PDE 2036

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2036

Eletromobilidade

Novembro 2026

epe 20+

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO



FICHA TÉCNICA

PDE 2036 | Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2036
Caderno de Eletromobilidade

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo
Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretário Nacional de Energia Elétrica
João Daniel de Andrade Cascalho

Secretário Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Substituto
Anderson Barreto Arruda

Secretário Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Renato Cabral Dias Dutra

Secretária Nacional de Transição Energética e Planejamento
Mariana de Assis Espécie

www.mme.gov.br

epe 20+

Presidente
Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Reinaldo da Cruz Garcia

Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis Interino
Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Gestão Corporativa
Carlos Eduardo Cabral Carvalho

www.epe.gov.br

Composição dos cargos em 13 de novembro de 2026

Rio de Janeiro, 2026

Foto da capa: Pexels/Kindel Media.



FICHA TÉCNICA

PDE 2036 | Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2036
Caderno de Eletromobilidade

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE

Coordenação Executiva
Angela Oliveira da Costa
Carla da Costa L. Achão
Elisangela Medeiros de Almeida
Gustavo Pires da Ponte
Thiago de Faria R. Dourado Martins

Coordenação Técnica
Arnaldo dos Santos Junior
Bruno Scola Lopes da Cunha
Gabriel Konzen
Marcelo C. B. Cavalcanti
Marcos V. G. da S. Farinha
Patrícia Feitosa Bonfim Stelling
Patricia Costa Gonzalez de Nunes
Rachel Martins Henriques
Rafael Barros Araujo
Renata de Azevedo M. da Silva

Autores
Allex Yujhi Gomes Yukizaki
Bruno R. L. Stukart
Caroline Chantre Ramos
Daniel Silva Moro
Erick Mateus Silva de Oliveira
Glaysson de Mello Muller
Guilherme de Paula Salgado
Gustavo Cezimbra Borges Leal
Leonardo Gandelman Freire
Leticia Gonçalves Lorentz
Lucas Simões de Oliveira
Marcos Ribeiro Conde
Mariana Lucas Barroso
Pedro Paulo Fernandes da Silva
Rafael Belém Lavrador
Santiago Silveira Barbosa
Thais Pacheco Teixeira
Tiago Veiga Madureira



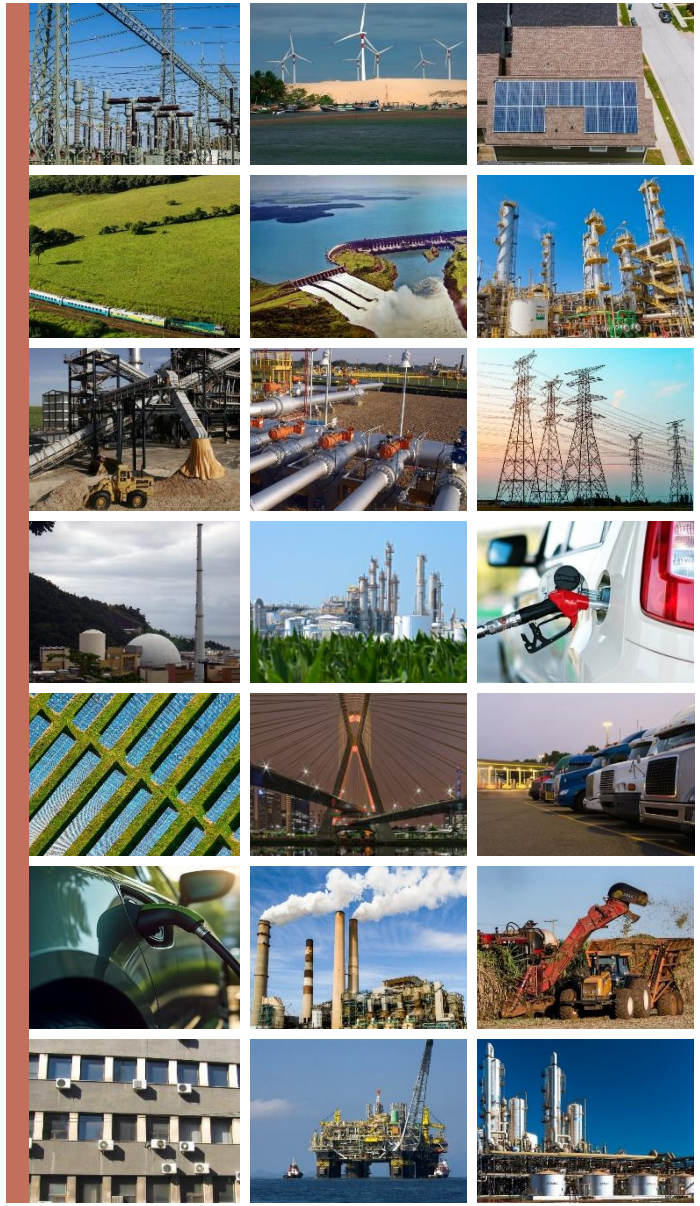
PDE 2036

Caderno de Eletromobilidade

Valor Público

Os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) orientam a formulação de políticas públicas, ajudam a guiar as decisões de diversas partes interessadas, como governos, empresas e a sociedade civil, e contribuem para a segurança energética do País.

O Caderno de Eletromobilidade, no âmbito do PDE 2036, busca reduzir a assimetria de informações, disseminando os contextos internacional e nacional e apresentando as perspectivas de eletrificação de veículos leves e pesados no Brasil, assim como a demanda esperada por baterias e minerais estratégicos. Análises inéditas relacionadas aos reflexos do aumento da eletromobilidade no setor elétrico se traduzem como elementos adicionais, permitindo a ampliação da transparência nos debates.



AVISOS

Esta publicação contém projeções acerca de eventos futuros que refletem a visão da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no âmbito do Plano Decenal de Expansão de Energia 2036 (PDE 2036). Tais projeções envolvem uma ampla gama de riscos e incertezas conhecidos e desconhecidos e, portanto, os dados, as análises e quaisquer informações contidas neste documento não são garantia de realizações e acontecimentos futuros.

Este documento possui caráter informativo, sendo destinado a subsidiar o planejamento do setor energético nacional.

A EPE se exime de responsabilidade por quaisquer ações e tomadas de decisão que possam ser realizadas por qualquer pessoa física ou jurídica com base nas informações contidas neste documento.

Controle de versões

Versão	Data	Descrição
v1	16/11/2026	Publicação inicial.

SUMÁRIO

- Contexto internacional
- Brasil: Investimentos e infraestrutura de recarga
- Eletrificação de veículos leves
- Eletrificação de veículos pesados
- Implicações e oportunidades para o setor elétrico
- Demanda por baterias e seus minerais estratégicos
- Aspectos socioambientais da eletromobilidade
- Considerações finais

SIGLAS E DEFINIÇÕES

Siglas

BEV: Veículo elétrico a bateria (*Battery Electric Vehicle*)

CI: Combustão interna

CMT: Capacidade máxima de tração

EREV (ou REEV): Veículo elétrico com extensor de autonomia (*Electric Range-Extended Vehicle*)

FCEV: Veículo elétrico a célula de combustível (*Fuel Cell Electric Vehicle*)

GEE: Gases de efeito estufa

GNC: Gás natural comprimido

GNL: Gás natural liquefeito

GNV: Gás natural veicular

HEV[1]: Híbrido completo (*Hybrid Electric Vehicle*)

IEA: Agência Internacional de Energia

LFP: Fosfato de ferro e lítio

MCI: Motor a combustão interna

MHEV[2]: Híbrido leve (*Mild Hybrid Electric Vehicle*)

NCA: Óxido de lítio, níquel, cobalto e alumínio

NMC: Óxido de lítio, níquel, manganês e cobalto

NMCA: Óxido de lítio, níquel, manganês, cobalto e alumínio

PBT: Peso bruto total

PBTC: Peso bruto total combinado

PHEV: Híbrido recarregável (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*)

RED: Recursos energéticos distribuídos

SUV: Veículo utilitário esportivo (*Sport Utility Vehicle*)

TCO: Custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership*)

TOU: Tarifas diferenciadas no tempo (*time-of-use*)

VE: Veículo elétrico

Definições

Automóveis: Veículos destinados ao transporte de passageiros (ex. hatch, sedã, minivan, conversível, SUV e utilitários).

Comerciais leves: Veículos comerciais para transporte de pessoas e/ou carga, com PBT de até 3,5 toneladas (ex. picape, furgões e vans).

Veículos leves: Automóveis, motocicletas e comerciais leves

Veículos pesados: Caminhões e ônibus

Veículos elétricos: BEV + PHEV + FCEV

Veículos eletrificados: BEV + PHEV + EREV + HEV + FCEV

Categorias de caminhões:

Semileves: 3,5 t < PBT < 6 t

Leves: 6 t ≤ PBT < 10 t

Médios: 10 t ≤ PBT < 15 t

Semipesados:

Caminhões-chassi com PBT ≥ 15 t e com CMT ≤ 45 t, ou

Caminhões-trator com PBT ≥ 15 t e com PBTC < 40 t

Pesados:

Caminhões-chassi com PBT ≥ 15 t e com CMT > 45 t, ou

Caminhões-trator com PBT ≥ 15 t e com PBTC ≥ 40 t

Notas: (1) Cabe destacar que o setor automobilístico e o mercado tratam os HEV como eletrificados. Uma vez que estes veículos licenciados (incluindo importados) contêm baterias, são considerados para fins de cálculo do montante necessário de materiais estratégicos para baterias. No que tange ao cálculo de demanda de eletricidade, os HEVs não são considerados; (2) MHEV não são contabilizados como eletrificados, sendo agregados aos veículos a CI.

PDE 2036

Contexto internacional

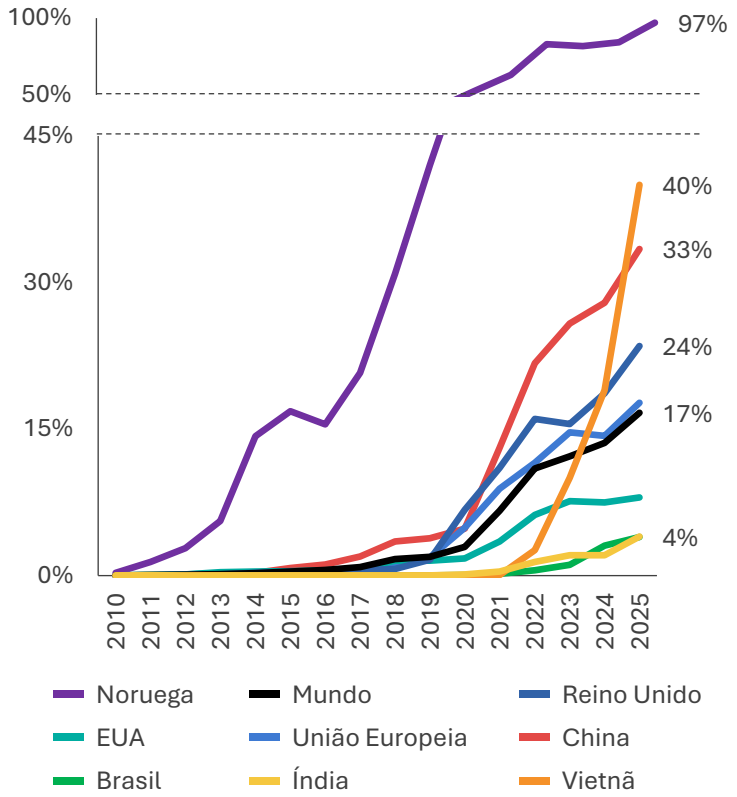
epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

A eletrificação avança, enquanto a hibridização também ganha espaço nas frotas mundiais

- Globalmente, **as vendas de veículos elétricos a bateria (BEV) crescem de modo aproximadamente linear**, e não exponencial.
- Entre 2023 e 2025**,** destaca-se o **aumento da participação de veículos elétricos** nas vendas de automóveis novos nos países do **Sudeste Asiático** (de 5% para 18%), especialmente no **Vietnã** (de 10% para 40%), e no **Brasil** (de 3% para 9%). Esse movimento foi impulsionado pelo crescimento expressivo das exportações chinesas, à medida que a China busca novos mercados.
- No mesmo período, o **crescimento na Europa perdeu força**, em um contexto de restrições às importações de veículos chineses, redução de subsídios e atrasos nos investimentos das montadoras europeias em linhas de produção de veículos elétricos.
- **As vendas de veículos híbridos *plug-in* (PHEV) apresentam uma inflexão nos mercados maduros**, abrindo espaço para BEVs.

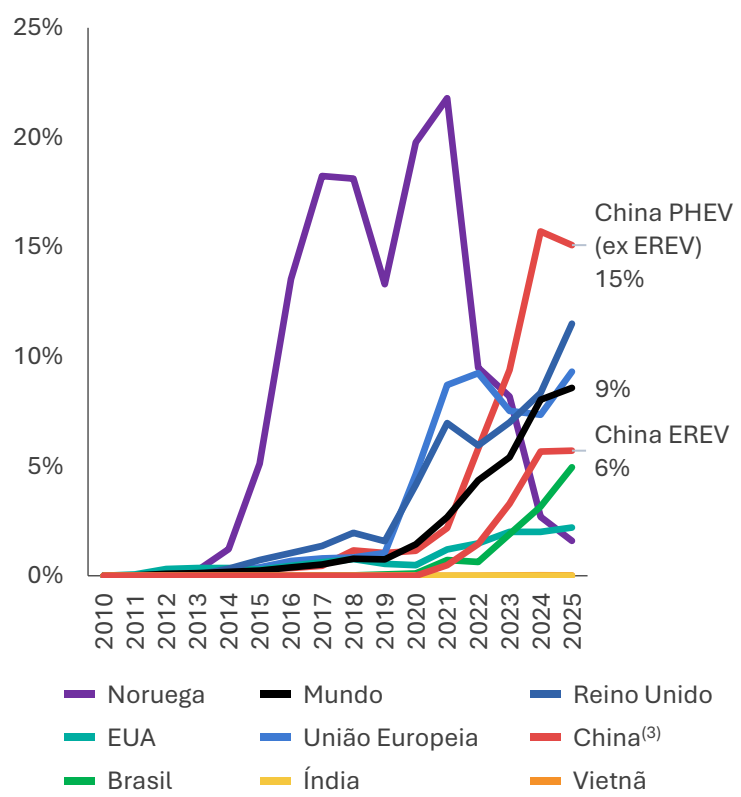
Participação do BEV nas vendas de automóveis

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Participação do PHEV[3] nas vendas de automóveis

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



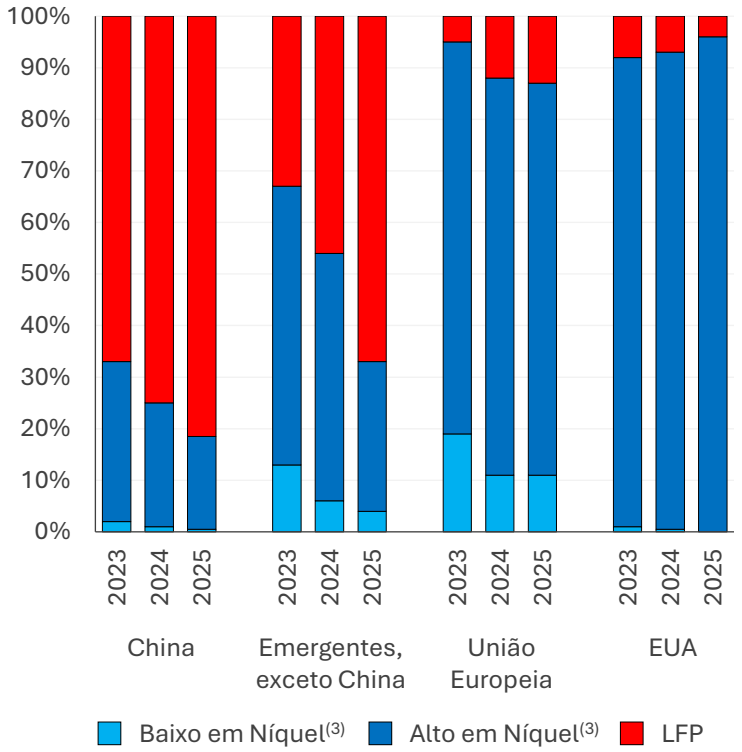
Notas: (1) **Veículos eletrificados:** Compreendem os veículos com algum grau de eletrificação do sistema de propulsão, incluindo BEV, HEV, PHEV, EREV e FCEV; (2) **Veículos elétricos:** Neste caderno, são considerados elétricos exclusivamente os veículos cuja propulsão é realizada por motor elétrico, responsável por fornecer torque às rodas. Essa definição abrange os BEV, PHEV e FCEV; (3) Somente a China apresentou venda relevante de EREV, motivo pelo qual as vendas foram desmembradas em duas categorias distintas. Para os demais países, as vendas de EREV foram desconsideradas.

