO DE RECARGA E DESAFIOS TECNOLÓGICOS	27
2.7	CARREGADORES PARA VEICULOS ELETRICOS	27
2.7 1	Níveis De Carregamento	27
2.8	TIPOS DE CONECTORES	28
2.9	MODELOS DE CARREGADORES WEG	28
2.9	PÚBLICAS NO BRASIL	30
3	METODOLOGIA	36
3.1	TIPO DE PESQUISA	36
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.2.1	Levantamento de Dados Secundários	37
3.2.2	Coleta de Dados Primários	37
3.2.3	Análise Comparativa	37
3.3	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	38
4	ANALISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	38

4.1	COMPARATIVOS TÉCNICOS	38
4.1.1	Motorização e Desempenho	38
4.1.2	Consumo/Eficiência	39
4.2	COMPARATIVO DE CUSTO POR KM	42
4.3	REVENDA DE VEICULOS ELETRICOS	43
4.4	CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE (TCO)	46
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DO CASO	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7	REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA

O setor de transporte é responsável por aproximadamente 37% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à energia, constituindo-se em um dos principais vetores que agravam as mudanças climáticas e a poluição atmosférica em grandes centros urbanos (IEA, 2023). Nesse cenário, a adoção de veículos elétricos (VEs) ganha relevância como uma estratégia eficaz para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diminuir emissões de gases de efeito estufa (GEE) e impulsionar uma mobilidade mais sustentável (BLOOMBERGNEF, 2023). Embora frequentemente associados a tecnologias recentes, os automóveis elétricos remontam ao século XIX, exibindo uma trajetória marcada por períodos de crescimento e posterior declínio (KIRSCH, 2000).

Os primeiros experimentos com VEs ocorreram entre 1830 e 1840, conduzidos pelo escocês Robert Anderson, que empregava baterias não recarregáveis em protótipos de carruagens (ANDERSON; ANDERSON, 2010). Na segunda metade do século XIX, a adoção de baterias recarregáveis possibilitou o uso de táxis elétricos em cidades como Londres e Nova Iorque. Entretanto, a produção em série de veículos a gasolina – iniciada com o Ford Model T, em 1908 – e a expansão dos postos de combustíveis levaram à queda da popularidade dos VEs, fenômeno que perdurou por décadas (KIRSCH, 2000).

No decorrer das crises do petróleo da década de 1970, o interesse por fontes energéticas alternativas voltou a crescer. Nos anos 1990, iniciativas como o programa EV1, da General Motors, evidenciaram o potencial dos VEs em aplicações urbanas (ANDERSON; ANDERSON, 2010). Com o advento do século XXI, diferentes montadoras ampliaram suas pesquisas e investimentos: a Toyota difundiu a tecnologia híbrida com o Prius (lançado em 1997), a Nissan apresentou o Leaf em 2010 (primeiro modelo 100% elétrico de produção em larga escala), a General Motors disponibilizou o Chevrolet Bolt EV, a Volkswagen introduziu a linha ID, e a empresa chinesa BYD se tornou referência na fabricação de baterias e veículos comerciais e de passeio elétricos (TOYOTA, 2022; NISSAN, 2023; GENERAL MOTORS, 2023; VOLKSWAGEN, 2021; BYD, 2023).

Em paralelo, governos e organizações multilaterais passaram a elaborar estratégias e políticas para fomentar a comercialização de VEs. Na Europa, a Comissão Europeia (2022) estabeleceu o pacote “Fit for 55”, que prevê a proibição de venda de veículos a combustão interna a partir de 2035 em diversos países. Nos Estados Unidos, o estado da Califórnia, por meio do California Air Resources Board (CARB, 2023), adota padrões de emissões cada vez mais rígidos e incentiva metas de veículos de emissão zero (ZEV Mandate). A China, por sua vez, instituiu mandatos de “New Energy Vehicles” (NEV), combinando subsídios e exigências de quotas para montadoras, o que tem impulsionado a liderança do país no mercado de VEs (IEA, 2023). Essas políticas, em conjunto com subsídios, isenções fiscais e incentivos à expansão de infraestrutura de recarga, contribuem para a queda do custo total de aquisição dos veículos (BLOOMBERGNEF, 2023).

O debate global sobre VEs não se limita à questão de redução de emissões. Discutem-se, também, impactos associados ao ciclo de vida das baterias, como a

extração de materiais críticos (por exemplo, lítio e cobalto), a destinação final de elétrica usada nos processos de recarga é fundamental para o real potencial de mitigação de emissões: se a matriz energética local é majoritariamente fóssil, o benefício ambiental pode ser menor (IEA, 2023). Dessa forma, a transição para uma mobilidade elétrica sustentável deve ser acompanhada por políticas de incentivo a fontes renováveis de energia, bem como por uma cadeia produtiva capaz de garantir práticas social e ambientalmente responsáveis.

Do ponto de vista econômico, os VEs apresentam perspectivas promissoras. Estudos indicam que, apesar de os valores iniciais de aquisição ainda serem elevados em certos mercados, o custo total de propriedade (TCO) tende a se tornar mais competitivo ao longo da vida útil, em razão de menores custos de manutenção e da redução no consumo de combustíveis fósseis (BLOOMBERGNEF, 2023). Em 2022, as vendas de VEs superaram a marca de 10 milhões de unidades globalmente, cifra que representa um crescimento de cerca de 60% em comparação ao ano anterior. As projeções para 2023 apontam um aumento para mais de 14 milhões de unidades vendidas (IEA, 2023). Na Europa, países como Noruega e Alemanha têm as maiores taxas de adoção de VEs, enquanto a China mantém a liderança em volume de vendas (BLOOMBERGNEF, 2023).

No contexto brasileiro, o mercado de VEs é incipiente quando comparado a outras nações, mas vem apresentando um crescimento expressivo. Entre 2021 e 2023, constatou-se um aumento de aproximadamente 150% nas vendas de veículos híbridos e elétricos (ANFAVEA, 2023). Ainda que existam entraves, como custos iniciais elevados, infraestrutura de recarga limitada e políticas de incentivo menos abrangentes, há oportunidades significativas, especialmente em frotas corporativas, para a consolidação de modelos de negócio capazes de viabilizar a transição para a eletromobilidade.

Sob a ótica dos impactos ambientais, sociais e econômicos, a adoção de VEs pode resultar em diminuição das emissões de poluentes locais, redução de ruído urbano e economia de combustíveis fósseis, além de gerar oportunidades na cadeia de produção de baterias, infraestrutura de recarga e serviços correlatos. Os benefícios, contudo, dependem da articulação entre empresas, governos e sociedade civil, visando superar desafios como a origem sustentável dos insumos, a criação de uma rede de recarga robusta e os altos investimentos iniciais.

Dentro desse panorama, grandes frotistas – responsáveis por volumes significativos de emissões – visualizam tanto oportunidades quanto desafios ao considerar a implantação de veículos elétricos em suas operações. O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de implantação de um veículo elétrico em uma frota de grande porte, levando em conta aspectos técnicos, financeiros e ambientais. Serão examinados o custo total de propriedade (TCO), a expansão da infraestrutura de recarga, as políticas governamentais de incentivo, além das implicações socioeconômicas advindas dessa transição. Desse modo, espera-se oferecer subsídios para gestores e empresas que buscam soluções mais sustentáveis e competitivas no contexto da mobilidade elétrica, contribuindo simultaneamente para a redução de impactos ambientais e para o avanço tecnológico-industrial nesse segmento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo principal analisar os desafios enfrentados por uma empresa frotista na implantação de veículos elétricos em sua operação, com foco nos seguintes aspectos:

- Técnicos: desempenho e eficiência dos veículos elétricos em comparação com os convencionais.
- Custos: análise do custo total de propriedade (TCO) e viabilidade financeira da transição para uma frota eletrificada.
- Infraestrutura: avaliação da disponibilidade e desafios para expansão da rede de recarga no Brasil.
- Revenda: impacto da depreciação e da aceitação do mercado na viabilidade da troca.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, o estudo se propõe a:

- Identificar os principais obstáculos para a expansão da infraestrutura de recarga no Brasil e suas implicações para frotas comerciais.
- Avaliar os custos de manutenção de veículos elétricos, com base em estudo prático realizado pela empresa frotista.
- Analisar a eficiência da substituição de veículos a combustão por veículos 100% elétricos, considerando aspectos técnicos, econômicos e operacionais.
- Propor soluções para viabilizar a implantação de veículos elétricos na frota, incluindo estratégias para mitigação de desafios financeiros, operacionais e de infraestrutura.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PRIMEIRO VEICULO BRASILEIRO

O Gurgel Itaipu foi o primeiro carro elétrico desenvolvido no Brasil, idealizado e fabricado pela Gurgel Motores S.A., empresa fundada em 1969 pelo engenheiro brasileiro João Augusto Conrado do Amaral Gurgel. Apresentado oficialmente em 1974 no Salão do Automóvel de São Paulo, o projeto nasceu em meio à crise do petróleo como uma tentativa de criar um veículo urbano, econômico e com menor dependência de combustíveis fósseis (LIMA, 2012).

Seu conceito era o de um microcarro de duas portas, com espaço para até duas pessoas, movido por um motor elétrico alimentado por baterias de chumbo-ácido. O Itaipu tinha velocidade máxima estimada na faixa de 50 a 60 km/h e autonomia próxima de 60 km, variando conforme as condições de uso. Ainda que tenha chamado a atenção do público e da imprensa especializada, o projeto enfrentou desafios como alto custo das baterias, pouca infraestrutura de recarga e limitações tecnológicas da época. Além disso, o contexto econômico brasileiro e a falta de incentivos para veículos elétricos também dificultaram a sua viabilização comercial (GURGEL; GURGEL, 2018).

Apesar de não ter obtido sucesso de mercado, o Gurgel Itaipu é considerado um marco na história da indústria automobilística nacional e da mobilidade elétrica na América Latina, demonstrando a visão pioneira de João Gurgel em busca de alternativas energéticas para veículos. Seu legado é reconhecido como parte importante do desenvolvimento de soluções automotivas mais sustentáveis no Brasil (CARVALHO, 2020).