A queda dos preços das baterias impulsiona a expansão dos veículos elétricos

- **Os preços das baterias permanecem em trajetória de queda.** Esse movimento ocorre em todas as regiões, mas é **particularmente acentuado na China**.
- Em 2025, a **disseminação das baterias LFP**, cujos materiais são mais abundantes e, portanto, mais baratos(1), contribuiu para a redução dos custos de fabricação. Essa tecnologia correspondeu a **50% de todas as baterias veiculares vendidas globalmente**.
- Além disso, com o aumento da escala de produção, **as vendas de veículos elétricos a bateria alcançaram 14 milhões de unidades em 2025**, enquanto as de PHEV totalizaram 7,2 milhões.
- A ampliação da escala produtiva e a experiência acumulada permitiram automatizar processos e aumentar a eficiência das fábricas chinesas, reduzindo os custos de manufatura. **Os ganhos de eficiência na produção ajudam a explicar a diferença de preços dos veículos chineses** em relação aos de outros países (IEA; McKinsey).

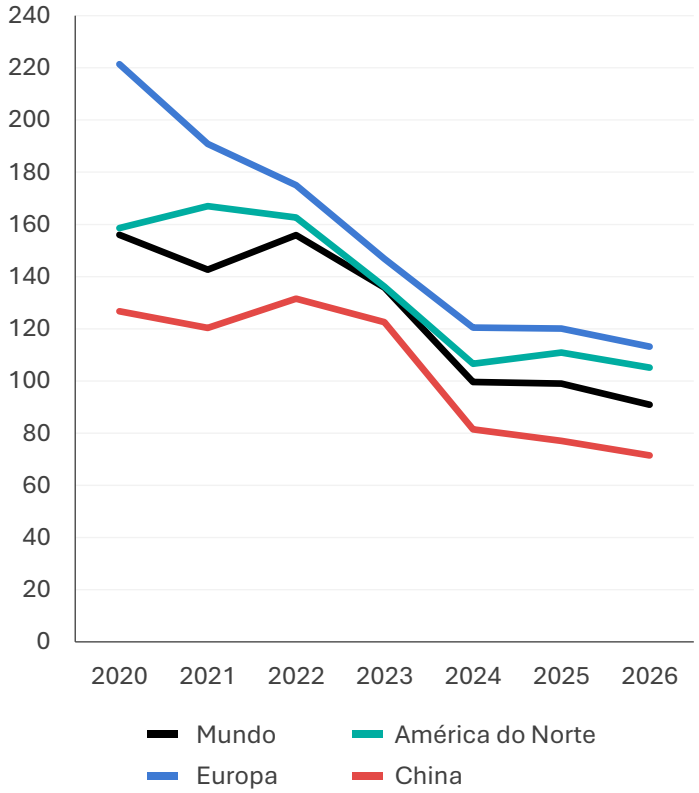
Participação das vendas de baterias para VEs por tipo e região(2)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Preço de baterias por região (US$/kWh)

Fonte: Elaboração própria a partir de BloombergNEF.

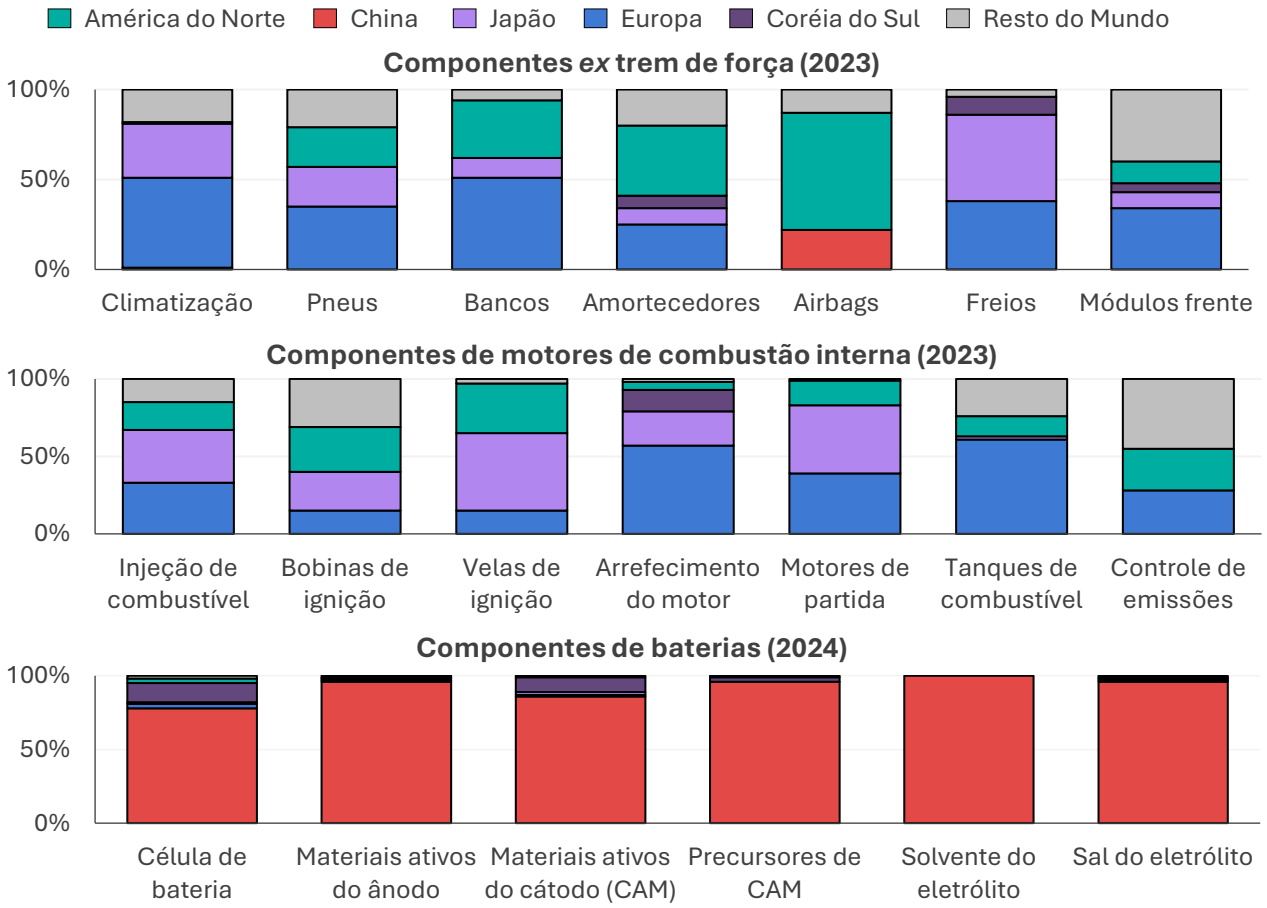


Notas: (1) O material ativo do cátodo é o componente individual mais importante na determinação dos custos de produção das células de bateria, representando 40% a 50% dos custos nas baterias de óxido de lítio, níquel, manganês e cobalto (NMC) e de 25% a 30% nas baterias de fosfato de ferro e lítio (LFP). Em 2025, os conjuntos de baterias LFP foram, em média, mais de 40% mais baratos por kWh do que as alternativas NMC (IEA); (2) O gráfico não inclui baterias de motos; (3) Baixo Níquel inclui NMC333, NMC442 e NMC532. Alto níquel inclui NMC622, NMC721 e NMC 811, óxido de lítio, níquel, cobalto e alumínio (NCA) e óxido de lítio, níquel, manganês, cobalto e alumínio (NMCA). LFP inclui fosfato de ferro, manganês e lítio.

A concentração da cadeia de veículos elétricos reduz custos, mas amplia riscos geopolíticos

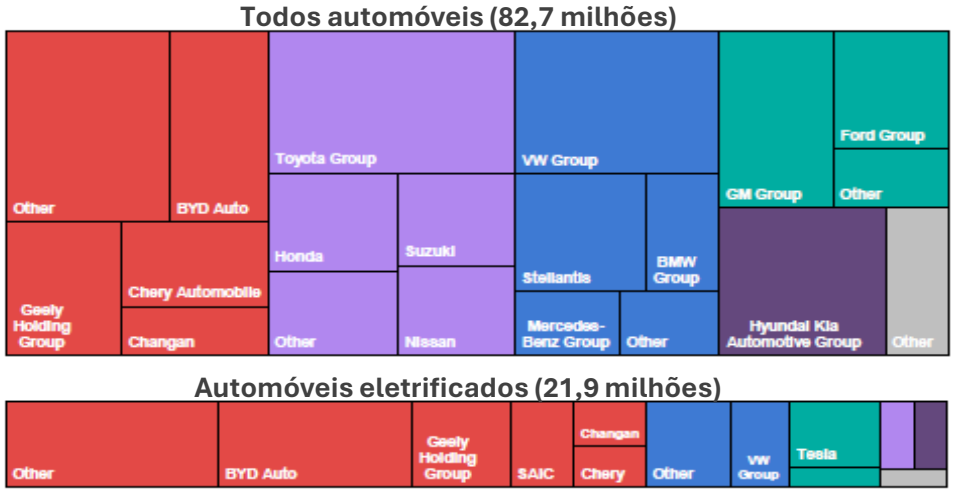
Mercado de manufatura automotiva por país-sede do fabricante

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Produção global de carros por país-sede do fabricante em 2025

Fonte: Adaptado de IEA, EV Outlook 2026.



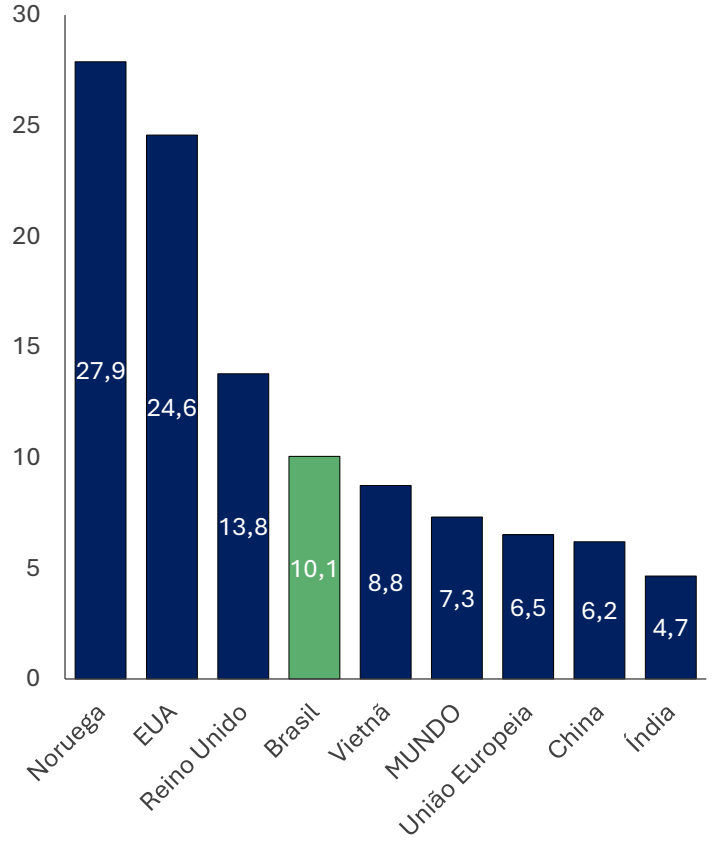
- **A concentração de mercado permitiu que empresas chinesas assumissem posições dominantes em diversos elos da cadeia de veículos elétricos**, desde a mineração e o processamento de minerais estratégicos, até a fabricação de baterias. Nos segmentos tradicionais da indústria automotiva, especialmente de motores a combustão, a produção permanece dominada por empresas europeias, japonesas, sul-coreanas e estadunidenses.
- **Essa concentração contribui para a redução de custos, mas também amplia os riscos geopolíticos** associados à dependência de um único país para o fornecimento dessas tecnologias e componentes.

A expansão da infraestrutura de recarga acompanha o avanço da eletrificação, mas permanece desigual entre os países

- **A distribuição dos carregadores é desigual entre os países.** A China concentra 4,25 milhões de unidades (60% do total mundial). Em seguida, destacam-se a Europa, com 1,3 milhão (18%), e os EUA, com 0,3 milhão (4%).
- **Em 2025, o número de pontos públicos de recarga no mundo cresceu 33%**, com a adição de quase 1,8 milhão de unidades, elevando o estoque global para mais de 7,0 milhões. A China respondeu por mais de 1,3 milhão desses novos pontos, concentrando mais de 75% da expansão mundial. Na Europa, o estoque cresceu cerca de 20% no mesmo período (IEA).
- **A expansão da infraestrutura de recarga ajuda a explicar o avanço da eletrificação na China e na Europa**, assim como a estagnação observada nos EUA.
- **O Brasil apresenta uma quantidade de carregadores públicos inferior à média mundial.** O País também é prejudicado pela baixa disponibilidade de carregadores rápidos e ultrarrápidos, especialmente relevante em países de dimensões continentais.

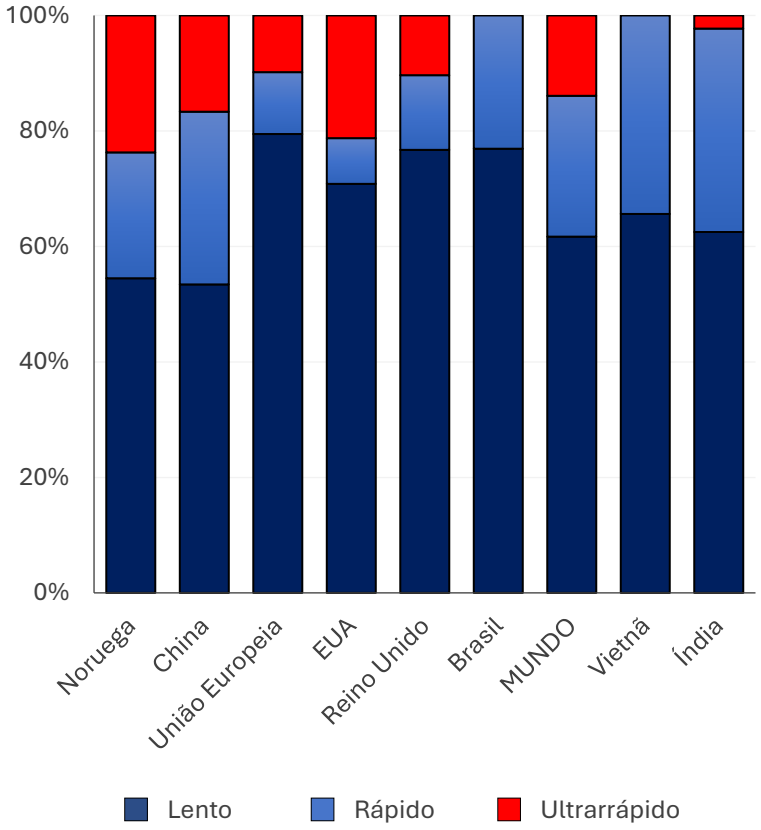
Número de BEV por carregador

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Distribuição de carregadores por tipo(1)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



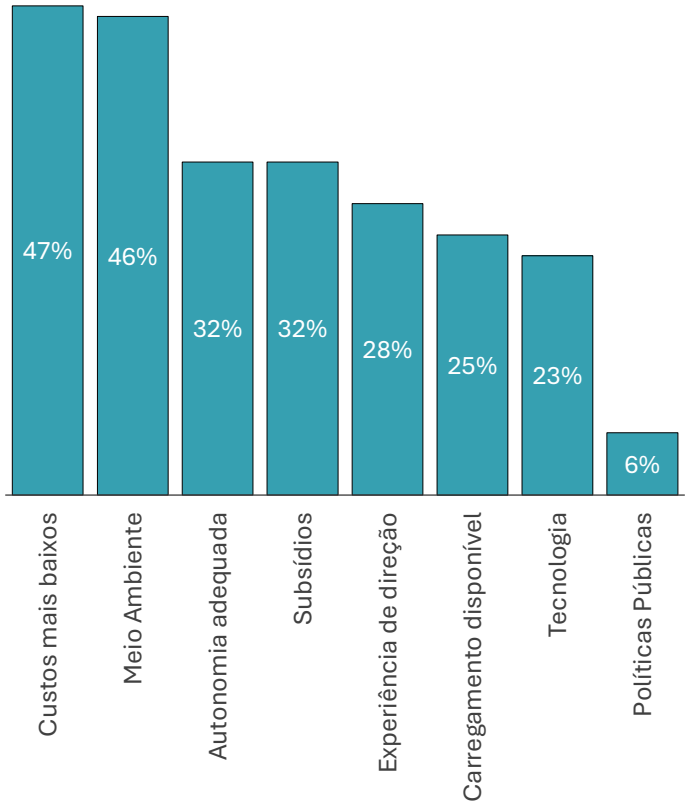
Nota: (1) Classificação dos carregadores: carregadores com 22 kW ou menos de potência - lentos; entre 22 e 150 kW - rápidos; acima de 150 kW - ultrarrápidos.

A adoção de veículos elétricos avança, mas ainda enfrenta barreiras distintas entre os países

- **O interesse global pela aquisição de veículos exclusivamente a bateria continua crescendo**, especialmente na China e na Europa. **O interesse por PHEVs também aumentou** em quase todas as regiões pesquisadas.
- Entre os principais fatores que motivam a adoção de veículos BEV estão os avanços tecnológicos, especialmente na China, os menores custos operacionais, a redução da poluição atmosférica e sonora, a diminuição das emissões de GEEs e a oferta de subsídios para a aquisição desses veículos.
- Em geral, as principais barreiras à adoção de veículos elétricos são os limites de autonomia (EUA, Austrália, Canadá e Alemanha)(1), o tempo de recarga (Japão, Sudeste Asiático e México), o preço de aquisição (França), o custo de substituição da bateria e a falta de infraestrutura de recarga (Brasil e Índia) (Deloitte 2026).

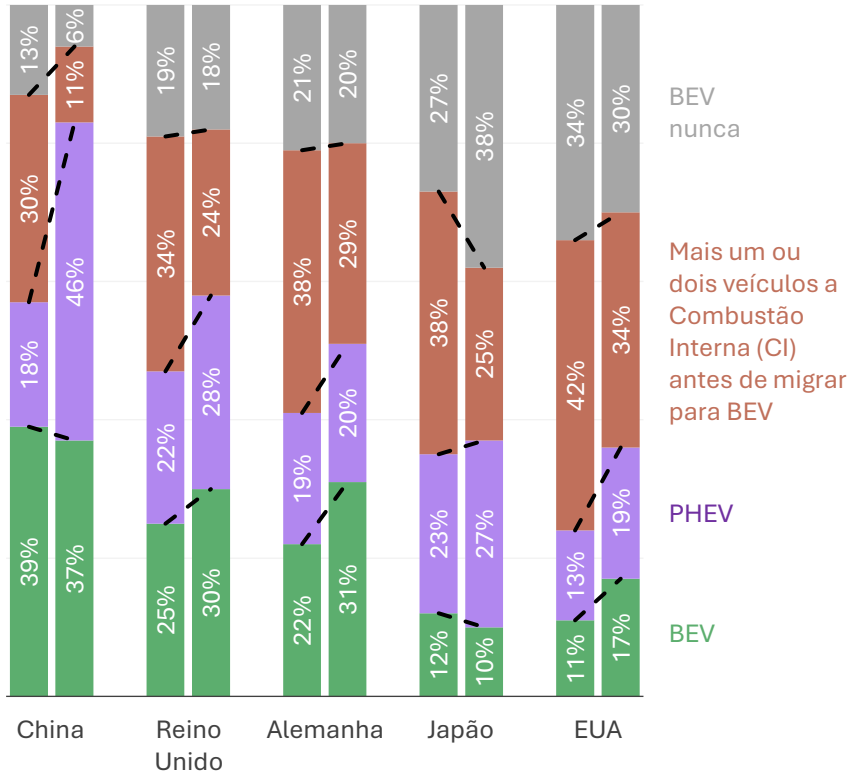
Principais motivos para adotar um BEV(2)

Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger 2025.



Qual a tecnologia da sua próxima compra? Evolução de 2023 para 2026(3)

Fonte: Elaboração própria a partir de McKinsey 2026.



Notas: (1) Entre parênteses estão o motivo mais citado para esse país; (2) Respostas para a pergunta: "Quais as principais razões pelas quais escolheu migrar para um veículo elétrico a bateria [Múltiplas respostas possíveis]". O estudo abrange os 33 maiores mercados automotivos no mundo, e contou com 12 mil participantes em 2025; (3) O estudo foi realizado em fevereiro/2026, com 20 mil pessoas em 5 dos principais mercados automotivos do mundo: China, Reino Unido, Alemanha, Japão e EUA.

PDE 2036

Brasil: Investimentos e infraestrutura de recarga

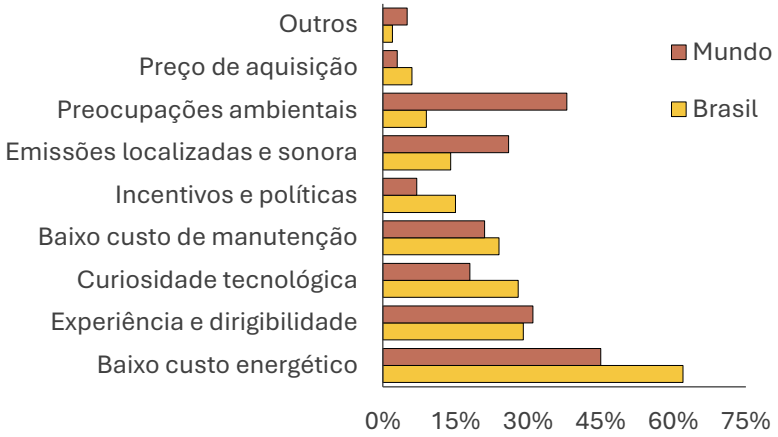
epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Interesse dos consumidores cresce, mas crédito, serviços e infraestrutura ainda limitam a adoção de veículos elétricos

- Os consumidores têm demonstrado interesse crescente por produtos com menores impactos ambientais e custos operacionais. No entanto, as incertezas quanto ao valor de revenda ainda representam uma limitação. As condições de crédito e os juros elevados também são apontados como obstáculos relevantes.
- **As montadoras locais vêm acompanhando as preferências dos brasileiros.** Contudo, a rede de serviços ainda não está plenamente preparada para a transição elétrica, sendo necessário ampliar a capacitação técnica de oficinas e concessionárias.
- **A dificuldade de estabelecer parcerias para o desenvolvimento da infraestrutura de recarga também é apontada como um desafio.**
- Pesquisas indicam que a infraestrutura de recarga, especialmente a baixa cobertura de carregadores rápidos, é a principal barreira à adoção de VEs na percepção dos consumidores. Esse aspecto também é mencionado pelas montadoras nacionais.
- Segundo pesquisa anual da Global EV Alliance, a falta de infraestrutura em algumas regiões contribui para ampliar a ansiedade da autonomia. Essa preocupação foi reportada por 31% dos brasileiros, ante 11% da amostra global.

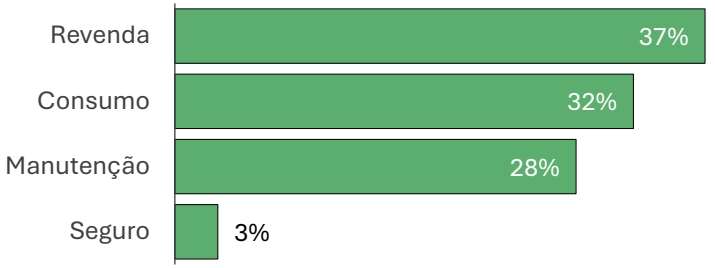
Principais razões reportadas por proprietários para a compra de veículos elétricos em 2025

Fonte: Elaboração própria a partir de Global EV Alliance.



O que o consumidor mais valoriza no TCO(1) (% resp.)

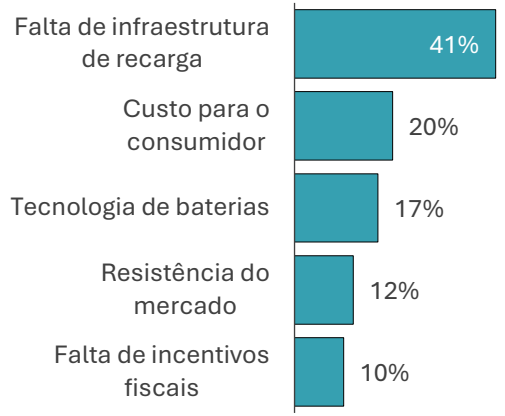
Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger.



Nota: (1) TCO: Custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership*).

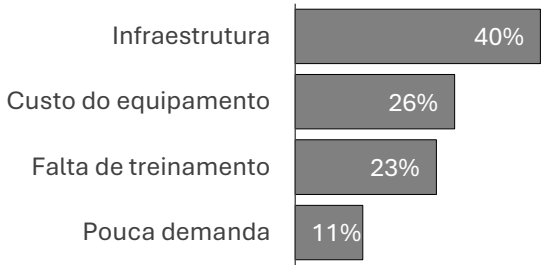
Principais barreiras à adoção de eletrificados para montadoras (% resp.)

Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger.



Maiores obstáculos para montadoras lidarem com eletrificados (% resp.)

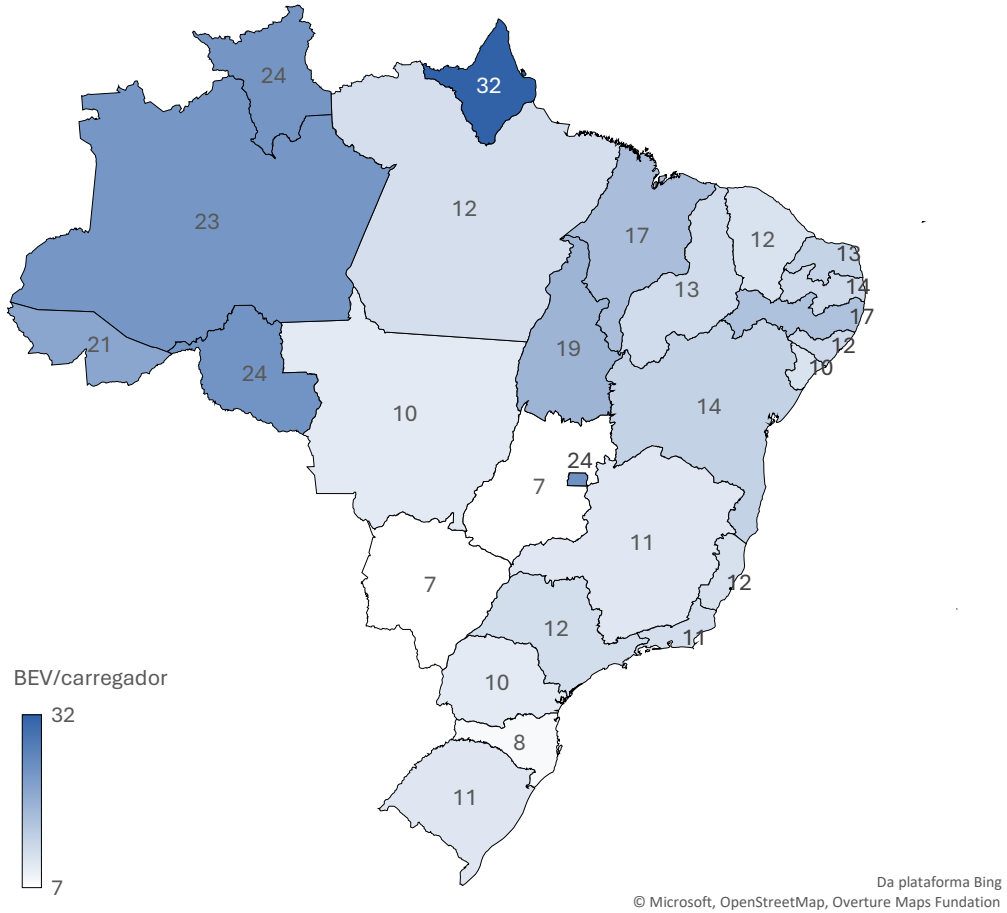
Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger.