FIGURA 1 – GURGEL ITAIPU



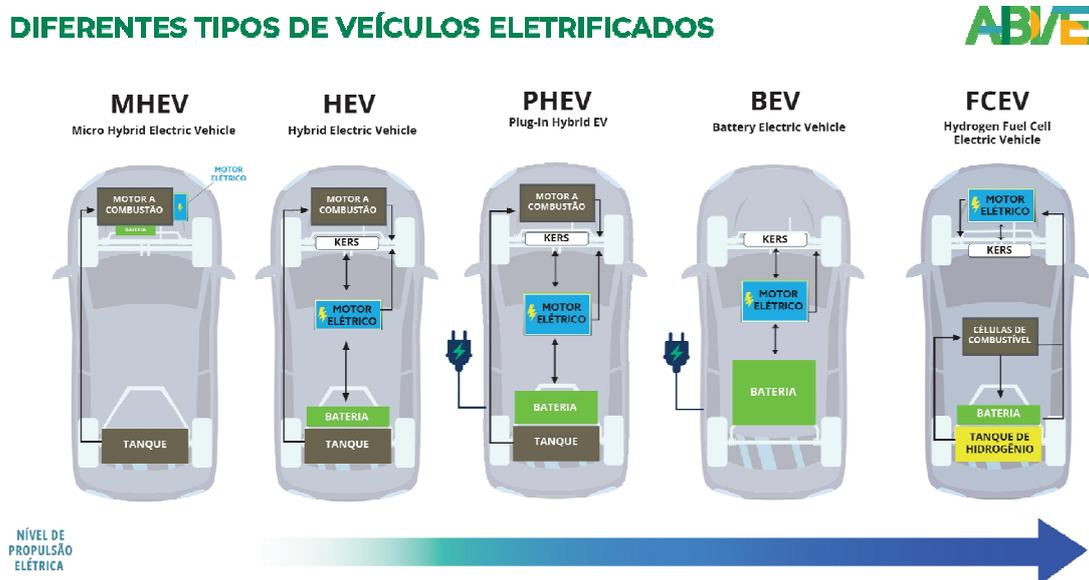
FONTE: MAISSOBRECARROS – Brasil, o pioneiro em veículos elétricos.

O PRIMEIRO VEICULO ELETRICO DO BRASIL

2.2 TIPOS DE VEICULOS ELETRICOS

Veículos podem ser categorizados em veículos elétricos a bateria e veículos híbridos plug-in, dividido nas categorias: Veículo Elétrico Micro-Híbrido Ou Híbrido Leve (MHEV), Veículo Elétrico Híbrido (HEV), Veículo Híbrido Plugável (PHEV), Veículo Elétrico a Bateria (BEV) e Veículo Elétrico Movido a Célula de Combustível (FCEV). Todos os modelos apresentam desafios específicos para o setor de engenharia automotiva, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento de baterias eficientes e à adaptação dos sistemas de recarga às condições do mercado brasileiro.

FIGURA 2 – TIPOS DE VEICULOS ELETRICOS



FONTE: ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2024).

1. Veículos Elétricos Micro-Híbridos ou Híbridos Leves (MHEV)

Configuração e funcionamento

O Micro-Hybrid Electric Vehicle (MHEV), também chamado de mild hybrid, é equipado com um motor a combustão interna principal e um motor elétrico auxiliar de pequena potência, geralmente alimentado por um sistema de bateria de 12 V a 48 V (IEA, 2023). Esse sistema elétrico atua principalmente em funções como:

- Start-stop: Desligamento do motor a combustão em paradas ou em marcha lenta, reduzindo o consumo de combustível.
- Assistência em aceleração: O motor elétrico fornece torque suplementar em momentos de maior demanda, diminuindo o esforço do motor a combustão.

- Recuperação de energia: Durante frenagens e desacelerações, parte da energia cinética é convertida em energia elétrica (regeneração), armazenada na bateria de baixa capacidade.

Método de eficiência

- Redução de consumo: O principal ganho de eficiência em MHEVs advém do sistema start-stop e da assistência moderada em aceleração, que evita o funcionamento do motor a combustão em regimes pouco eficientes (BLOOMBERGNEF, 2023).
- Baixo impacto de eletrificação: Por não permitir tração 100% elétrica, os MHEVs apresentam melhorias modestas no consumo de combustível em relação a veículos convencionais, mas a complexidade adicional (custo e peso) é relativamente baixa (ANFAVEA, 2023).

2. Veículos Elétricos Híbridos (HEV)

Configuração e funcionamento

O Hybrid Electric Vehicle (HEV) conta com um motor a combustão interna e um motor elétrico de maior potência, além de uma bateria recarregável (típica de alta tensão, variando de algumas dezenas até centenas de volts) (TOYOTA, 2022). O sistema gerencia automaticamente qual motor será utilizado em cada condição:

- Tração combinada: O veículo pode rodar em modo puramente elétrico em baixas velocidades ou em distâncias curtas, combinando com o motor a combustão em acelerações ou em velocidade de cruzeiro.
- Frenagem regenerativa: O motor elétrico atua como gerador, convertendo energia cinética em elétrica para carregar a bateria.
- Sem recarga externa: A bateria é recarregada pelo próprio funcionamento do veículo e pela recuperação de energia em frenagem. Não há plug-in para carregamento externo.

Método de eficiência

- Operação em pontos ideais: O sistema híbrido permite que o motor a combustão trabalhe mais próximo de seu ponto de maior eficiência, enquanto o elétrico compensa variações de carga.
- Redução de consumo e emissões: Em comparação a um veículo convencional, o HEV pode proporcionar economia de combustível significativa (em torno de 20% a 40%, dependendo do ciclo de condução) (IEA, 2023).

3. Veículos Híbridos Plugáveis (PHEV)

Configuração e funcionamento

O Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) possui arquitetura similar ao HEV, porém com uma bateria de maior capacidade, que pode ser carregada externamente (plug-in). Assim, o veículo pode:

- Trafegar em modo 100% elétrico por distâncias relativamente maiores, dependendo da capacidade da bateria (típica entre 10 e 20 kWh, mas pode variar bastante).
- Recarga externa em estações de carregamento ou tomadas convencionais, além da regeneração em frenagens.
- Combinação híbrida: Quando a bateria atinge níveis baixos de carga, o motor a combustão entra em ação para fornecer energia adicional ou recarregar a bateria em certas situações.
-

Método de eficiência

- Maior potencial de economia de combustível: Se o trajeto diário for dentro da autonomia elétrica, o consumo de combustível fóssil pode ser bastante reduzido.
- Flexibilidade de abastecimento: Mesmo em regiões com infraestrutura de recarga limitada, o motor a combustão garante autonomia estendida (BLOOMBERGNEF, 2023).
- Desafio de peso e custo: Baterias de maior capacidade elevam o custo inicial e o peso do veículo, o que afeta a eficiência se o modo elétrico não for usado predominantemente.

4. Veículos Elétricos a Bateria (BEV)

Configuração e funcionamento

O Battery Electric Vehicle (BEV) não possui motor a combustão, sendo 100% elétrico. Toda a energia vem de baterias de alta tensão que precisam ser recarregadas em fontes externas:

- Motorização puramente elétrica: Um ou mais motores elétricos de tração, com potência suficiente para todas as condições de uso.
- Baterias de alta capacidade (de dezenas a centenas de kWh), possibilitando autonomia que pode variar de 150 km a mais de 600 km, dependendo do modelo.
- Recarga: Feita em estações convencionais (AC) ou de recarga rápida (DC), além de frenagem regenerativa.

Método de eficiência

- Alta eficiência do trem de força: O rendimento energético do motor elétrico pode ultrapassar 90%, muito superior ao motor a combustão, que normalmente fica abaixo de 40% (IEA, 2023).
- Zero emissões locais: Não há poluição no ponto de uso, mas a pegada de carbono total depende da matriz elétrica utilizada na geração de energia.
- Desafios: Disponibilidade de infraestrutura de recarga e tempo de carregamento das baterias são fatores críticos no mercado brasileiro (ANFAVEA, 2023).

5. Veículos Elétricos Movidos a Célula de Combustível (FCEV)

Configuração e funcionamento

O Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) armazena hidrogênio em tanques pressurizados. O hidrogênio reage na célula de combustível, produzindo eletricidade para alimentar o(s) motor(es) elétrico(s) e gerando vapor d'água como subproduto (BLOOMBERGNEF, 2023).

- Ausência de combustão: A energia é obtida por reação eletroquímica.
- Alta autonomia e reabastecimento rápido: Comparável a veículos convencionais, se houver infraestrutura adequada.
- Bateria auxiliar: Muitas vezes, o FCEV contém uma bateria de menor capacidade para armazenar energia regenerada e otimizar o desempenho do sistema.

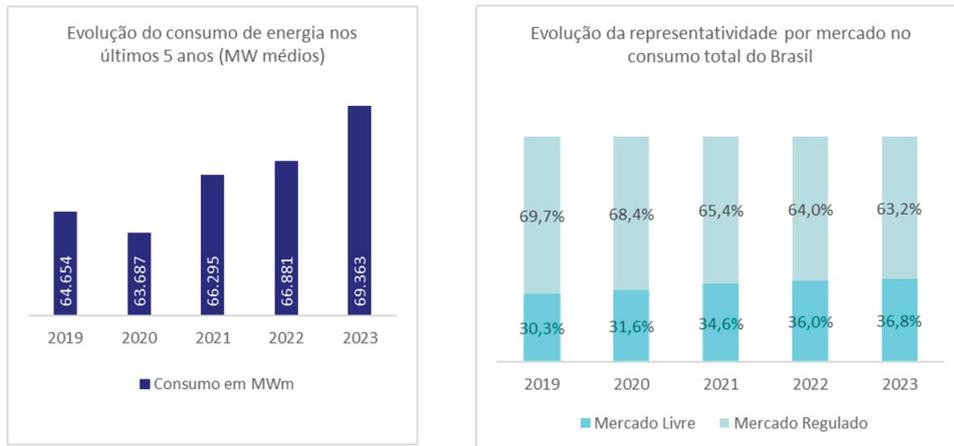
Método de eficiência

- Emissões: Não há emissão de CO₂ na operação, mas a fonte de hidrogênio (geralmente produzido a partir de gás natural ou por eletrólise) determina a sustentabilidade do ciclo completo (IEA, 2023).
- Eficiência do sistema: Apesar de a célula de combustível ter boa eficiência teórica, há perdas na produção, transporte e estocagem de hidrogênio.
- Desafios: A infraestrutura para produção e distribuição de hidrogênio verde (produzido a partir de fontes renováveis) é escassa no Brasil, o que limita a adoção em massa (ANFAVEA, 2023).

2.3 INFRAESTRUTURA ENERGÉTICA

A implantação de uma infraestrutura de recarga adequada é um dos pontos-chave para viabilizar a adoção em larga escala de veículos elétricos (VEs) no Brasil. Entretanto, a discussão sobre essa infraestrutura não pode ser dissociada do perfil de consumo de energia do país, que abrange setores residencial, industrial, comercial e, mais recentemente, o segmento de mobilidade elétrica.

GRÁFICO 1 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL



FONTE: CCEE Canal Energia – Consumo de energia cresce no Brasil (2023).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo final de energia elétrica no Brasil é dividido principalmente entre:

1. Setor Industrial: Historicamente, representa a maior fatia do consumo de eletricidade no país, devido à presença de indústrias de base (siderurgia, metalurgia, mineração, cimento, entre outras) que demandam alto uso de energia em seus processos produtivos.

2. Setor Residencial: Responde por uma parcela significativa, impulsionada pela expansão demográfica e aumento da renda, que levaram a maior aquisição de equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos (ar-condicionado, geladeiras, chuveiros elétricos, etc.).

3. Setor Comercial e de Serviços: Inclui escritórios, lojas, shopping centers, hospitais e demais estabelecimentos de prestação de serviços, cujo consumo de energia é crescente.