Adensamento da infraestrutura de recarga reduz gradualmente os gargalos da eletromobilidade

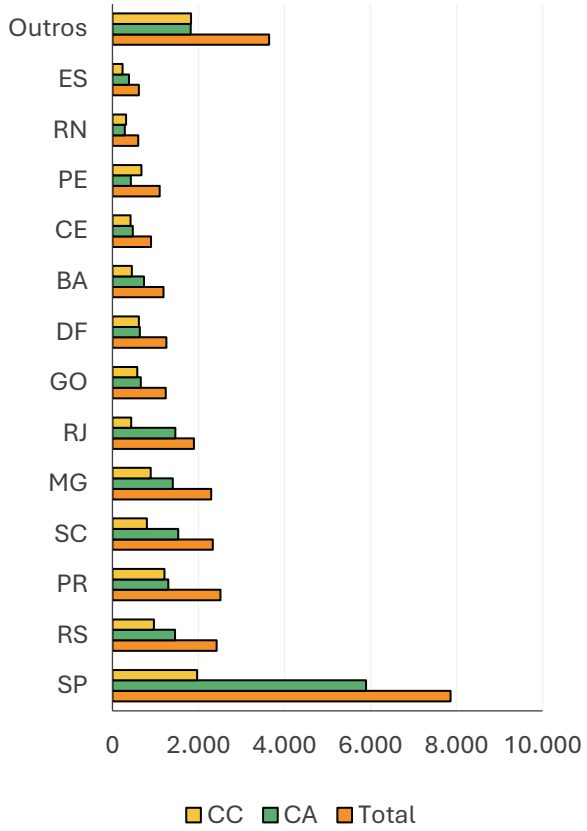
BEVs em circulação por eletroposto público e semipúblico (set/26)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE e SENATRAN.



Carregadores públicos e semipúblicos por tipo (set/26)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.



- Até setembro de 2026, o Brasil contava com um total de **29.866 eletropostos** públicos e semipúblicos, dos quais 18.469 eram de corrente alternada (CA) e 11.397 de corrente contínua (CC). Essa infraestrutura correspondia a 12,3 BEVs por carregador público, ante 7,3 no mundo.
- Em linha com a distribuição da frota eletrificada, os carregadores estão **mais concentrados** nas regiões **Sudeste e Sul**, com **destaque para o estado de São Paulo.**
- Em contrapartida, a Região Norte apresenta disponibilidade de eletropostos significativamente inferior à das demais regiões, concentrando apenas 3,4% do total nacional.
- Informações espacialmente desagregadas são especialmente relevantes para o planejamento da expansão da infraestrutura de recarga e da rede de transmissão.

Novas unidades e projetos ampliam a produção de veículos eletrificados em diferentes regiões do Brasil

Principais instalações de produção de veículos elétricos no Brasil: Atuais e projetadas

Fonte: Anfavea; AutoData; BYD; Geely; GWM; G1; Lecar; Stellantis; Terra.



- **A BYD inaugurou, em 2025, em Camaçari (BA), a maior fábrica de carros eletrificados da América Latina.**
- Em 2025, a **General Motors** iniciou a produção de SUVs eletrificados em **Horizonte (CE)**.
- Também em 2025, a **GWM** inaugurou uma unidade produtiva em **Iracemápolis (SP)**, onde teve início a fabricação de veículos eletrificados.
- Após adquirir 26,4% da participação na Renault no Brasil, a **Geely** deverá produzir seu *hatch* elétrico EX2 na fábrica do grupo em **São José dos Pinhais (PR)** até o final de 2026.
- A **Leapmotor**, fabricante de veículos eletrificados parceira da Stellantis, anunciou, no final de 2025, que iniciará a produção desses veículos na fábrica de **Goiana (PE)** a partir de 2027.
- A brasileira **Lecar** espera iniciar, a partir de 2027, a produção de veículos eletrificados em sua futura fábrica em **Sooretama (ES)**.
- A chinesa **GAC** planeja iniciar, em 2027, a produção de veículos eletrificados na fábrica da HPE Automotores em **Catalão (GO)**.

Aportes de R$ 120 bilhões consolidam o reposicionamento da indústria automotiva em múltiplas rotas de descarbonização

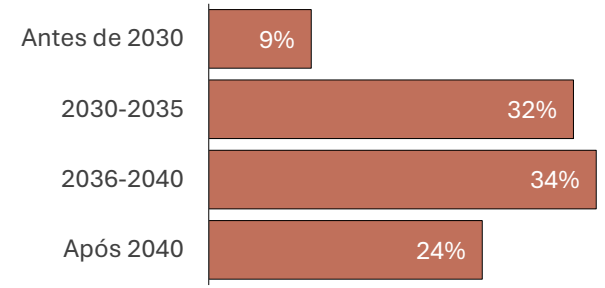
- **As montadoras anunciaram um ciclo recorde[1] de investimentos de R$ 120 bilhões**, incluindo 14 fabricantes.
- Os recursos estão direcionados ao desenvolvimento de veículos híbridos *flex* e à produção local de eletrificados.
- Os investimentos previstos até 2032 estão concentrados principalmente em híbridos, preparando o caminho para a produção local de elétricos a bateria em uma etapa posterior.
- Um terço dos investimentos anunciados envolve montadoras chinesas (AutoData). Além dos aportes diretos, há parcerias com Renault, CAOA, Stellantis, General Motors e HPE.

ROTAS TECNOLÓGICAS ANUNCIADAS PARA INVESTIMENTOS

HEV	Honda e Toyota
HEV/PHEV	VW e GWM
MHEV/PHEV/EREV/BEV	Stellantis
PHEV/BEV	BYD, GAC e SAIC

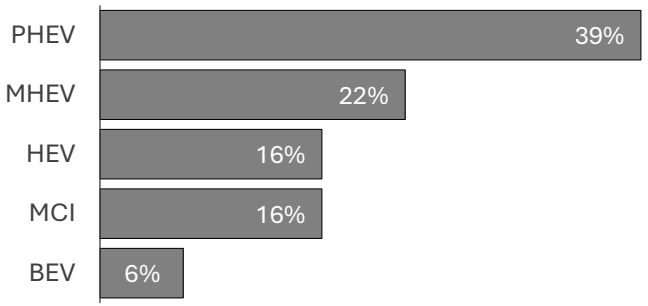
Quando os eletrificados ultrapassarão 50% das vendas segundo as montadoras (% resp.)

Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger.



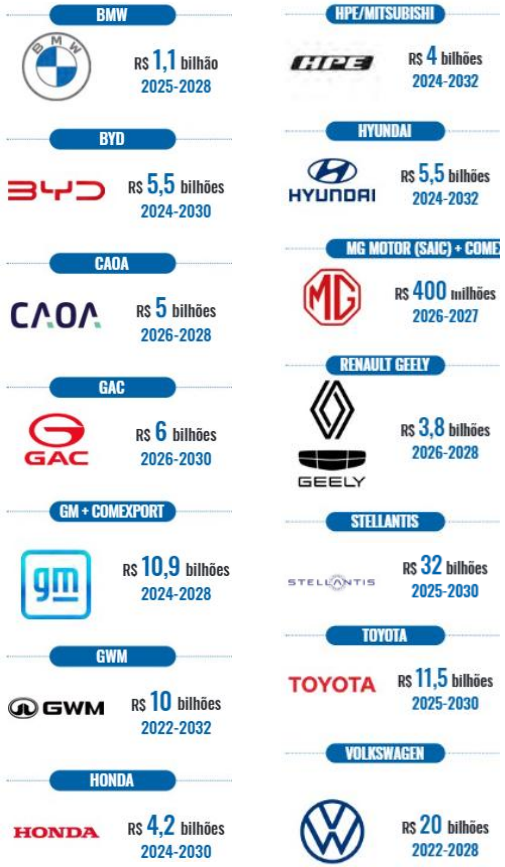
Qual tecnologia deve dominar até 2035 segundo as montadoras? (% resp.)

Fonte: Elaboração própria a partir de Roland Berger.



Investimentos em veículos elétricos anunciados por fabricantes no mundo

Fonte: AutoData.



Notas: (1) O ciclo de investimentos que seguiu o anúncio do Programa Inovar Auto, de 2012 a 2018, teve R$ 85 bilhões em investimentos anunciados. Equivalente a R$ 140 bilhões na base monetária set/26 (Anfavea); (2) PHEV: *Plug-in Hybrid Vehicle*; MHEV: *Mild Hybrid Vehicle*; HEV: *Hybrid Vehicle*; MCI: Motor a Combustão Interna; BEV: *Battery Electric Vehicle*.

PDE 2036

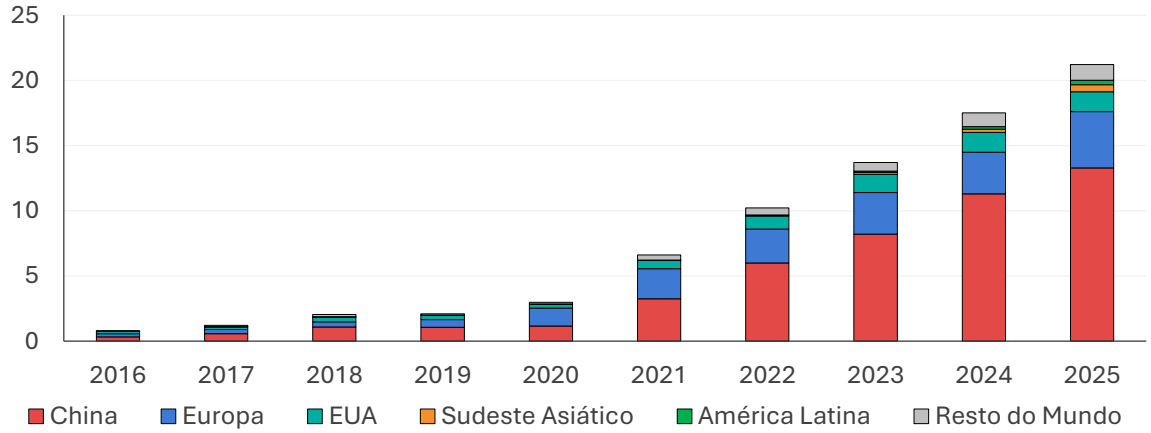
Eletrificação de veículos leves

epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Expansão global da eletromobilidade é liderada pela China, enquanto BEVs mantêm a maior participação nas vendas

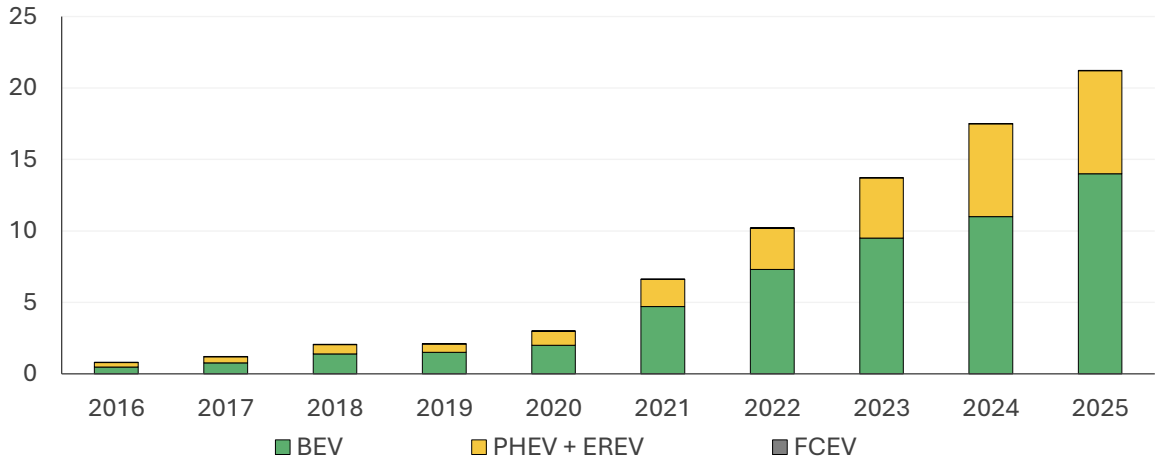
Vendas de automóveis elétricos (BEV+PHEV+FCEV) em regiões selecionadas (milhões de unidades)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Vendas globais de automóveis eletrificados por tipo (milhões de unidades)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



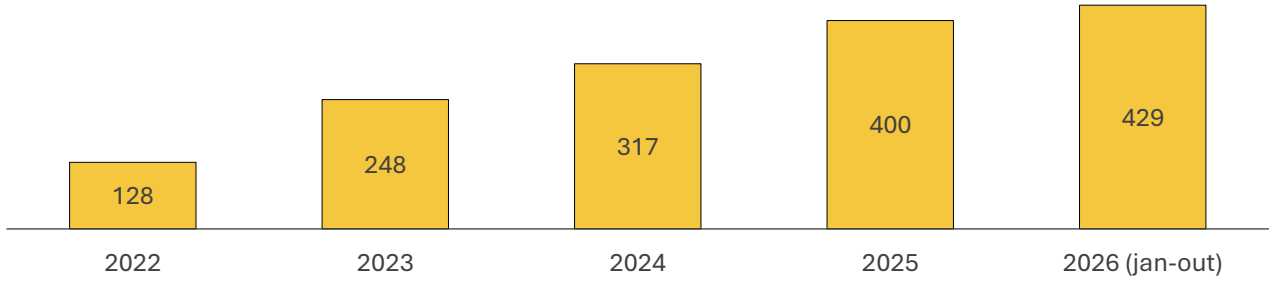
- **Desde 2020, as vendas globais de veículos elétricos vêm crescendo rapidamente, em grande escala, sob a liderança da China.**
- Na China, a capacidade de produção de automóveis elétricos superior à demanda doméstica, combinada à intensificação da concorrência entre fabricantes, tem estimulado as exportações. A capacidade ociosa do parque fabril e a desaceleração das vendas internas também contribuem para esse movimento. Com as barreiras comerciais e as restrições de acesso a determinados mercados na Europa e nos EUA, **as exportações chinesas têm buscado ampliar sua presença em outras regiões, especialmente na Ásia e na América Latina**. Para conquistar mercados, fabricantes chineses têm adotado estratégias agressivas de preços, pressionando os preços dos veículos em diversos países.
- Em relação às tecnologias de propulsão, **os veículos elétricos a bateria (BEV) predominam nas vendas globais, embora os híbridos *plug-in* (PHEV) e os elétricos com extensor de autonomia (EREV) também apresentem participação relevante.** Os veículos a célula de combustível (FCEV), por sua vez, ainda possuem participação marginal no mercado.

Avanço da eletromobilidade no Brasil é alavancado pela oferta de novos modelos, impulsionando a competição e a diversificação

- **As vendas de veículos leves eletrificados apresentam forte crescimento desde 2022, acompanhadas pela ampliação do número de modelos disponíveis no mercado brasileiro.**
- **Incentivos subnacionais também têm contribuído para o aumento das vendas**, como isenções e alíquotas reduzidas de IPVA para veículos elétricos e híbridos em diversos estados.
- A concorrência no setor tem se intensificado, com fabricantes chineses adotando estratégias agressivas para conquistar mercado, reduzindo os preços de seus modelos e acelerando a eletrificação da frota brasileira.
- Em 2026, fatores conjunturais, como a cota adicional com isenção do imposto de importação e a ampliação da oferta global de veículos, em um contexto de desaceleração do mercado chinês e de barreiras comerciais nos EUA e na Europa, impulsionaram as importações e as vendas de veículos eletrificados. **Como resultado, as vendas acumuladas até outubro já superavam o total registrado em todo o ano anterior. Entretanto, por refletir condições conjunturais, essa dinâmica pode não se sustentar ao longo dos próximos anos.**

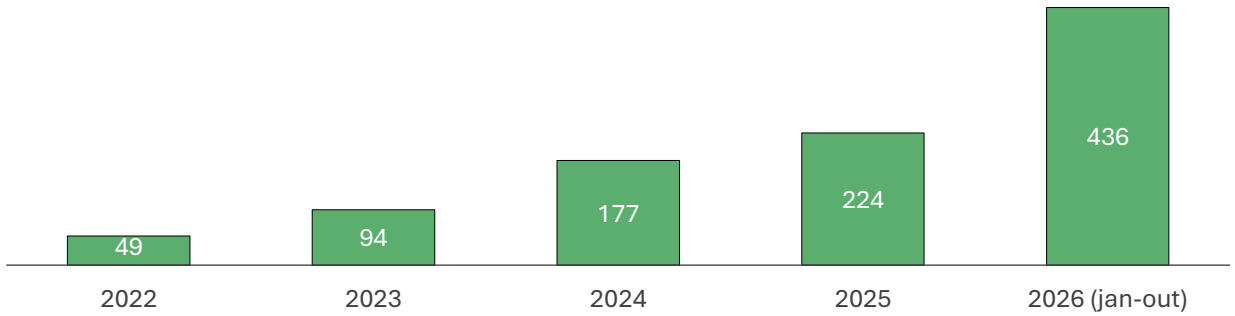
Número de modelos de automóveis e comerciais leves eletrificados comercializados no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.



Vendas anuais de automóveis e comerciais leves eletrificados no Brasil (mil unidades)

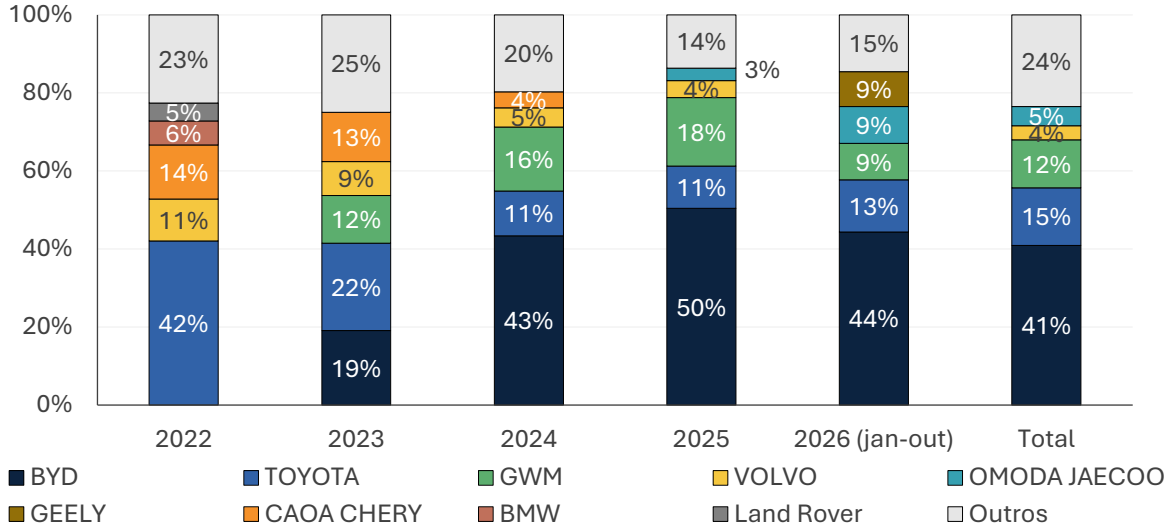
Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.



Competição e oferta de marcas chinesas aceleram a penetração de eletrificados no Brasil

Participação das vendas de eletrificados dos cinco fabricantes mais vendidos em cada ano (% do total eletrificado nacional)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.



Países de origem dos grupos controladores das marcas mais vendidas

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.

- BYD, GWM, Geely / Volvo Cars[1], Omoda Jaecoo e CAOA Chery
- Toyota
- Land Rover[1]
- BMW

Notas: (1) Embora Land Rover seja uma marca britânica e Volvo Cars seja uma marca sueca, as duas têm como principais acionistas a indiana Tata Motors e a chinesa Geely, respectivamente.

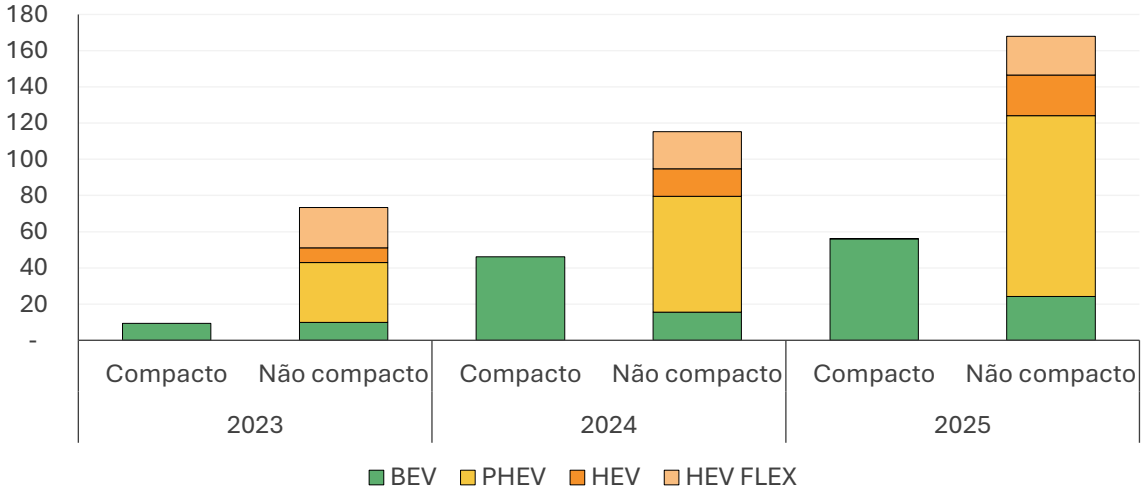
- **Nos últimos anos, observa-se forte avanço das marcas chinesas**, que passaram a ocupar parcela expressiva do mercado brasileiro de veículos leves eletrificados.
- A partir de 2024, a BYD assumiu protagonismo nas vendas de veículos eletrificados. Outras fabricantes chinesas, como GWM, Geely e Omoda Jaecoo, esta última pertencente ao grupo Chery, também vêm ampliando sua participação.
- Embora tenha sido pioneira na eletrificação do mercado brasileiro com seus veículos híbridos *flex*, a Toyota perdeu participação para fabricantes chinesas entre 2022 e 2024. Desde então, sua participação nas vendas de veículos eletrificados tem se mantido relativamente estável, indicando a consolidação de uma presença relevante nesse mercado.

Eletrificados se concentram em dois segmentos de mercado, com elétricos a bateria dominando as vendas de veículos compactos

Novos licenciamentos de veículos eletrificados apresentam comportamentos distintos conforme o segmento do veículo. Entre os modelos mais vendidos no Brasil, destacam-se os ***hatchbacks* elétricos** e os **SUVs híbridos**, indicando a formação de **dois segmentos com diferentes padrões de eletrificação.**

Novos veículos leves eletrificados licenciados por categoria e tecnologia (mil unidades)

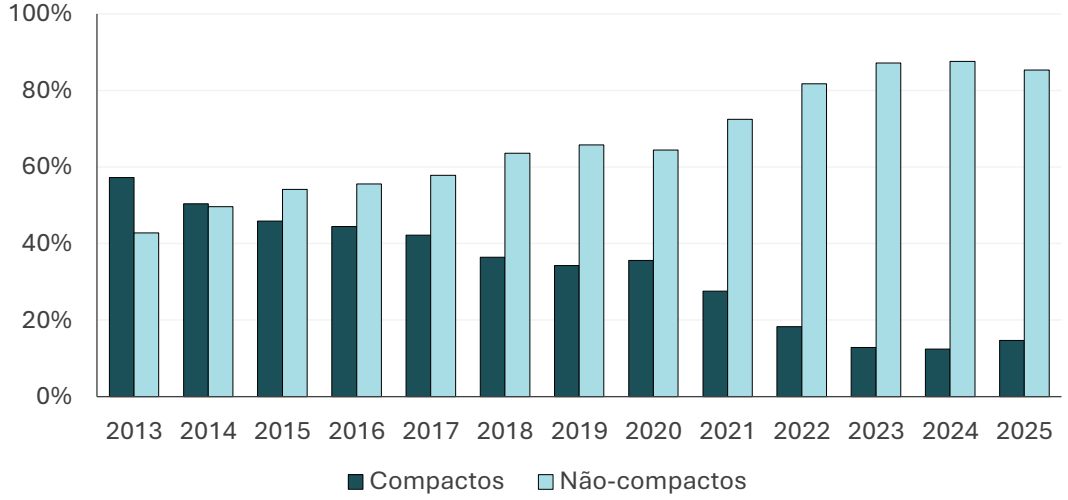
Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE (baseado em 95% das vendas).



- **A entrada de BEVs ocorre principalmente no segmento de compactos**, no qual essa tecnologia representa praticamente a totalidade dos novos licenciamentos de veículos eletrificados.
- Entre os veículos não compactos, por sua vez, predominam as tecnologias híbridas *plug-in* (PHEV) e híbrida convencional (HEV).

Novos licenciamentos de automóveis e comerciais leves de acordo com o porte do veículo

Fonte: Elaboração própria a partir de Fenabrave (baseado nos 100 veículos mais vendidos).

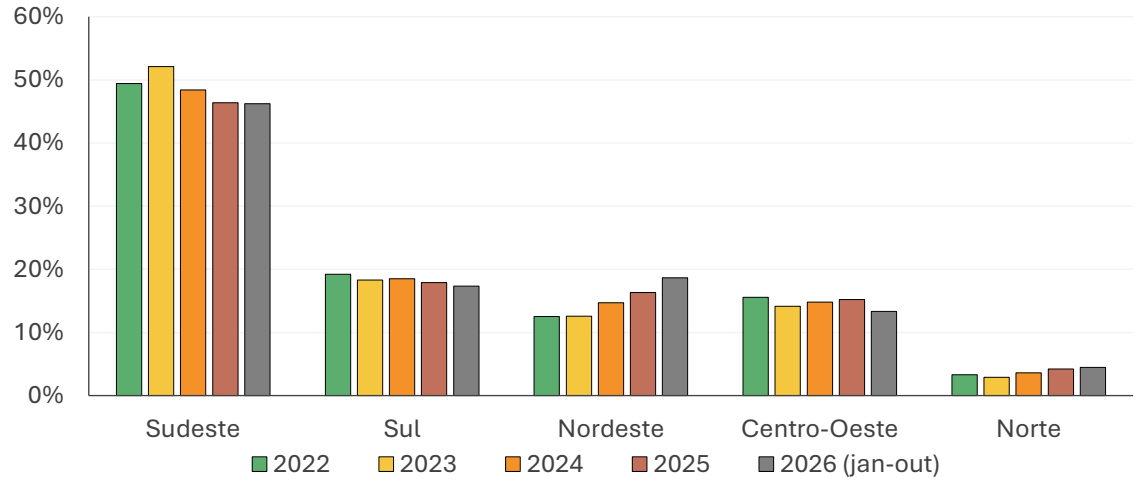


- **A participação dos compactos no total de novos licenciamento diminuiu continuamente na última década**, passando de 57% em 2013 para apenas 15% em 2025.
- A tendência de crescimento da participação de veículos de maior porte favorece a maior penetração de PHEVs e HEVs, sobretudo em um país de dimensões continentais.

Vendas de veículos eletrificados ainda se concentram no Sudeste, mas avançam nas demais regiões

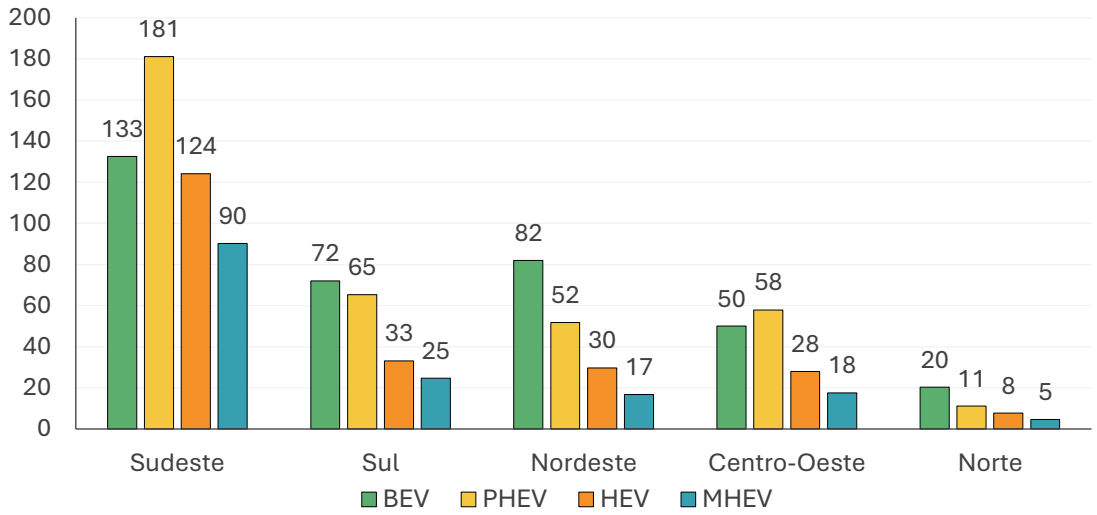
Evolução da distribuição de vendas de veículos eletrificados por região: 2022 a out/2026 (% do total eletrificado nacional)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.



Vendas totais de veículos eletrificados: 2022 a out/2026 (mil unidades)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE.