4. Setor Rural: Apesar de não ser o maior consumidor em termos absolutos, há particularidades (como irrigação e uso de motores elétricos) que podem apresentar picos de demanda em períodos específicos.

Segundo dados do BEN 2022, o consumo total de eletricidade no país tem mostrado crescimento anual médio, ainda que moderado, impulsionado pelas atividades industriais e pelo aumento do parque residencial. Em 2021, por exemplo, o consumo de energia elétrica chegou a superar 500 TWh (Terawatt-hora), com tendência de crescimento em função tanto da retomada econômica quanto do aumento de demanda residencial (EPE, 2022).

2.3.1 Consumo Residencial

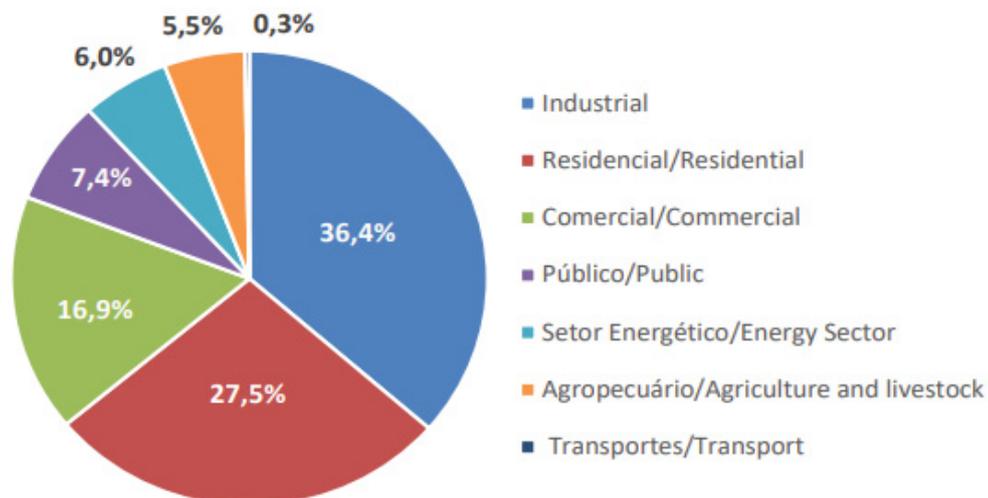
O consumo residencial tem apresentado crescimento consistente, impulsionado pela maior urbanização e pelo acesso a bens de consumo que demandam eletricidade. Em regiões com clima mais quente, o uso de ar-condicionado se tornou fator determinante para elevação do pico de demanda em horários específicos.

2.3.2 Consumo Industrial

O setor industrial é, em muitos estados, o maior responsável pela demanda de eletricidade. Em polos industriais como São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, a intensidade energética das fábricas (metalurgia, química, automobilística) continua a exigir fornecimento estável e de qualidade. A adoção de processos mais automatizados também amplia o uso de equipamentos eletroeletrônicos, gerando necessidade de energia mais confiável.

A seguir, apresenta-se um gráfico dos principais setores consumidores de energia elétrica no Brasil e suas respectivas participações percentuais (aproximadas) no consumo final nacional. Os dados têm como base o Balanço Energético Nacional (BEN) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cujo último relatório (2024, com ano-base 2023) fornece um panorama detalhado da matriz energética brasileira.

GRÁFICO 1 – PRINCIPAIS SETORES CONSUMIDORES DE ENERGIA



FONTE: EPE. Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

2.4 FORNECIMENTO E MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A matriz de geração de eletricidade no Brasil é caracterizada por alta participação de fontes renováveis, em especial a energia hidrelétrica (que historicamente representa acima de 60% da capacidade instalada). Além disso, vêm ganhando destaque as fontes eólicas, solar fotovoltaica e de biomassa, elevando a fração de renováveis no mix energético (ANEEL, 2023).

No entanto, em períodos de estiagem prolongada, a menor disponibilidade de recursos hídricos pode resultar no acionamento de termelétricas a combustíveis fósseis, encarecendo o custo da energia e elevando as emissões de gases de efeito estufa (BLOOMBERGNEF, 2023). Tal contexto reforça a necessidade de ampliar fontes renováveis e investir em tecnologias de armazenamento, a fim de garantir segurança energética.

A transição para veículos elétricos (VEs) está intimamente relacionada ao aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica, pois a real eficiência ambiental dos VEs depende, em grande medida, da origem da energia utilizada na recarga. No Brasil, a matriz de geração de eletricidade já apresenta uma alta proporção de fontes limpas, como hidrelétrica, eólica, solar e de biomassa (ANEEL, 2023). Entretanto, o crescimento esperado do mercado de VEs e a consequente elevação da demanda elétrica reforçam a necessidade de investir, diversificar e modernizar tais fontes, garantindo confiabilidade e sustentabilidade no fornecimento.

2.4.1 Matriz Elétrica e Evolução das Fontes Renováveis

Hidrelétricas:

- Participação histórica: As usinas hidrelétricas constituem a base da matriz elétrica brasileira, sendo responsáveis por mais de 55% da capacidade instalada.
- Desafios: A dependência de regimes pluviométricos torna a produção vulnerável a períodos de estiagem, elevando o acionamento de termelétricas a combustíveis fósseis e encarecendo a tarifa em momentos críticos (BLOOMBERGNEF, 2023).

Eólica:

- Crescimento recente: O Brasil tem se destacado na expansão eólica, especialmente no Nordeste, aproveitando corredores de vento favoráveis (principalmente no litoral e interior do Nordeste).
- Perspectivas: O fator de capacidade em algumas regiões pode ultrapassar 50%, demonstrando alto potencial para atender parte da nova demanda energética (ANEEL, 2023).

Solar Fotovoltaica:

- Distributed Generation (DG): O país vem registrando uma crescente adoção de micro e mini geração distribuída, especialmente em telhados residenciais e comerciais.
- Grandes usinas: Há também um aumento de parques solares de grande porte no Sudeste e Nordeste, contribuindo para o mix renovável.
- Redução de custos: A queda no preço dos equipamentos fotovoltaicos (painéis, inversores) favorece a expansão, ainda que desafios regulatórios e de conexão à rede persistam (EPE, 2022).

Biomassa:

- Fontes agrícolas: O Brasil conta com bagaço de cana, resíduos florestais e outros subprodutos agrícolas que podem ser utilizados para geração elétrica.
- Complementaridade: A biomassa pode funcionar como fonte firme em períodos de menor disponibilidade hídrica, contribuindo para estabilidade do sistema.

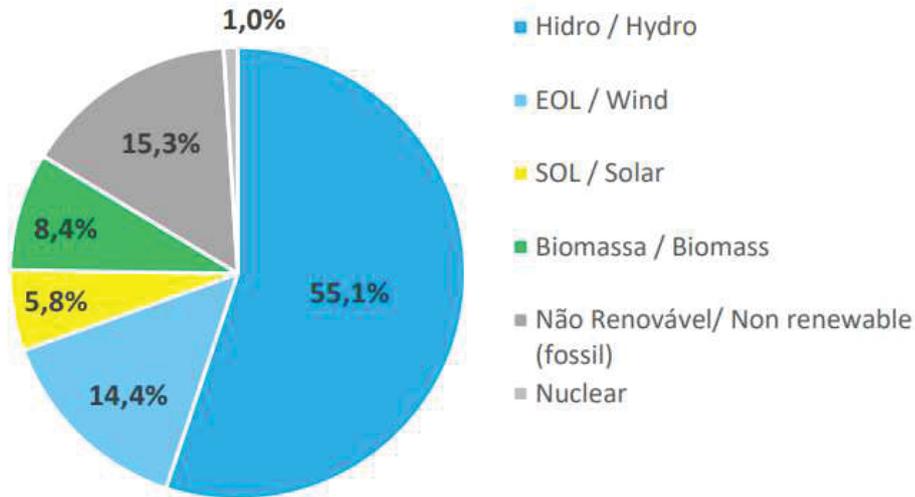
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs):

- Complementares às grandes hidrelétricas, podem ser implementadas em rios de menor porte, agregando geração distribuída e reduzindo perdas de transmissão.

Outras fontes emergentes:

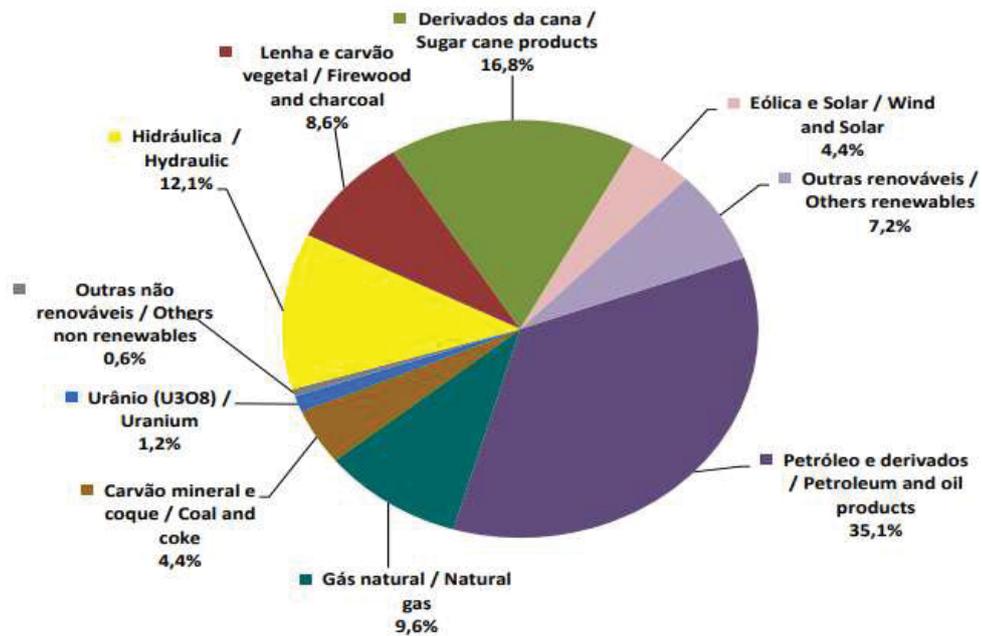
- Hidrogênio verde: Em fase inicial de estudos, podendo futuramente compor o mix de energias renováveis para abastecimento de frotas de VEs movidos a célula de combustível (FCEV).
- Energia oceânica (ondas e marés): Ainda não há projetos comerciais de grande escala no país, mas pesquisas acadêmicas avançam em busca de viabilidade (IEA, 2023).

GRÁFICO 3 – PRINCIPAIS FONTES DE GERAÇÃO ENERGÉTICAS



FONTE: EPE. Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

GRÁFICO 4 – FONTES PRIMÁRIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA



FONTE: EPE. Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

2.4.2 Sinergia entre Fontes Renováveis e Mobilidade Elétrica

1. Redução de emissões:

VEs recarregados majoritariamente por fontes renováveis apresentam impacto ambiental significativamente menor, visto que a “pegada de carbono” do ciclo energético é reduzida.