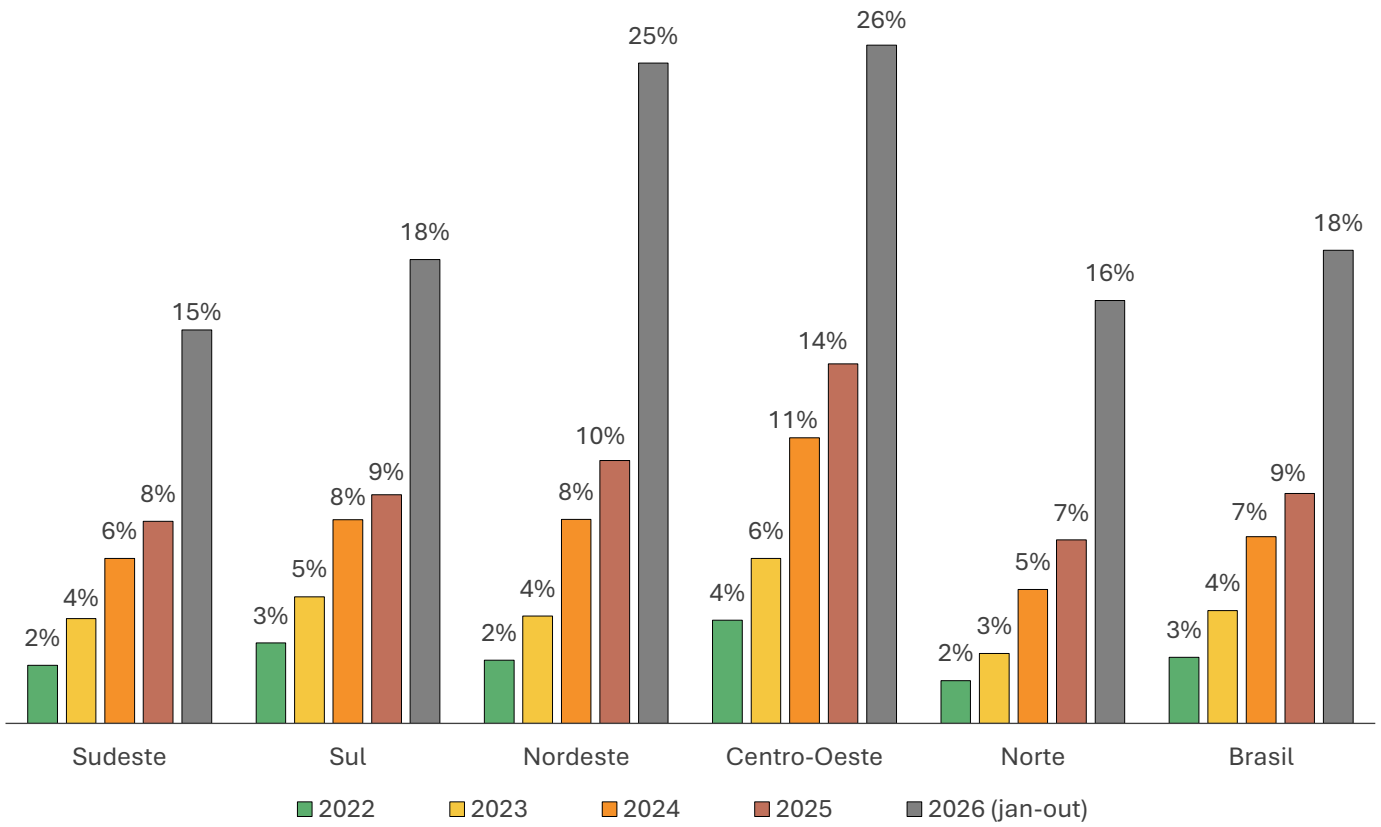


- Em um recorte regional, **o Nordeste vem se destacando pelo rápido crescimento das vendas de veículos eletrificados**, indicando uma difusão gradual da eletromobilidade pelo território nacional e uma redução da concentração relativa no Sudeste. Bahia, Pernambuco e Ceará se destacam pelo número de licenciamentos desses veículos na região.
- Entre as tecnologias de eletrificação, observa-se uma diferenciação regional: **enquanto HEVs e PHEVs se destacam no Sudeste, os BEVs apresentam maior participação no Nordeste e no Sul**. Parte desse padrão pode estar associada às políticas estaduais e municipais de incentivo. Em São Paulo, a isenção do rodízio municipal para veículos eletrificados, somada aos benefícios de IPVA para MHEVs e HEVs, favorece a adoção dessas tecnologias (SP). Por outro lado, as isenções ou reduções de IPVA restritas aos BEVs em estados como BA, CE, MA, PA, PB, PE, PI, RN e RS contribuem para ampliar a atratividade desses veículos nessas regiões. Já em AL, AM, AP, DF, MG, RJ e TO, os benefícios abrangem diferentes tecnologias de eletrificação, estimulando a adoção de um conjunto mais amplo (Recarregados).

Penetração dos veículos eletrificados cresce em todas as regiões, com destaque para o Centro-Oeste e o Nordeste

Participação de veículos eletrificados no total de novos licenciamentos (% do total nacional)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE e Fenabrave.

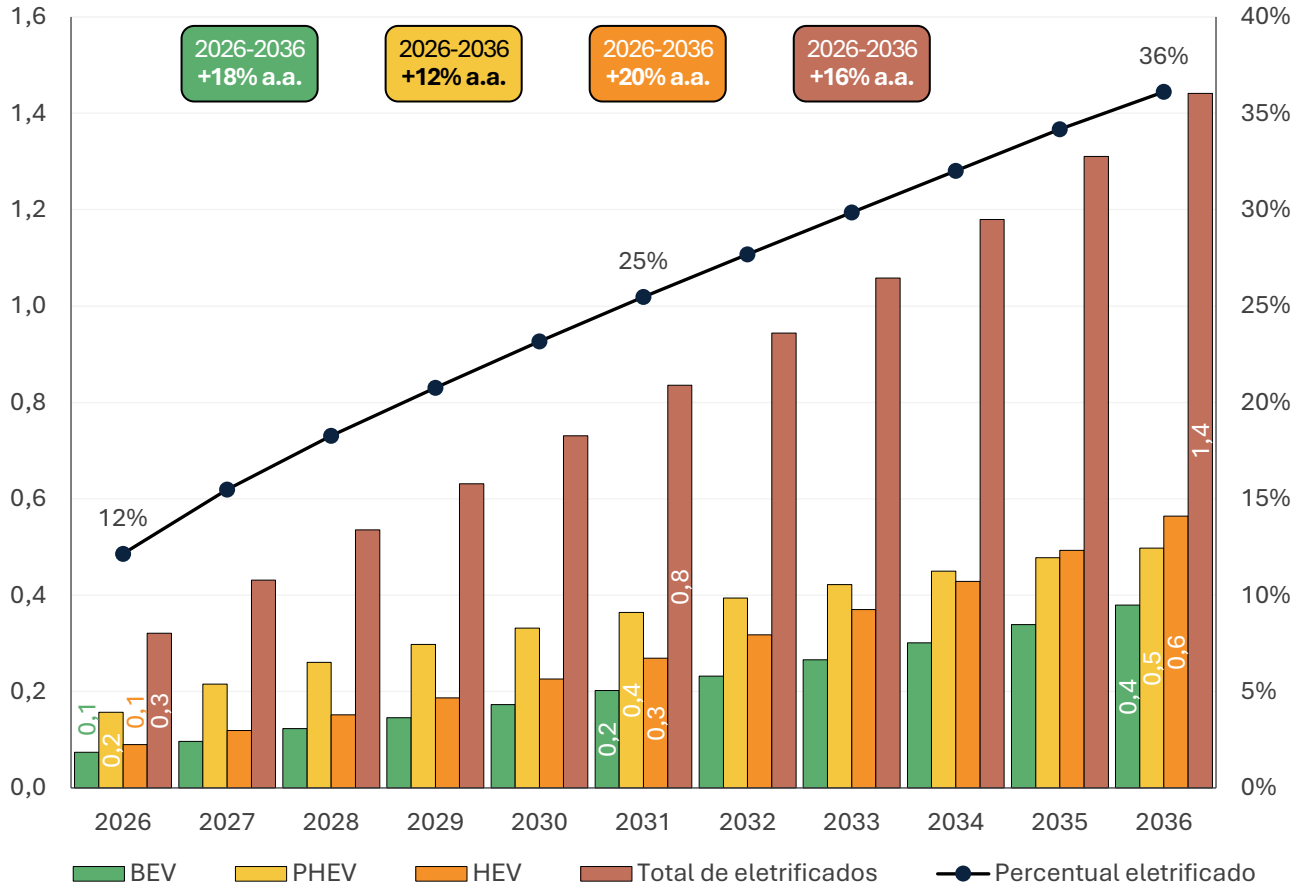


- Desde 2022, a participação dos veículos eletrificados nos novos licenciamentos vem crescendo em todas as regiões do País.
- **O Centro-Oeste apresenta a maior penetração da eletromobilidade em relação ao total de novos licenciamentos da região**, com destaque para o Distrito Federal, que registrou o segundo maior número de vendas de veículos eletrificados em 2024 e 2025, atrás apenas de São Paulo.
- **O Nordeste vem apresentando crescimento expressivo** e, desde 2025, destaca-se como a segunda região com maior penetração de veículos eletrificados.
- **O Sudeste, embora concentre a maior parcela das vendas nacionais de veículos eletrificados, vem apresentando redução de sua participação no total nacional.** Entre 2022 e outubro de 2026, a participação do estado de São Paulo nos novos licenciamentos nacionais de veículos eletrificados caiu de 33% para 28%.

Veículos eletrificados poderão representar 36% dos novos licenciamentos em 2036

Novos licenciamentos de veículos leves eletrificados (milhões de unidades)

Fonte: Elaboração própria.



- **Para os próximos dez anos, projeta-se**(1) **a manutenção do crescimento das vendas de veículos elétricos e híbridos**, mesmo com a retomada gradual da cobrança do imposto de importação sobre esses veículos(2), prevista para ser concluída em 2027.
- Entre as tecnologias de eletrificação, **espera-se um crescimento mais acelerado dos veículos híbridos convencionais (HEV)**, que não dependem de infraestrutura de recarga externa.
- A possibilidade de utilização do etanol, combustível amplamente disponível no Brasil e incentivado por políticas públicas, constitui um atributo adicional dos veículos híbridos *flex*, tornando essa tecnologia uma alternativa relevante para as montadoras em seus esforços de descarbonização.
- Ao final do decênio, **projeta-se que os veículos eletrificados representem 36% do total de novos licenciamentos.** Considerando também os híbridos leves (MHEV), a participação dos veículos com algum grau de eletrificação supera 50% em 2036.

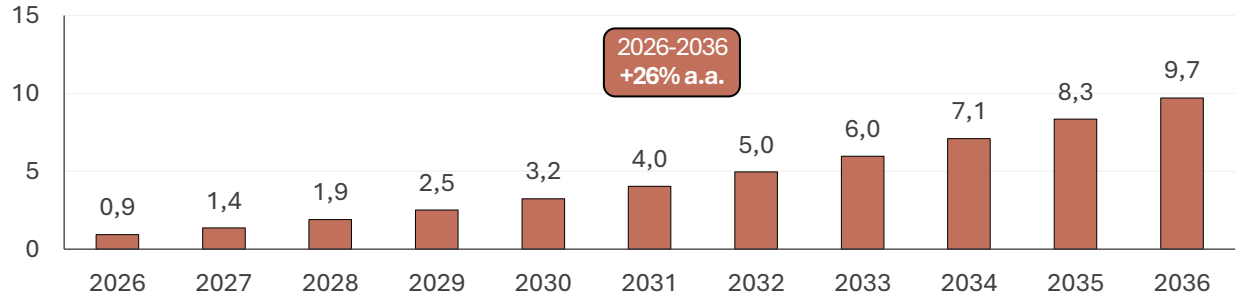
Notas: (1) As projeções relacionadas à eletrificação da frota veicular para este ciclo do PDE foram realizada em março/2026 e validadas em abril/2026. Os dados históricos contidos neste caderno foram atualizados após a Consulta Pública do PDE 2036; (2) A Resolução Gecex nº 532/2023 estabeleceu a retomada gradual da cobrança do imposto de importação sobre veículos eletrificados (isentos desde 2015), bem como cotas de importação com alíquota zero até o fim da recomposição em junho de 2026. Em junho de 2026, a Resolução Gecex nº 927/2026 manteve o cronograma de retomada do imposto de importação, mas aprovou a criação de novas cotas para modelos desmontados (CKD) e semidesmontados (SKD) no período entre julho e dezembro de 2026.

Frota de veículos leves eletrificados poderá alcançar 9,7 milhões de unidades em 2036

- Embora os licenciamentos de motocicletas venham apresentando tendência de crescimento no Brasil, não se projetam avanços expressivos na eletrificação desse segmento em relação à frota total de veículos.
- No cenário estrutural, **projeta-se uma participação crescente dos veículos híbridos, seguida por uma transição gradual para os BEVs ao longo do horizonte decenal.** Essa trajetória considera os investimentos das montadoras instaladas no País, inicialmente concentrados na adaptação de suas unidades produtivas para a fabricação de híbridos leves (MHEV)(1) e, progressivamente, de híbridos *plug-in* (PHEV). A consolidação dos veículos 100% elétricos é considerada para etapas posteriores do desenvolvimento tecnológico e industrial.
- Dessa forma, **as premissas adotadas no PDE 2036 procuram refletir as condições da indústria automotiva brasileira no médio e longo prazos**, não comprometendo a aderência do planejamento eletroenergético do Sistema Interligado Nacional (SIN). A elevada participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional e sua evolução ao longo do período decenal também contribuem para a transição energética do setor de transportes. As projeções consideram, ainda, o equilíbrio entre a oferta e a demanda de derivados do petróleo e a produção de biocombustíveis.

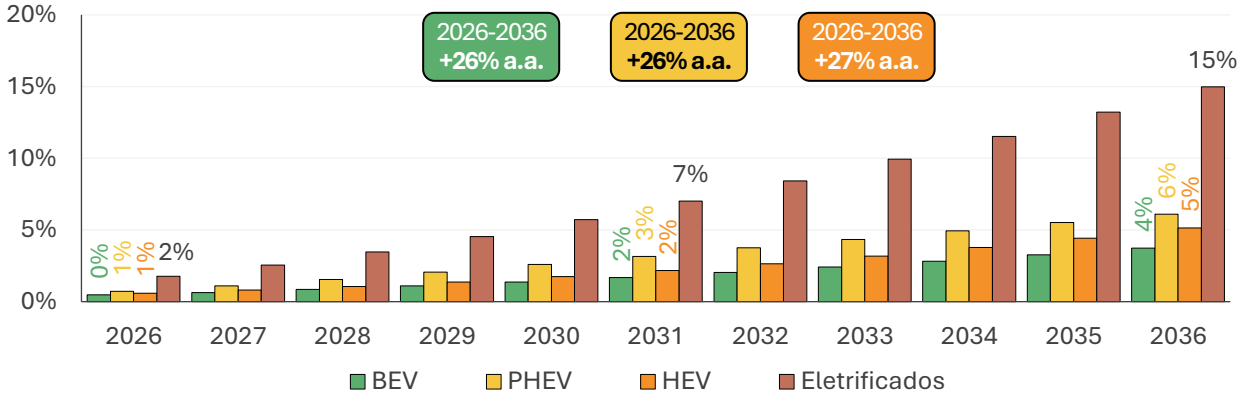
Frota circulante de veículos leves eletrificados(2) (milhões de unidades)

Fonte: Elaboração própria.



Participação dos veículos eletrificados na frota circulante(1) (% do total nacional)

Fonte: Elaboração própria.

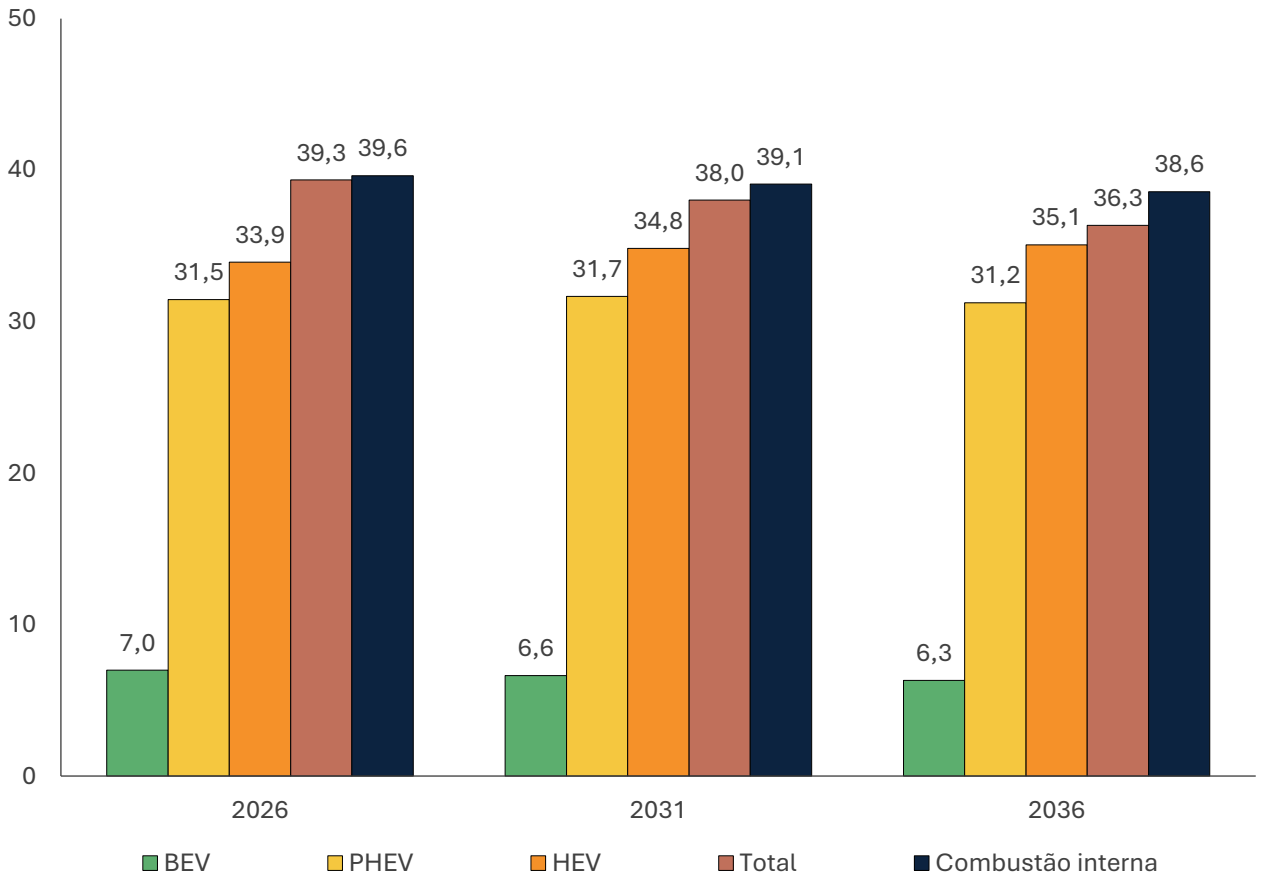


Notas: (1) Os veículos híbridos leves (MHEV) não são contabilizados pela EPE na categoria de veículos eletrificados considerada nas projeções deste estudo; (2) A frota circulante corresponde ao estoque de veículos em circulação, calculado a partir da frota do ano anterior, acrescida dos novos licenciamentos e descontada a quantidade estimada de veículos sucateados.

Maior participação de veículos eletrificados reduz a intensidade energética da frota

Intensidade energética por motorização (tep/milhão pkm)

Fonte: Elaboração própria.



- Em termos de eficiência energética, **os veículos eletrificados apresentam menor intensidade energética do que os veículos com motor de combustão interna.**
- Entre as tecnologias de eletrificação, **os veículos elétricos a bateria (BEV) apresentam os maiores ganhos de eficiência**, pois aproveitam uma parcela maior da energia armazenada na bateria para a propulsão do veículo. Nos veículos com motor de combustão interna, parte significativa da energia contida no combustível é dissipada, principalmente na forma de calor, durante o processo de conversão em movimento. Essas perdas reduzem a eficiência da conversão da energia armazenada nos combustíveis para o movimento efetivo.
- **Com o aumento da participação dos veículos eletrificados na frota, espera-se uma redução gradual de sua intensidade energética média**, à medida que os ganhos de eficiência associados à mudança tecnológica se disseminem pelo conjunto de veículos em circulação.

Nota: (1) Para os PHEVs, considerou-se que 30% da distância percorrida anualmente ocorre em modo elétrico, enquanto os 70% restantes são percorridos com o motor a combustão. Essa premissa resulta em eficiência superior à dos veículos exclusivamente a combustão, mas inferior à dos BEVs (ICCT).

PDE 2036

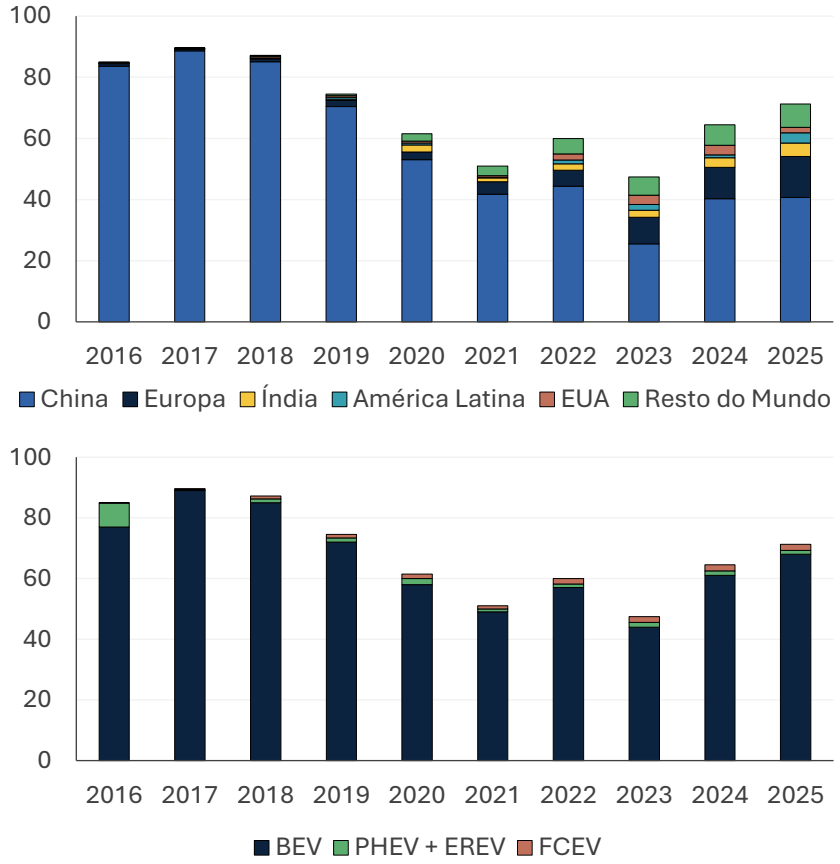
Eletrificação de veículos pesados

epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

China lidera a eletrificação global de caminhões, enquanto mercado de ônibus elétricos se expande para outras regiões

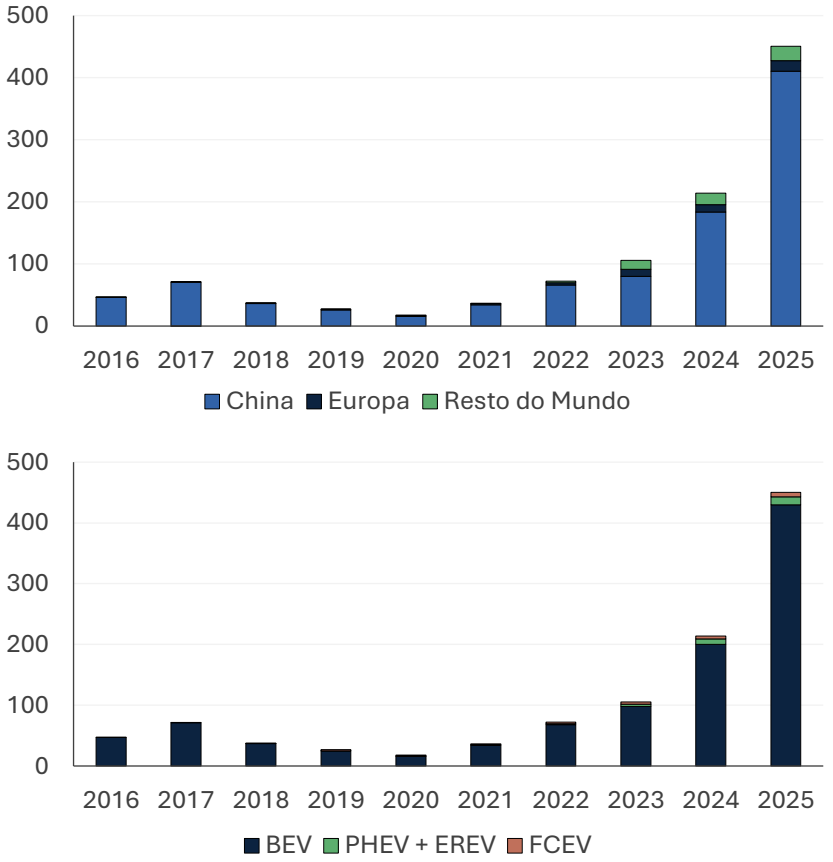
Vendas globais de ônibus elétricos por região e por tipo (mil unidades)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



Vendas globais de caminhões elétricos por região e por tipo (mil unidades)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



- **As vendas globais de caminhões elétricos têm crescido de forma acelerada, embora permaneçam fortemente concentradas na China**, responsável por 91% das vendas mundiais em 2025. Além dos modelos elétricos, os caminhões movidos a gás também vêm avançando, particularmente os modelos a gás natural liquefeito (GNL) no mercado chinês.
- A eletrificação avançada das frotas de ônibus urbanos nas principais cidades chinesas contribui para explicar a redução das vendas no mercado doméstico. Nesse contexto, **a elevada capacidade produtiva da indústria chinesa e a busca por novos mercados têm favorecido a expansão das exportações de ônibus elétricos.** Em 2025, Europa, América Latina e Índia registraram crescimento expressivo das vendas.

Indústria de veículos pesados diversifica investimentos em tecnologias de menor emissão

- O ciclo de investimentos anunciado contempla, pelo menos, **R$ 10 bilhões destinados ao desenvolvimento de caminhões e ônibus mais eficientes**, com atenção crescente a motorizações e combustíveis alternativos.
- **A fabricação de ônibus elétricos urbanos foi impulsionada pelas políticas de redução de emissões na cidade de São Paulo**, que restringiram a incorporação de novos veículos a combustão à frota municipal. As montadoras vêm investindo para atender à demanda projetada pelas cidades.
- Biodiesel e etanol também são avaliados como alternativas para a descarbonização do transporte por ônibus.
- **As montadoras de caminhões mantêm o foco na eficiência energética dos veículos e começam a ampliar os investimentos em motorizações alternativas.**
- A Volkswagen Caminhões e Ônibus (VWCO) trabalha no desenvolvimento da segunda versão do e-Delivery, a Mercedes-Benz lançou o eActros e o eCanter, enquanto a XCMG avança na oferta de cavalos mecânicos elétricos.
- Montadoras também desenvolveram iniciativas em parceria com o setor agropecuário para testar caminhões abastecidos com biodiesel puro (B100)(2). Os caminhões movidos a gás também vêm ampliando sua presença, com destaque para o uso de biometano.

ROTAS TECNOLÓGICAS ANUNCIADAS PARA INVESTIMENTOS EM ÔNIBUS

BEV	BYD, Eletra, Higer, Marcopolo, Mercedes-Benz, Scania e VWCO
EREV Etanol	Marcopolo
Gás natural / Biometano	Agrale, Marcopolo e Scania

ROTAS TECNOLÓGICAS ANUNCIADAS PARA INVESTIMENTOS EM CAMINHÕES

BEV	BYD, Mercedes-Benz, VWCO e XCMG
PHEV	VWCO
Gás natural / Biometano	Iveco e Scania
Biodiesel (B100)	Scania e Volvo
B100 em testes(2)	Mercedes-Benz e VWCO

Investimentos anunciados em veículos pesados elétricos por fabricantes no Brasil

Fonte: AutoData.



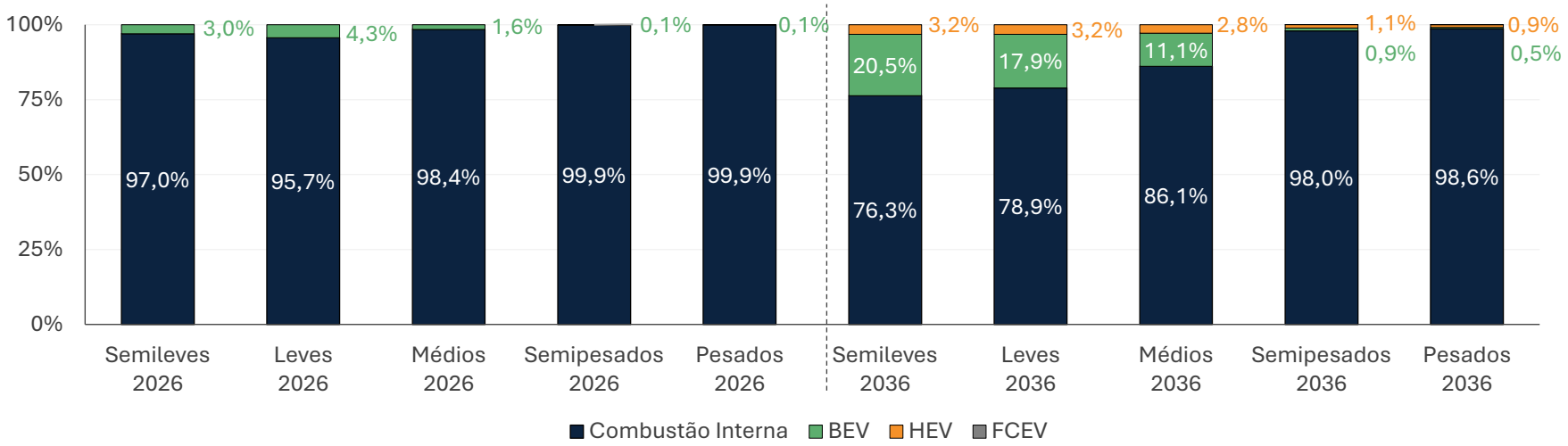
Notas: (1) As leis municipais de São Paulo nº 14.933/2009 e nº 16.802/2018 estabeleceram a obrigatoriedade de redução de poluentes no transporte público. Em outubro de 2022 a prefeitura proibiu a incorporação de novos ônibus a combustão interna à frota; (2) Essas montadoras ainda não estão comercializando veículos aptos a utiliza o B100, mas os projetos de demonstração indicam que investimentos para tal estejam sendo planejados. Ressalta-se que o processo de revisão da Resolução ANP nº 910/2022, que disciplina a prévia anuência para uso experimental ou específico de biodiesel (B100) ou de sua mistura com diesel em percentual superior ao obrigatório, foi incluído na Agenda Regulatória 2025-2026, com o objetivo de adequar a regulação às alterações promovidas pela Lei nº 14.993/2024, que alterou a Lei nº 13.033/2014 para dispensar a necessidade de prévia anuência, passando a exigir apenas a comunicação quando de determinados usos voluntários (ANP; ANP).