Como o Brasil já tem elevada proporção de geração limpa, há vantagem competitiva frente a países cuja matriz depende mais de combustíveis fósseis.

2. Estabilização da rede:

- Em horários de pico de geração solar (por exemplo, no meio do dia), parte da energia produzida pode ser direcionada a postos de recarga para VEs em estacionamentos corporativos ou públicos.
- Em casos de recarga noturna (fora do horário de pico), a oferta hídrica ou eólica pode suprir a demanda com menores custos marginais, evitando sobrecargas.

3. Vehicle-to-Grid (V2G):

- Tendência em países desenvolvidos, o conceito de V2G permite que VEs injetem energia de volta à rede em momentos de maior demanda, funcionando como “baterias itinerantes”.
- Essa prática pode compensar variações das fontes renováveis intermitentes (eólica e solar), contribuindo para a estabilidade do sistema (IEA, 2023).

4. Desafios regulatórios:

- Ainda é necessária maior clareza nos marcos regulatórios para remunerar o consumidor que participar com seu VE no sistema de V2G.
- Integração de várias fontes renováveis em larga escala exige modernização das redes elétricas e implementação de smart grids.

2.4.3 Integração Com A Infraestrutura De Recarga

1. Postos de recarga solar:

- Implementados em estacionamentos (shoppings, universidades, condomínios empresariais), usam painéis fotovoltaicos que suprem parte da energia demandada pelos VEs. Em alguns projetos, há baterias estacionárias que armazenam excedentes para uso fora do horário de sol.

2. Corredores elétricos:

- Para viagens de longa distância, faz-se necessário instalar carregadores rápidos (DC) em pontos estratégicos das rodovias brasileiras,

preferencialmente associados a fontes renováveis locais, reduzindo a pegada de carbono e os custos de distribuição.

3. Cogeração Industrial:

- Algumas indústrias possuem geração própria (cogeração a partir de biomassa ou solar), podendo disponibilizar excedentes em locais onde circulam frotas de VEs (por exemplo, caminhões de carga elétrica).

2.5 DEMANDA CRESCENTE POR VEÍCULOS ELÉTRICOS

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento expressivo no emplacamento de veículos elétricos e híbridos em diversos países, fenômeno que também se reflete no Brasil (BLOOMBERGNEF, 2023). De acordo com dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), o mercado brasileiro de automóveis eletrificados, que há 10 anos praticamente se restringia a poucas centenas de emplacamentos anuais, passou a registrar milhares de unidades por ano, com uma curva de crescimento superior a 100% em determinados períodos (ANFAVEA, 2023).

Esse movimento está atrelado a fatores como políticas de incentivo (redução de IPI, IPVA menor em algumas localidades), ampliação gradual da infraestrutura de recarga e queda dos custos de componentes como baterias. Além disso, a conscientização ambiental e a busca por alternativas mais econômicas em termos de consumo energético têm impulsionado frotas corporativas a incluírem veículos híbridos e elétricos (IEA, 2023).

No panorama global, a International Energy Agency (IEA) aponta que as vendas de veículos elétricos e híbridos ultrapassaram 10 milhões de unidades em 2022, indicando uma tendência irreversível de descarbonização no setor automotivo (IEA, 2023). Já no contexto brasileiro, embora o percentual de veículos eletrificados em relação à frota total ainda seja modesto, o aumento contínuo nos emplacamentos demonstra que o país caminha para uma adoção progressiva da eletromobilidade, com potencial de ganhos ambientais, econômicos e tecnológicos a médio e longo prazo (ANFAVEA, 2023).

4.4.1 Cenário atual dos VEs no Brasil

O mercado de veículos elétricos e híbridos vem crescendo de forma acelerada, ainda que representem uma pequena fração da frota total. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) indicam aumento de mais de 100% nas vendas de modelos eletrificados entre 2021 e 2023, o que começa a criar um impacto significativo na demanda por recarga (ANFAVEA, 2023).

2.5.2 Potencial impacto no sistema elétrico

Apesar de o número de VEs ainda ser relativamente modesto, projeções da International Energy Agency (IEA) mostram que, mantido o ritmo de

crescimento, o consumo adicional de eletricidade para mobilidade tende a exercer pressão sobre a infraestrutura atual (IEA, 2023).

- Perfil de carregamento: Se a maior parte dos usuários recarregar seus veículos no período noturno, há potencial de usar a rede ociosa. Porém, se a recarga ocorrer em horários de pico, o sistema poderá ser pressionado.
- Necessidade de planejamento: Distribuidoras de energia, governos e empresas privadas devem cooperar para ampliar as redes de distribuição e instalar pontos de recarga rápida em locais estratégicos (rodovias, postos de combustíveis, estacionamentos urbanos, etc.).
-

TABELA 1 – EMPLACAMENTO DE VEICULOS ELETRICOS NO BRASIL

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1.091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3.296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3.970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1.264	1.989	2.013	2.409	11.858
2020	1.568	2.053	1.570	442	601	1.334	1.668	1.943	2.113	2.273	2.231	1.949	19.745
2021	1.321	1.389	1.872	2.708	3.102	3.507	3.625	3.873	2.756	2.787	3.505	4.545	34.990
2022	2.558	3.435	3.851	3.123	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.587	49.245
2023	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435	6.225	7.462	9.351	8.458	9.537	10.601	16.279	93.927
2024	12.026	10.451	13.613	15.206	13.612								64.908
TOTAL GERAL (2012 A 2024)													285.339

FONTE: ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2024).

Crescente de histórica de emplacamentos no Brasil

TABELA 2 – EMPLACAMENTOS VE POR TECNOLOGIA

TECNOLOGIA	MAIO/24	ACUMULADO/2024	MARKETSHARE (MAIO/24)
BEV	5.175	26.014	38%
PHEV	3.882	18.249	29%
HEV FLEX	2.052	9.251	15%
HEV	1.360	6.155	10%
MHEV	1.143	5.239	8%
Total geral	13.612	64.908	

FONTE: ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2024).

2.6 TEMPO DE RECARGA E DESAFIOS TECNOLÓGICOS

A tecnologia de recarga atual no Brasil varia desde carregadores lentos (AC), que podem levar de 6 a 12 horas para uma recarga completa, até postos de recarga rápida (DC) capazes de oferecer 80% da carga do veículo em cerca de 30 minutos. Em comparação ao abastecimento de veículos a combustão (média de 5 minutos), a recarga elétrica ainda é percebida como demorada, sobretudo quando não há estações rápidas disponíveis.

Investimentos em P&D focados em baterias de maior densidade energética, sistemas de carregamento bidirecional (Vehicle-to-Grid) e infraestrutura de carregadores ultrarrápidos vêm se ampliando. Programas governamentais de incentivo e parcerias público-privadas são fundamentais para acelerar a adoção dessas tecnologias (EPE, 2022).

Outra tendência é integrar postos de recarga com geração fotovoltaica e sistemas de armazenamento em baterias estacionárias, tornando a recarga mais sustentável e reduzindo o impacto sobre a rede.

2.7 CARREGADORES PARA VEICULOS ELETRICOS

Os carregadores de veículos elétricos (EVs) desempenham um papel fundamental na expansão e funcionalidade dessa tecnologia, conectando a energia da rede elétrica às baterias do veículo. A eficiência e a compatibilidade do carregamento dependem do tipo de carregador, da potência oferecida e da tecnologia empregada.

2.7 1 Níveis De Carregamento

Os carregadores são classificados em três níveis principais, conforme especificado por Bornia e Lunke (2007):

Nível 1 – Carregamento Residencial (Lento)

- Descrição: Opera com tomadas padrão de corrente alternada (AC), sendo adequado para residências.
- Tensão: 120V (EUA) ou 220V (Brasil e Europa).
- Potência: 1,4 kW a 3,7 kW.
- Funcionamento: A energia é fornecida diretamente da tomada e convertida pelo carregador interno do veículo em corrente contínua (DC). Este tipo é mais adequado para pequenos veículos ou cargas de baixa demanda. Padoveze (2012).

Nível 2 – Carregamento Semi-Rápido

- Descrição: Requer instalação de infraestrutura específica e pode ser usado em residências ou áreas comerciais.

- Tensão: 220V a 240V (monofásico ou trifásico).
- Potência: 3,7 kW a 22 kW.
- Funcionamento: Utiliza-se um equipamento específico (wallbox) para conectar a energia da rede ao veículo. Permite maior controle e segurança na transferência de energia. Frezatti et al. (2013).

Nível 3 – Carregamento Rápido em Corrente Contínua (DCFC)

- Descrição: Realiza a transferência de energia em corrente contínua diretamente para a bateria, bypassando o carregador interno do veículo.
- Tensão: De 400V a 800V, podendo atingir 1.000V em tecnologias mais recentes.
- Potência: De 50 kW a 350 kW.
- Funcionamento: Este sistema requer um carregador externo avançado e é ideal para estações de rodovias, onde o tempo de carregamento precisa ser mínimo. Referência: Silva e Leon (2013).

TABELA 3 – RESUMO TÉCNICO NIVEIS CARREGAMENTO

Tipo de Carregador	Tensão	Potência	Tempo de Carga
Nível 1 (Lento)	120V - 220V (AC)	1,4 - 3,7 kW	8 - 20 horas
Nível 2 (Semi-rápido)	220V - 240V (AC)	3,7 - 22 kW	4 - 8 horas
Nível 3 (Rápido)	400V - 800V (DC)	50 - 350 kW	20 - 60 minutos

FONTE: Próprio autor. Resumo do tópico 5.1 Níveis de Carregamento (2024)

2.8 TIPOS DE CONECTORES

Conectores desempenham papel fundamental na compatibilidade dos veículos com as estações de carregamento.

- Tipo 1 (SAE J1772): Popular na América do Norte para níveis 1 e 2.
- Tipo 2 (IEC 62196): Padrão europeu para carregamento AC.
- CHAdeMO: Sistema japonês amplamente usado para carregamento rápido DC.
- CCS (Combined Charging System): Integra carregamento AC e DC em um único conector.
- Tesla Supercharger: Padrão proprietário para veículos Tesla. Referência: Merchant (2007).

2.9 MODELOS DE CARREGADORES WEG

A WEG oferece uma linha diversificada de estações de recarga para veículos elétricos, projetadas para atender diferentes necessidades de potência, velocidade

de recarga e segurança. A linha WEMOB (WEG Electric Mobility) é composta por quatro modelos principais:

5 WEMOB Wall (Carregador Residencial)

- Ideal para aplicações residenciais e condomínios, o modelo WEMOB Wall oferece potência de até 7,4 kW, permitindo uma recarga eficiente em ambientes domésticos.” (WEG, 2025).
- Este modelo é compacto, de fácil instalação, e atende às normas internacionais de segurança.

6 WEMOB Parking (Carregador Comercial)

- Desenvolvido para locais públicos como shoppings, estacionamentos e empresas, o WEMOB Parking permite o carregamento simultâneo de dois veículos, com potência de 22 kW por ponto.” (WEG, 2025).
- Conta com integração de gestão de energia, ideal para locais com fluxo constante de veículos.

7 WEMOB Station (Carregador Rápido para Frotas e Veículos Pesados)

- A solução WEMOB Station é projetada para atender veículos de maior porte e frotas, oferecendo potência de até 43 kW, ideal para demandas rápidas.” (WEG, 2025).
- O modelo é frequentemente utilizado em operações logísticas e locais industriais.

8 Carregador Portátil (WEG Easy CA WEMOB)

- O carregador portátil WEG Easy CA WEMOB é uma solução prática, com potência de até 4,4 kW em 220V, permitindo recargas em diferentes locais de forma segura e eficiente.” (Eletrishop, 2025).
- A portabilidade é seu diferencial, garantindo praticidade para motoristas.

Os carregadores da linha WEMOB da WEG possuem grau de proteção IP54, garantindo resistência a condições climáticas adversas e segurança durante o uso. (Agamatek, 2025)

FIGURA 3 – TIPOS DE CARREGADORES WEG



FONTE: WEG- WEMOB Estações de Recarga para Veículos Elétricos (2024), catálogo de carregadore

2.9 PÚBLICAS NO BRASIL

As políticas públicas desempenham um papel vital na promoção dos veículos elétricos. Incentivos fiscais, subsídios e parcerias público-privadas são instrumentos necessários para que o setor automotivo se ajuste às novas demandas tecnológicas.

No Brasil, a adoção de veículos elétricos ainda se encontra em fase inicial quando comparada a mercados mais consolidados, como a Europa, os Estados Unidos e a China. Nesse contexto, as políticas públicas federais e estaduais têm buscado, em diferentes níveis, promover incentivos e subsídios para fomentar a transição rumo à eletromobilidade, embora ainda existam lacunas em termos de abrangência e coordenação nacional (ANFAVEA, 2023).

Em âmbito federal, destaca-se a redução de alíquotas de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para veículos menos poluentes, o que pode beneficiar os modelos híbridos e elétricos, ainda que a medida não seja exclusiva para esse segmento. Além disso, o programa Rota 2030, instituído em 2018, busca incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias automotivas mais eficientes e sustentáveis, possibilitando redução de tributos às empresas que atingirem metas de eficiência energética e investimentos em P&D (BLOOMBERGNEF, 2023). Apesar de não se configurar como um subsídio direto para VEs, esse conjunto de incentivos contribui indiretamente para o avanço da eletromobilidade no país.

No nível estadual, algumas unidades da federação implementam políticas próprias para incentivar a aquisição de VEs. Em certos estados, por exemplo, há isenção ou redução de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e dispensa de rodízio de circulação em regiões metropolitanas. Algumas cidades, sobretudo nas capitais, também oferecem benefícios como estacionamento gratuito ou tarifado de forma diferenciada para veículos de baixa emissão. Essas medidas, embora pontuais e heterogêneas, compõem um arcabouço de incentivo local que pode estimular frotas comerciais e particulares a optarem pela eletrificação (ANFAVEA, 2023).

Adicionalmente, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) disponibiliza linhas de financiamento que podem ser aplicadas à compra de veículos elétricos ou à implantação de infraestrutura de recarga, tanto para empresas quanto para projetos de mobilidade urbana sustentável. Em paralelo, algumas iniciativas públicas e privadas surgem para viabilizar parcerias, pesquisas e desenvolvimento de tecnologias nacionais de baterias e componentes para VEs, contribuindo para a internalização dessa cadeia produtiva (IEA, 2023).

Mesmo com esses mecanismos de fomento, o mercado nacional de veículos elétricos ainda se depara com desafios estruturais, como a necessidade de expansão da rede de recarga, a redução nos custos iniciais de aquisição e a implementação de políticas de incentivo mais abrangentes e articuladas em nível federal. A inexistência de um programa nacional específico para VEs, somada à carência de previsibilidade regulatória, limita a adoção em larga escala, especialmente entre grandes frotistas que dependem de incentivos claros e sustentáveis para planejar investimentos de longo prazo (BLOOMBERGNEF, 2023).

Nesse sentido, a consolidação de políticas públicas bem definidas, com metas de redução de emissões, subsídios direcionados e incentivos fiscais específicos para veículos elétricos, mostra-se essencial para acelerar o processo de eletrificação das frotas brasileiras. Tais medidas podem abarcar desde a isenção de impostos na aquisição de VEs até a criação de programas de renovação de frotas, contemplando a compra de ônibus e caminhões elétricos para o transporte coletivo e de cargas, além do fortalecimento das ações de pesquisa e desenvolvimento, visando ampliar a competitividade local nesse segmento. Algumas federações isentam ou reduzem a alíquota de IPVA para veículos elétricos ou híbridos.

A seguir, apresenta-se uma listagem dos principais incentivos em IPVA e impostos estaduais para aquisição de veículos elétricos (VEs) ou híbridos no Brasil, organizados por número de região (conforme divisão oficial do IBGE) e por tópicos das respectivas unidades federativas. As informações refletem o panorama conhecido até o momento; no entanto, as legislações podem sofrer alterações. Recomenda-se a consulta direta às fontes oficiais de cada estado para verificar a vigência atualizada de cada medida.

I. REGIÃO NORTE

Acre (AC)

- IPVA: Não há isenção ou alíquota diferenciada conhecida para VEs ou híbridos.

Observação: A legislação estadual não dispõe de incentivos específicos para esses veículos até o momento conhecido.

Amazonas (AM)

- IPVA: Não há desconto ou isenção específica para VEs ou híbridos.
Observação: Apesar de o Estado contar com a Zona Franca de Manaus, não há, até a última atualização, benefícios específicos para IPVA de VEs.

Amapá (AP)

- IPVA: Não há registro de alíquota reduzida ou isenção para VEs ou híbridos.

Pará (PA)

- IPVA: Não existe legislação que conceda redução ou isenção para VEs ou híbridos.

Rondônia (RO)

- IPVA: Não foram identificados incentivos específicos para VEs ou híbridos.

Roraima (RR)

- IPVA: Não há registros de benefícios em IPVA ou demais impostos para VEs/híbridos.

Tocantins (TO)

- IPVA: Não há leis em vigor que concedam isenção ou alíquotas reduzidas para VEs ou híbridos.

II. REGIÃO NORDESTE

Em alguns estados do Nordeste, existem propostas e discussões sobre possíveis incentivos, mas são poucos os casos com medidas efetivamente sancionadas e vigentes.

Alagoas (AL)

- IPVA: Não se tem registro de incentivos específicos em vigor para VEs ou híbridos.

Bahia (BA)

- IPVA: Não foram identificados programas oficiais para redução de alíquota ou isenção de IPVA para VEs/híbridos.

Ceará (CE)

- IPVA: Até o momento, não consta alíquota especial ou isenção definida para VEs/híbridos.

Observação: Há discussões em andamento na Assembleia Legislativa local.

Maranhão (MA)

- IPVA: Não há informação oficial de isenção ou redução de alíquota para VEs/híbridos.

Paraíba (PB)

- IPVA: Até onde se tem notícia, não existe legislação em vigor com incentivos diretos para veículos elétricos ou híbridos.

Pernambuco (PE)

- IPVA: Existem propostas de redução de IPVA ou isenção parcial para VEs/híbridos, mas não há confirmação de lei sancionada até a última verificação.

Observação: Recomenda-se checar legislação estadual recente, pois alguns projetos tramitam na Assembleia Legislativa de Pernambuco.

Piauí (PI)

- IPVA: Não há referência a incentivos de IPVA reduzido ou isenção para VEs/híbridos.

Rio Grande do Norte (RN)

- IPVA: Não foram encontradas leis específicas de incentivo para VEs/híbridos em vigor.

Sergipe (SE)

- IPVA: Não consta redução ou isenção até o momento conhecido.

III. REGIÃO CENTRO-OESTE

Distrito Federal (DF)

- IPVA: Alíquota reduzida para VEs e híbridos (1% do valor venal, ante 3% ou 3,5% para veículos convencionais).

Observação: O DF é um dos poucos entes federativos que contemplam claramente uma alíquota reduzida para veículos elétricos e híbridos (ver Lei nº 6.466/2020, que alterou legislações anteriores).

Goiás (GO)

- IPVA: A legislação estadual não prevê isenção ou redução para VEs/híbridos.

Mato Grosso (MT)

- IPVA: Não há registro oficial de alíquota diferenciada para VEs ou híbridos.

Mato Grosso do Sul (MS)

- IPVA: Não foram identificados incentivos específicos para VEs ou híbridos.

IV. REGIÃO SUDESTE

Espírito Santo (ES)

- IPVA: Não há lei específica em vigor com redução ou isenção para VEs/híbridos.

Observação: Há discussões, mas nenhuma medida aprovada até o momento conhecido.

Minas Gerais (MG)

- IPVA: Não há desconto diferenciado oficial para VEs e híbridos; a alíquota padrão do Estado costuma ser 4%.

Rio de Janeiro (RJ)

- IPVA: Em anos recentes, vigorava uma alíquota diferenciada (1,5%) para veículos elétricos e híbridos.

Observação: É necessário conferir se permanece em vigor após atualizações legais (consulta à Lei Estadual nº 8.502/2019 e eventuais alterações).

São Paulo (SP)

- IPVA: O Estado não concede redução de IPVA para VEs ou híbridos; a alíquota padrão é 4%.

Observação (Município de São Paulo): Há isenção de rodízio para veículos elétricos e híbridos cadastrados, mas isso não impacta o IPVA, apenas circulação.

V. REGIÃO SUL

Paraná (PR)

- IPVA: Não há legislação específica concedendo alíquota ou isenção diferenciada para VEs/híbridos.

Santa Catarina (SC)

- IPVA: Não consta redução ou isenção específica para VEs/híbridos.

Observação: Projetos de lei tramitam na Assembleia Legislativa, mas não foram sancionados até a última verificação.

Rio Grande do Sul (RS)

- IPVA: Não há incentivo de IPVA reduzido para VEs/híbridos em vigor.

Observação: Existem debates sobre adoção de medidas de estímulo, q mas nada consolidado em lei até o momento.

Considerações Importantes

- Imposto de Importação (II): Em nível federal, já houve redução de 35% para faixas entre 0% e 7%, dependendo da classificação do veículo (tipo de motorização, capacidade de bateria, etc.) e do país de origem. Essas regras são atualizadas periodicamente.
- ICMS: Alguns estados discutem reduções de ICMS em veículos de baixa emissão, mas dependem de acordos no CONFAZ.
- BNDES: Disponibiliza linhas de financiamento para projetos de mobilidade sustentável, incluindo aquisição de VEs e infraestrutura de recarga.
- Outros benefícios: Em algumas capitais, há isenção de rodízio ou tarifas de estacionamento mais baixas para VEs e híbridos.
- Tendência: Várias assembleias legislativas estaduais e câmaras municipais analisam projetos de lei que podem alterar ou criar novos incentivos. Por isso, é fundamental verificar constantemente a legislação local.

Antes de adquirir um veículo elétrico ou híbrido, consulte a legislação do seu estado e/ou município para confirmação de eventuais alíquotas, reduções de IPVA e incentivos vigentes.

Abaixo podemos observar um análise real dos custos de IPVA, pelas federações que possuem isenção ou incentivos para compra de veiculos elétricos.

FIGURA 4 – ESTIMATIVA DE IPVA POR FEDERAÇÕES SUBSIDIÁRIAS

MODELO	ANO	SP (2%)	MG (1%)	RJ (0.5%)	ES (1%)	PR (1%)	DF (0%)	RS (0%)
 DOLPHIN GS	1	R\$ 2.700,00	R\$ 1.350,00	R\$ 675,00	R\$ 1.350,00	R\$ 1.350,00	-	-
	2	R\$ 2.230,00	R\$ 1.115,00	R\$ 557,50	R\$ 1.115,00	R\$ 1.115,00	-	-
	3	R\$ 1.895,42	R\$ 947,71	R\$ 473,85	R\$ 947,71	R\$ 947,71	-	-
	4	R\$ 1.611,11	R\$ 805,55	R\$ 402,77	R\$ 805,55	R\$ 805,55	-	-
	5	R\$ 1.369,45	R\$ 684,72	R\$ 342,36	R\$ 684,72	R\$ 684,72	-	-
TOTAL		R\$ 9.805,98	R\$ 4.902,98	R\$ 2.451,49	R\$ 4.902,98	R\$ 4.902,98	-	-

FONTE: Próprio autor (2024).

Este levantamento tem como base a análise de implantação feita em uma empresa de logística, com base no Espírito Santo, Brasil. Estimativa de 5 anos.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho utiliza uma abordagem qualitativa e quantitativa, combinando pesquisa exploratória e descritiva. A pesquisa qualitativa foi aplicada para analisar as tendências, desafios e oportunidades na adoção de veículos elétricos em frotas empresariais no Brasil, enquanto a abordagem quantitativa permitiu mensurar os custos operacionais, consumo energético, depreciação e outros aspectos econômicos associados à substituição de veículos a combustão por elétricos.

A pesquisa exploratória foi realizada por meio de revisão bibliográfica e documental, analisando artigos científicos, relatórios setoriais e normas técnicas de entidades como ANFAVEA, BloombergNEF, IEA e EPE, que abordam a evolução da mobilidade elétrica, infraestrutura de recarga e políticas de incentivo no Brasil e no mundo.

A pesquisa descritiva teve o objetivo de coletar, organizar e interpretar dados reais sobre veículos elétricos e a combustão, permitindo a avaliação comparativa de desempenho e viabilidade econômica para frotas empresariais. A análise incluiu indicadores como custo total de propriedade (TCO), consumo energético, custos de manutenção, infraestrutura de recarga e impacto ambiental.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para garantir confiabilidade e precisão dos resultados, o estudo foi estruturado em três etapas principais:

3.2.1 Levantamento de Dados Secundários

Nesta fase, foram coletadas informações de fontes acadêmicas, institucionais e técnicas, incluindo:

- Estudos e publicações científicas sobre mobilidade elétrica, infraestrutura de recarga e políticas públicas.
- Relatórios de mercado e institucionais, incluindo documentos de ANFAVEA, BloombergNEF, IEA e EPE, que analisam o cenário atual dos veículos elétricos no Brasil e no mundo.
- Especificações técnicas dos veículos analisados (Chevrolet Onix Sedan Premier e BYD Dolphin GS), considerando fatores como potência, torque, autonomia, consumo energético e manutenção.

3.2.2 Coleta de Dados Primários

A pesquisa utilizou dados reais de operação de veículos, considerando os seguintes aspectos:

- Cálculo do custo total de propriedade (TCO): Foram coletados dados de preço de compra, consumo energético, custo de manutenção, impostos e depreciação ao longo de 1, 3 e 5 anos.
- Análise comparativa de desempenho: Os veículos foram avaliados em relação à autonomia, eficiência energética, tempo de abastecimento/recarga e impactos na operação da frota.
- Infraestrutura de recarga: Foi analisada a disponibilidade e o impacto da infraestrutura de carregamento no Brasil, incluindo custos e tempo de carregamento em diferentes cenários.

A metodologia adotada permitiu simular a operação real dos veículos, garantindo que a análise refletisse as condições de uso no contexto brasileiro.

3.2.3 Análise Comparativa

Com base nos dados coletados, foi realizada uma análise comparativa entre os veículos elétricos e a combustão, considerando os seguintes indicadores:

- Custo total de propriedade (TCO): Comparação entre custos de aquisição, combustível/energia, manutenção e depreciação.
- Eficiência energética: Comparação do custo por quilômetro rodado entre veículos elétricos e a combustão.
- Infraestrutura e tempo de carregamento: Avaliação do impacto da infraestrutura de recarga na operação de frotas.
- Impacto ambiental: Comparação das emissões de CO₂ associadas a cada tipo de veículo.

Os resultados foram apresentados por meio de tabelas e gráficos, permitindo uma interpretação clara e objetiva dos custos e benefícios da eletrificação da frota.

3.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo apresenta algumas limitações, entre as quais se destacam:

- Falta de dados históricos sobre frotas elétricas no Brasil, o que limita a comparação de longo prazo.
- Infraestrutura de recarga ainda incipiente, o que pode impactar a viabilidade operacional da frota elétrica.
- Variações no preço da eletricidade e dos combustíveis, que podem afetar os cálculos de custo total de propriedade ao longo do tempo.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos oferecem uma base sólida para tomada de decisão, permitindo que empresas avaliem os desafios e benefícios da eletrificação de frotas com maior clareza.

4. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

A análise de viabilidade da implantação de veículos elétricos em empresas de frota requer a consideração de múltiplos fatores, como custos iniciais de aquisição, economia operacional, manutenção, disponibilidade de infraestrutura e revenda. Embora o investimento inicial possa ser elevado em comparação com veículos movidos a combustíveis fósseis, os benefícios de longo prazo, como menor custo por quilômetro rodado e isenção de certas taxas, destacam-se como pontos favoráveis à transição.

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica e operacional introdução de veículos elétricos em uma empresa de frota no estado do Espírito Santo, que opera com serviços de mobilidade urbana e rodoviária, considerando a renovação da frota a combustão (atualmente GM Onix Sedan), por uma frota 100% eletrificada (BYD Dolphin). A partir dessa análise, será possível propor estratégias que maximizem a competitividade da operação.

4.1 COMPARATIVOS TÉCNICOS

4.1.1 Motorização e Desempenho

A. Chevrolet Onix Sedan Premier

Equipado com motor 1.0 turbo de três cilindros, o Onix Premier entrega até 116 cv de potência e torque de 16,3 kgfm a 2.000 rpm. A aceleração de 0 a 100 km/h ocorre em 10,4 segundos. (Autoesporte, 2023).

B. BYD Dolphin GS

O BYD Dolphin GS é movido por um motor elétrico dianteiro de 95 cv, que entrega torque de 18,3 kgfm. A aceleração de 0 a 100 km/h é realizada em 10,9 segundos, com velocidade máxima limitada a 160 km/h. (Motor1, 2024).

TABELA 4 – COMPARATIVO TÉCNICOS

Comparativos	BYD Dolphin GS	Onix Sed. Premier
Potência Max. do Motor	95 CV	116 CV
Torque	18 Kgfm	16,3 Kgfm
Velocidade Máxima	160 Km/h	187 Km/h
Aceleração	10,9 s	10,4 s
Capacidade Bateria / Tanque	44,9 kWh	44 Litros
Autonomia	250 Km	530 Km
Entre Eixos	2700 mm	2600 mm
Peso	1815 Kg	1117 Kg
Direção	Elétrica	Elétrica
Consumo Médio	6,12 Km/kWh	12 Km/L
Tomada	Tipo 2 CCS2	-

FONTE: Próprio autor (2024).

4.1.2 Consumo/Eficiência

A. Chevrolet Onix Sedan Premier:

Com consumo médio de 8,6 km/l no etanol e 12,5 km/l na gasolina, o Onix possui um tanque de 44 litros, garantindo uma autonomia combinada de até 550 km. (Quatro Rodas, 2023).

B. BYD Dolphin GS:

O Dolphin GS, com bateria de 44,9 kWh, tem autonomia de 291 km segundo o ciclo Inmetro, sendo recarregável em até 60 kW no carregamento DC.” (Inside EVs, 2024).

Para a base de cálculos, foi testado o consumo e a eficiência energéticas dos modelos na prática, colocaram os dois veículos na mesma operação e condição de trabalho, assim como o custo por kWh do Grupo A4 tarifa Verde e o valor da Gasolina, em Vitória no estado do Espírito Santo em Fevereiro de 2024

TABELA 5 – DADOS REAIS COMPARATIVOS

DESCRIÇÃO	MEDIDA	BYD DOLPHIN GS	ONIX SED. PREMIER
Capacidade Bateria Tanque	kW L	44,9	44
Valor	kWh L	R\$ 1,60	R\$ 5,42
Recarga Abastecimento	R\$	R\$ 71,75	R\$ 238,48
Autonomia	Km	250	530

FONTE: Próprio autor. (2024)

A fórmula para o cálculo da média de consumo de combustível de um veículo é simples e amplamente utilizada para medir a eficiência energética. Ela considera a distância percorrida e a quantidade de combustível consumida durante um percurso. E fórmula para o cálculo custo por quilometragem de um veículo considera o valor de uma recarga ou abastecimento completos e a autonomia conseguida pelo veículo em sua operação.

A. Chevrolet Onix Sedan Premier:

$$\text{Média de Consumo: } \frac{\text{Quilômetros}}{\text{Abastecimento}} = \frac{530}{44} = 12 \text{ Km / L}$$

$$\text{Custo por Quilometro: } \frac{\text{Custo Abastecimento}}{\text{Autonomia}} = \frac{238,48}{530} = 0,36 \text{ R\$ / Km}$$

B. BYD Dolphin GS:

$$\text{Média de Consumo: } \frac{\text{Quilômetros}}{\text{Recarga}} = \frac{250}{44,9} = 6 \text{ Km / kW}$$

$$\text{Custo por Quilometro: } \frac{\text{Custo Recarga}}{\text{Autonomia}} = \frac{71,75}{250} = 0,25 \text{ R\$ / Km}$$

TABELA 6 – RESUMO TÉCNICO CONSUMO E EFICIÊNCIA

DESCRIÇÃO	MEDIDA	BYD DOLPHIN GS	ONIX SED. PREMIER
Capacidade Bateria Tanque	kW L	44,9	44
Valor	kWh L	R\$ 1,60	R\$ 5,42
Recarga Abastecimento	R\$	R\$ 71,75	R\$ 238,48
Autonomia	Km	250	530
Consumo Médio	Km/kW Km /L	6	12
Custo por Quilometragem	R\$ / Km	R\$ 0,25	R\$ 0,36

FONTE: Próprio autor. (2024)

O resumo técnico mostra na prática que o BYD Dolphin GS tem um eficiência maior em relação ao Onix Sedan Premier, na relação custo por quilômetros.

Dados Operacionais:

Para essa análise de viabilidade a estimativa do custo de manutenção (ECM), é ponto indispensável para a gestão eficiente dos ativos e para o planejamento financeiro de uma empresa. O custo de manutenção pode ser calculado com base em diferentes fatores, dependendo da complexidade do equipamento ou sistema e do tipo de manutenção (preventiva, preditiva ou corretiva). A seguir, são descritos os principais componentes usados para estimar os custos com base na operação:

1. Custos com Manutenção Preventiva (Plano de Manutenção Concessionaria)
2. Custos com Manutenção Corretiva (Estimado 40% do custo de preventivas)
3. Custos com Pneus (Base no valor de mercado e expectativa de rodagem km)

A. Chevrolet Onix Sedan Premier:

- Progressão da aceleração pela caixa de mudanças
- Barulho constante do funcionamento do motor
- Abastecimento completo em 3 minutos
- Emissão de 150 g de CO₂/km
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) de R\$ 0,093
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 1º ano de R\$ 0,021
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 3º ano de R\$ 0,025
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 5º ano de R\$ 0,027

B. BYD Dolphin GS:

- Potência máxima disponível imediatamente na aceleração
- Silêncio durante a condução
- Carga completa da bateria em AC: 6 horas
- Carga completa da bateria em DC: 45 min
- Emissão 3,5 g de CO₂/km (0g durante a condução)
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 1º ano de R\$ 0,071
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 3º ano de R\$ 0,093
- ECM (Estimativa do Custo de Manutenção) por Km no 5º ano de R\$ 0,10

TABELA 7 – COMPARATIVOS OPERACIONAIS

DESCRIÇÃO	ONIX SED. PREMIER	DOLPHIN GS
Quilometragem por Ano	60.000 KM	60.000 KM
Ciclo de Preventivas	6 Revisões	3 Revisões
Periodicidade Preventiva	10.000 Km	20.000 Km
Consumo Médio	12 Km/L	6,48 Km/kW
Preço Médio Abastecimento	R\$ 5,42 / L	R\$ 1,60 / kW
Garantia por Idade	3 Anos	5 Anos
Garantia por Quilometragem	100.000	500.000
Garantia da Bateria	-	8 Anos
Garantia da Bateria por Quilometragem	-	Sem limite de km

FONTE: Próprio autor. (2024)

4.2 COMPARATIVO DE CUSTO POR KM

Economia de custos total por ciclo:

1. Ciclo 1 – 60.000 Km

TABELA 8 – COMPARATIVO PARA 1 ANO DE OPERAÇÃO

Ciclo de 60.000 Km	BYD Dolphin GS	Onix Sed. Premier	Economia
Custo com Combustível	R\$ 16.000,00	R\$ 27.100,00	R\$ 11.100,00
Consumo R\$/KM	R\$ 0,27	R\$ 0,45	R\$ 0,19
Custo de Manutenção	R\$ 4.260,00	R\$ 12.600,00	R\$ 8.340,00
Manutenção R\$/KM	R\$ 0,07	R\$ 0,21	R\$ 0,14

FONTE: Próprio autor. (2024)

Economia Total (R\$/Km): (Combustível (R\$/Km) + Manutenção (R\$/Km)) x Quilometragem (Km)

Economia Total (R\$/Km): (R\$ 0,19 + R\$ 0,14) x 60.000

Economia Total (R\$/Km): R\$ 19.440,00

2. Ciclo 2 – 180.000 Km

TABELA 9 – COMPARATIVO DE CUSTO PARA 3 ANOS

Ciclo de 180.000 Km	BYD Dolphin GS	Onix Sed. Premier	Economia
Custo com Combustível	R\$ 48.000,00	R\$ 81.300,00	R\$ 33.300,00
Consumo R\$/KM	R\$ 0,27	R\$ 0,45	R\$ 0,19
Custo de Manutenção	R\$ 16.740,00	R\$ 45.000,00	R\$ 28.260,00
Manutenção R\$/KM	R\$ 0,09	R\$ 0,25	R\$ 0,16

FONTE: Próprio autor. (2024)

Economia Total (R\$/Km): ((Combustível (R\$/Km) + Manutenção (R\$/Km)) x Quilometragem (Km)

Economia Total (R\$/Km): (R\$ 0,19 + R\$ 0,16) x 180.000

Economia Total (R\$/Km): R\$ 61.560,00

3. Ciclo 3 – 300.000 Km

TABELA 10 – COMPARATIVO DE CUSTO PARA 5 ANOS

Ciclo de 300.000 Km	BYD Dolphin GS	Onix Sed. Premier	Economia
Custo com Combustível	R\$ 80.000,00	R\$ 135.500,00	R\$ 55.500,00
Consumo R\$/KM	R\$ 0,27	R\$ 0,45	R\$ 0,19
Custo de Manutenção	R\$ 30.000,00	R\$ 81.000,00	R\$ 51.000,00
Manutenção R\$/KM	R\$ 0,10	R\$ 0,27	R\$ 0,17

FONTE: Próprio autor. (2024)

Economia Total (R\$/Km): ((Combustível (R\$/Km) + Manutenção (R\$/Km)) x Quilometragem (Km)

Economia Total (R\$/Km): (R\$ 0,19 + R\$ 0,17) x 300.000

Economia Total (R\$/Km): R\$ 106.500,00

4.3 REVENDA DE VEICULOS ELETRICOS

A revenda de carros elétricos no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, principalmente devido à depreciação acelerada, à infraestrutura de recarga limitada e à rápida evolução tecnológica dos modelos mais novos. Enquanto o mercado de

veículos elétricos cresce, a aceitação do consumidor para a compra de modelos usados ainda é um obstáculo.

1. Depreciação e Dificuldade de Revenda

- “Veículos elétricos usados podem perder até 47% do seu valor em dois anos, enquanto modelos a combustão apresenta uma depreciação menor no mesmo período.” (O Tempo, 2024).
- “A evolução rápida da tecnologia das baterias impacta a revenda dos modelos mais antigos, tornando-os menos atrativos no mercado de seminovos.” (IstoÉ, 2024).
- “No mercado global, a desvalorização de carros elétricos tem sido superior à de veículos convencionais, refletindo um cenário de incerteza sobre a durabilidade das baterias e o custo de reposição.” (IstoÉ, 2024).

2. Infraestrutura de Recarga e Impacto na Revenda

- “A falta de uma rede de recarga abrangente no Brasil ainda gera insegurança para quem deseja comprar um carro elétrico usado, pois limita a usabilidade em diferentes regiões do país.” (CNN Brasil, 2024).
- “O tempo de recarga e a necessidade de adaptações elétricas em residências também são fatores que impactam a decisão de compra de um elétrico seminovo.” (O Tempo, 2024).

FIGURA 5 – CARREGADORES WEG X TEMPO DE RECARGA

CARREGADOR	POTÊNCIA	CAPACIDADE DE CARGA	TIPO	VALOR	TEMPO DE CARREGAMENTO
 WEG WALL	7.4 KW	7.4 KWh	TIPO 2 ALTERNADA	R\$ 4.622,59	6H 05 MIN
 WEG PARKING	22 KW	2 VEÍCULOS A 7.4 KWh (LIMITAÇÃO CONVERSOR)	TIPO 2 ALTERNADA	R\$ 12.732,41	6H 05 MIN (POR VEÍCULO)
 STATION PARKING	30 KW	30 KWh	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 56.905,00 R\$ 4.876,87 (TOTEN)	1H 30 MIN
	40 KW	40 KWh	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 71.155,00 R\$ 4.876,87 (TOTEN)	1H 06 MIN

FONTE: Próprio autor (2024).

FIGURA 6 – CARREGADORES ALTA POTÊNCIA X TEMPO DE RECARGA

CARREGADOR	POTÊNCIA	CAPACIDADE DE CARGA	TIPO	VALOR	TEMPO DE CARREGAMENTO
 STATION PARKING	60 KW	60 KWh (1 veículo) 30 KWh (2 veículos)	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 129.000,00 R\$ 4.876,87 (TOTEN)	45 MIN (1 veículo) 1H 30 MIN (2 veículos)
	80 KW	60 KWh (1 veículo) 40 KWh (2 veículos)	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 159.000,00 R\$ 4.876,87 (TOTEN)	45 MIN (1 veículo) 1H 06 (2 veículos)
 STATION PARKING	120 KW	60 KWh (LIMITAÇÃO CONVERSOR)	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 209.000,00	45 MIN
	240 KW	60 KWh (LIMITAÇÃO CONVERSOR)	TIPO CCS2 CONTÍNUA	R\$ 349.000,00	45 MIN

FONTE: Próprio autor (2024).

Recarga de uma bateria com 44,9 kWh.

3. Estratégias para Minimizar a Desvalorização

- “Algumas montadoras já implementaram programas de recompra, como a BYD, que oferece recompra de veículos elétricos usados por até 90% do valor da tabela Fipe após um ano de uso.” (IstoÉ, 2024).
- “Empresas de locação de veículos, como Localiza e Movida, estão reavaliando suas frotas de veículos elétricos devido à dificuldade na revenda, o que impacta o volume de veículos disponíveis no mercado secundário.” (CNN Brasil, 2024).
- “Com o crescimento do mercado de eletrificados no Brasil, soluções como assinatura de veículos elétricos podem reduzir a preocupação com a desvalorização e impulsionar o mercado.” (O Tempo, 2024).

4. Crescimento do Mercado e Perspectivas

- “Apesar das dificuldades, o mercado de veículos elétricos cresceu 90% nas vendas de modelos eletrificados no Brasil entre janeiro e julho de 2024.” (IstoÉ, 2024).
- “O avanço na tecnologia das baterias e incentivos fiscais poderão melhorar a valorização dos elétricos no mercado de seminovos nos próximos anos.” (CNN Brasil, 2024).

4.4 CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE (TCO)

O Total Cost of Ownership (TCO), ou Custo Total de Propriedade, é um método de análise financeira que calcula o custo total de um ativo ao longo de sua vida útil. No caso dos veículos elétricos e a combustão, o TCO é utilizado para comparar os gastos ao longo do tempo, incluindo aquisição, manutenção, combustível/energia e outros fatores.

A fórmula geral do TCO é:

$$TCO = CA + CC + CM + CL - VD$$

Onde:

- CA = Custo inicial do veículo (preço de compra ou leasing).
- CC = Gastos com combustível (combustão) ou eletricidade (elétricos).
- CM = Custos com revisões, peças de reposição e mão de obra.
- CL = Custos de IPVA, taxas e seguros.
- VD = Valor de revenda do veículo no final do período de uso.

TABELA 11 – COMPARATIVO DO TCO PARA 1 ANO

Modelo	CA	CM	CC	CL	VD	TCO Final
Onix Sed. Premier	R\$ 104.541,00	R\$ 12.600,00	R\$ 27.100,00	R\$ 1.159,27	R\$ 89.478,00	R\$ 55.922,27
BYD Dolphin GS	R\$ 135.000,00	R\$ 4.260,00	R\$ 16.000,00	R\$ 1.350,00	R\$ 94.500,00	R\$ 62.110,00

FONTE: Próprio autor. (2024)

No primeiro ano, podemos observar pelos cálculos que o custo total de propriedade do Onix é inferior e conseqüentemente mais viável que o Dolphin.

TABELA 12 – COMPARATIVO DO TCO PARA 3 ANOS

Modelo	CA	CM	CC	CL	VD	TCO Final
Onix Sed. Premier	R\$ 104.541,00	R\$ 45.000,00	R\$ 81.300,00	R\$ 3.141,46	R\$ 75.165,00	R\$ 158.817,46
BYD Dolphin GS	R\$ 135.000,00	R\$ 16.740,00	R\$ 48.000,00	R\$ 3.412,71	R\$ 54.000,00	R\$ 149.152,71

FONTE: Próprio autor. (2024)

No terceiro ano, podemos observar que pelos cálculos que o custo total de propriedade do Dolphin e do Onix se inventem, tornando viável a frota 100% elétrica.

TABELA 13 – COMPARATIVO DO TCO PARA 5 ANOS

Modelo	CA	CM	CC	CL	VD	TCO Final
Onix Sed. Premier	R\$ 104.541,00	R\$ 81.000,00	R\$ 135.500,00	R\$ 4.747,30	R\$ 59.471,00	R\$ 266.317,30
BYD Dolphin GS	R\$ 135.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 4.912,98	R\$ 33.750,00	R\$ 216.162,98

FONTE: Próprio autor. (2024)

No quinto ano, o custo total de propriedade do Dolphin se manter menor que o Onix, mantendo sua viabilidade.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DO CASO

A análise revela que o desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga adequada é um dos maiores desafios para o sucesso dos VEs no Brasil. A implementação de estações de recarga rápidas e acessíveis é uma das áreas onde existem os maiores desafios.

Podemos observar com este estudo que, a infraestrutura e a revenda dos ativos como também o tempo de carregamento de carros elétricos, não atendem a expectativa para grandes aplicações em frota, o auto investimento também se torna algo discrepante, as mudanças e lançamentos de novos modelos também impactam direto nessa revende, e a facilidade de abastecimento e o volume de postos de combustíveis continuam com maior atratividade.

Em relação aos custos de propriedade, podemos analisar que os veículos a combustão, tem maior efetividade em seu primeiro ano, porem os veículos elétricos, começar a ter eficiência a longo prazo. A sazonalidade e a insegurança do mercado na revenda ser torna um ponto atenção e insegurança dos investidores.

Do ponto de vista operacional, o veículo elétrico tem maior eficiência em quase todos os aspectos, os custos de manutenção e abastecimento são bem inferiores ao veículo a combustão, porém os custos de IPVA e tempo de carregamento, inviabilizam a aplicação no projeto. A aplicação em mobilidade, não comporta um tempo de carregamento superior a 10 minutos, pois o volume de frotas rodando é o que compensa o faturamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para veículos elétricos é uma tendência global que visa reduzir as emissões de carbono e promover a mobilidade sustentável. No entanto, sua viabilidade em frotas empresariais no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, incluindo custos iniciais elevados, infraestrutura de recarga limitada e incertezas sobre a revenda de veículos usados. Este estudo demonstrou que, apesar das barreiras, os veículos elétricos apresentam vantagens operacionais e financeiras a longo prazo, especialmente quando analisados sob a ótica do custo total de propriedade (TCO).

Os resultados indicaram que no curto prazo, veículos a combustão como o Chevrolet Onix Sedan Premier ainda possuem maior viabilidade financeira devido ao menor custo de aquisição e maior autonomia. No entanto, a partir do terceiro ano, a redução dos custos com energia e manutenção faz com que o BYD Dolphin GS se torne mais competitivo. Além disso, a garantia estendida das baterias e os incentivos fiscais podem contribuir para uma maior atratividade do veículo elétrico em frotas.

Entretanto, a falta de uma rede de recarga robusta no Brasil e a necessidade de longos períodos de carregamento ainda representam desafios significativos. Para frotistas que operam em regimes de alta utilização, o tempo de parada para recarga pode impactar a eficiência operacional. A desvalorização acelerada dos elétricos também se mostrou um fator preocupante, visto que modelos seminovos ainda enfrentam dificuldades no mercado de revenda.

Diante desse contexto, recomenda-se que empresas avaliem cuidadosamente suas operações, as distâncias percorridas diariamente e a disponibilidade de infraestrutura de carregamento antes de optar pela eletrificação de suas frotas. Além disso, políticas públicas mais estruturadas e incentivos fiscais podem desempenhar um papel fundamental na aceleração da adoção dos veículos elétricos no Brasil.

A eletromobilidade se apresenta como uma solução promissora para frotas empresariais, mas sua viabilidade depende de uma estratégia bem planejada, que leve em consideração custos, infraestrutura e incentivos governamentais. Futuras pesquisas podem aprofundar a análise de impactos ambientais e avaliações de longo prazo sobre o desempenho dos veículos elétricos em diferentes segmentos de transporte.

7 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C. D.; ANDERSON, J. *Electric and Hybrid Cars: A History*. 2. ed. Jefferson: McFarland & Company, 2010.
- ANFAVEA. *Relatório da Indústria Automobilística Brasileira 2023*. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/>.
- BLOOMBERGNEF. *Electric Vehicle Outlook 2023*. Nova York: Bloomberg New Energy Finance, 2023. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
- BYD. *BYD Sustainability and Annual Report 2023*. Shenzhen: BYD Company Limited, 2023. Disponível em: <https://www.byd.com/en/>.
- CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD (CARB). *Advanced Clean Cars Program*. Sacramento, 2023. Disponível em: <https://ww2.arb.ca.gov/>.
- COMISSÃO EUROPEIA. *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality*. Bruxelas: Comissão Europeia, 2022. Disponível em: <https://ec.europa.eu/>.
- GENERAL MOTORS. *2023 Sustainability Report*. Detroit: General Motors, 2023. Disponível em: <https://www.gm.com/>.
- IEA. *Global EV Outlook 2023*. Paris: International Energy Agency, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.
- KIRSCH, D. A. *The Electric Vehicle and the Burden of History*. New Brunswick: Rutgers University Press, 2000.
- NISSAN. *Nissan Sustainability Report 2023*. Yokohama: Nissan Motor Corporation, 2023. Disponível em: <https://www.nissan-global.com/EN/IR/Library/SR/>.
- TOYOTA. *Toyota Environmental Challenge 2050*. Toyota Motor Corporation, 2022. Disponível em: <https://global.toyota/en/sustainability/esg/challenge2050/>.
- VOLKSWAGEN. *Shaping Mobility for Generations to Come: The ID. Family*. Wolfsburg: Volkswagen, 2021. Disponível em: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/id-family-5842>.
- ANFAVEA. *Relatório da Indústria Automobilística Brasileira 2023*. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/>.
- BLOOMBERGNEF. *Electric Vehicle Outlook 2023*. Nova York: Bloomberg New Energy Finance, 2023. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
- BRASIL. *Constituição (1988)*. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- DISTRITO FEDERAL. *Lei nº 6.466, de 27 de janeiro de 2020*. Altera a Lei nº 4.567, de 9 de maio de 2011, que dispõe sobre benefícios fiscais relativos ao Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA, e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 28 jan. 2020. Disponível em: <https://www.cl.df.gov.br/>.
- RIO DE JANEIRO. *Lei nº 8.502, de 11 de junho de 2019*. Reduz a base de cálculo do IPVA para veículos movidos à energia elétrica, hidrogênio ou híbridos e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 12 jun. 2019. Disponível em: <https://alerjln1.alerj.rj.gov.br/>.
- SECRETARIAS DE FAZENDA ESTADUAIS (vários estados). *Portais e sites oficiais de legislação tributária*. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em:

<https://www.confaz.fazenda.gov.br/> (Portal do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ) e sites específicos de cada Secretaria de Fazenda Estadual.

- ARVALHO, A. Inovações e pioneirismo da Gurgel Motores no Brasil. Revista Engenharia & Mobilidade, v. 5, n. 2, p. 45-56, 2020.
- GURGEL, J. A. C.; GURGEL, M. Gurgel: a saga de uma indústria 100% brasileira. São Paulo: Editora TechCar, 2018.
- LIMA, F. W. A história da Gurgel e seus carros nacionais. Carplace, 2012. Disponível em: <https://www.carplace.com.br/historia-da-gurgel>.
- NEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/dados-e-factos>.
- EPE. Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transporte-e-industria-representaram-64-8-do-consumo-de-energia-do-pais-em-2023>
- IEA. Global EV Outlook 2023. Paris: International Energy Agency, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.
- Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). Relatório Anual 2023.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). "Balanço Energético Nacional", 2023.
- BARAN, Renato. "A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade". 2012.
- JACINTO, T. D. P. "Proposta de Controle do Impacto da Inserção de Veículos Elétricos no Custo Marginal de Operação em Estudos de Planejamento Energético". Juiz de Fora, 2017
- Bornia, A. C., & Lunkes, R. J. (2007). Gestão Orçamentária e Controle. São Paulo: Atlas.
- Frezatti, F., Relvas, T. R., & Giovannini, R. G. (2013). Planejamento e Controle Orçamentário. São Paulo: Atlas.
- Lunkes, R. J. (2003). Controladoria: Teoria e Prática. Porto Alegre: Bookman.
- Merchant, K. A. (2007). Modern Management Control Systems: Text and Cases. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Padoveze, C. L. (2012). Controladoria Estratégica e Operacional. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Silva, A. P., & Leon, E. G. (2013). Inovação e Competitividade no Setor Automotivo. Rio de Janeiro: Elsevier..
- Revista Contemporânea, v. 4, n. 2, 2024. "Desafios e Objetivos na Implementação de Modelos Automobilísticos Elétricos no Brasil".
- MAISSOBRECARROS – Brasil, o pioneiro em veiculos elétricos (2024).
- Motorshow – “Federações que oferecem isenção ou redução na alíquota de IPVA para veiculos elétricos ou híbridos.”
- WEG- WEMOB Estações de Recarga para Veículos Elétricos (2024), catalogo de carregadores.
- BYD Auto Brasil – Ficha técnica BYD Dolphin (2024).
- WEG. (2025). Soluções de Mobilidade Elétrica - WEMOB. Disponível em: <https://www.weg.net>
- Eletrishop. (2025). Carregador Portátil WEG Easy CA WEMOB. Disponível em: <https://www.eletrishop.com.br>

- Agamatek. (2025). Estação de Recarga WEMOB. Disponível em: <https://www.agamatek.com.br>
- O Tempo. (2024). Carros elétricos no Brasil enfrentam alta depreciação e estoques acumulados. Disponível em: <https://www.otempo.com.br>
- IstoÉ. (2024). Queda nos preços de revenda de carros elétricos atinge o mercado global. Disponível em: <https://www.istoe.com.br>
- CNN Brasil. (2024). Até locadoras estão desistindo de trabalhar com carros elétricos. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br>