Fontes: Volvo; Scania; Mercedes-Benz; VWCO; Eletra; Mercedes-Benz; BYD; VWCO; Marcopolo; Diário do Transporte; Scania; VWCO; BYD; Volvo; FrotaCIA; Marcopolo; Scania; Iveco; Marcopolo; Agrale.

Eletrificação de caminhões deve avançar inicialmente em aplicações de nicho

Distribuição tecnológica dos novos licenciamentos de caminhões no Brasil (% do total nacional)

Fonte: Elaboração própria.



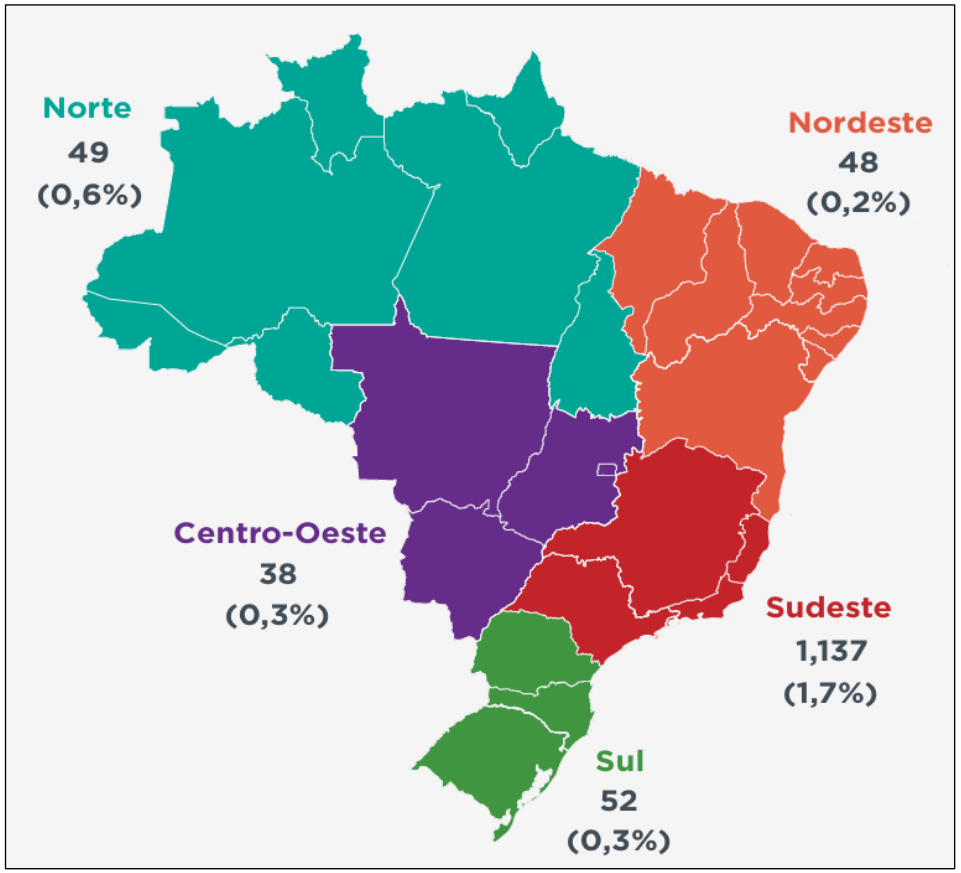
- **Os licenciamentos anuais de caminhões eletrificados devem crescer de forma acelerada no período decenal**, passando de 724 unidades em 2026 para 6,7 mil em 2036.
- Como resultado, a frota de caminhões eletrificados deverá passar de 2,8 mil unidades em 2026 para 32,3 mil em 2036.

- **Em 2036, os caminhões eletrificados deverão representar 5,4% dos novos licenciamentos**, dos quais 4,0% corresponderão a veículos elétricos a bateria (BEVs). Na frota circulante, a participação dos caminhões eletrificados deverá alcançar 1,5% em 2036, com os BEVs respondendo por 1,1% do total.
- **A eletrificação deverá se concentrar inicialmente nos caminhões de menor porte, mais utilizados em operações urbanas.** Nesses segmentos, os percursos e as cargas transportadas tendem a exigir menor capacidade de armazenamento de energia, o que favorece o uso de baterias menores e reduz os tempos de recarga. Essas características também influenciam os custos de aquisição dos veículos e os requisitos da infraestrutura de carregamento, incluindo potência, localização – nas garagens ou ao longo dos trajetos – e operação dos carregadores.
- **A expansão dos caminhões elétricos depende de condições favoráveis**, como maior maturidade tecnológica, custo total de propriedade (TCO) competitivo, acesso a financiamento e disponibilidade de infraestrutura de recarga confiável. **No Brasil, a adoção deverá ocorrer inicialmente em aplicações de nicho.**

Eletrificação dos ônibus urbanos avança, mas permanece concentrada no Sudeste

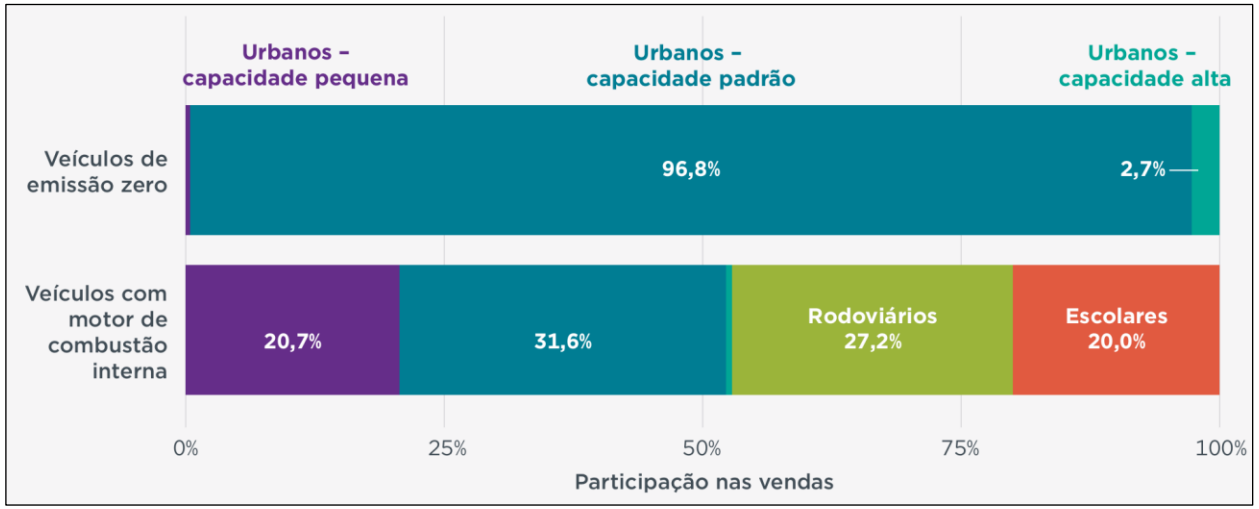
Número e participação de mercado de ônibus de zero emissão por região (2021-2025)

Fonte: ICCT.



Vendas de ônibus por tecnologia e segmento (2025)

Fonte: ICCT.

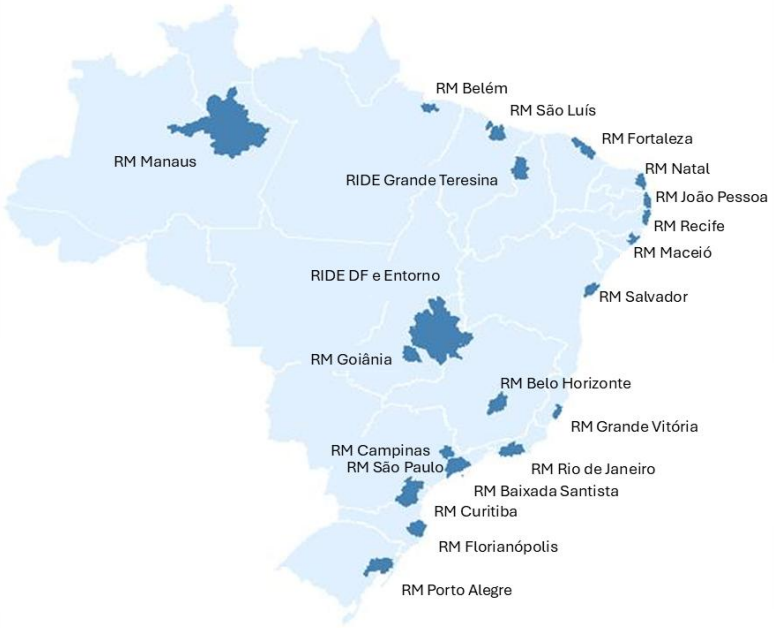


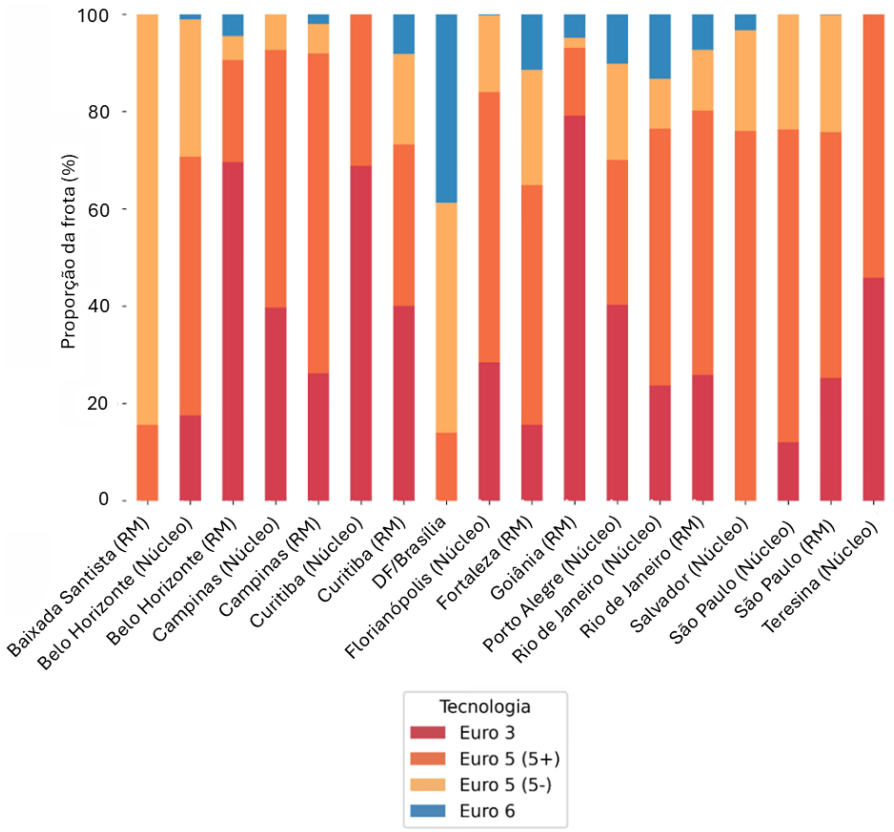
- **Até 2025, as vendas de ônibus de emissão zero permaneceram concentradas na Região Sudeste**, especialmente na cidade de São Paulo, e representaram uma parcela ainda reduzida do mercado nacional. A adoção dessas tecnologias também permaneceu incipiente nos segmentos de ônibus de pequena capacidade, rodoviários e escolares.
- Ao final de 2025, a frota de ônibus eletrificados da cidade de São Paulo totalizava 1.149 veículos, dos quais 960 eram elétricos a bateria e 189 eram trólebus.
- Em 2025, a infraestrutura de recarga da capital paulista contava com 62 MW instalados, enquanto solicitações adicionais de conexão à distribuidora somavam outros 58 MW.

Envelhecimento das frotas de ônibus amplia o potencial de renovação e eletrificação

Composição da frota de ônibus urbanos convencionais nos principais sistemas de transporte público urbano(1)

Fonte: ITDP.





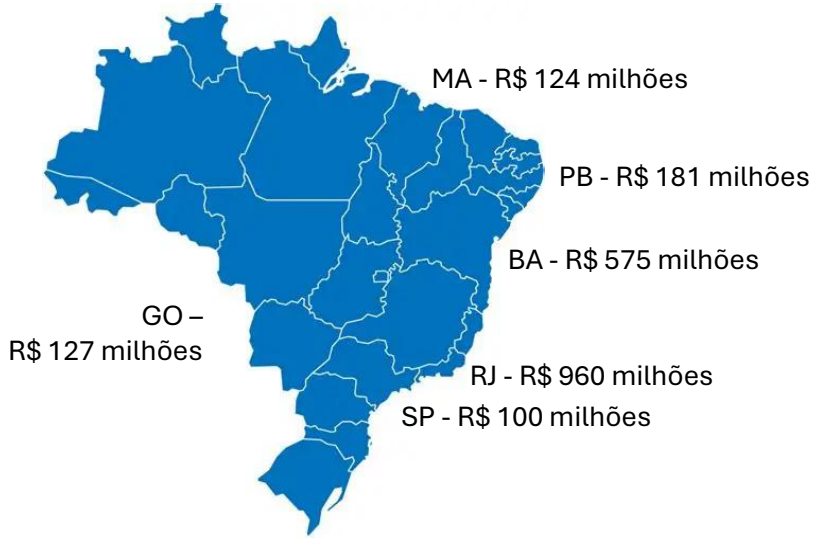
- O Brasil possui 21 regiões metropolitanas com população superior a 1 milhão de habitantes. Os 52 sistemas de transporte público considerados(2) atendem a 42% da população brasileira e concentram 54% dos ônibus urbanos em operação no País. Nas 18 principais regiões analisadas, a frota totaliza 46 mil veículos, dos quais 68% são convencionais.
- A idade média dos ônibus supera 5 anos em todas as regiões analisadas, ultrapassando 8 anos em algumas delas (SIMU).
- **A fabricação de ônibus elétricos urbanos vem sendo impulsionada por políticas públicas municipais de renovação de frota e descarbonização do transporte coletivo.** As montadoras vêm investindo para atender à demanda projetada pelas cidades.

Notas: (1) O envio dos dados de frota ocorreu entre março e agosto de 2024; (2) Sistemas de transporte são conjuntos organizados de meios e infraestruturas que permitem o deslocamento de pessoas e mercadorias nos municípios. Compreendem os diversos modos de transporte.

Políticas públicas e financiamento impulsionam a eletrificação das frotas de ônibus

Propostas habilitadas para renovação da frota de ônibus no PAC 2026

Fonte: Elaboração própria a partir de AutoData.



- **A renovação das frotas de ônibus urbanos tem sido estimulada por políticas públicas federais, estaduais e municipais**, bem como por fontes de financiamento nacionais e internacionais, inclusive com juros subsidiados. A esses fatores somam-se os menores custos operacionais associados à tecnologia elétrica.
- No âmbito federal, iniciativas como o **PAC Mobilidade**, voltadas à renovação das frotas urbanas, contribuem para ampliar a presença de ônibus elétricos em diferentes cidades do País.
- **Atualmente, mais de 50 municípios vêm desenvolvendo iniciativas para acelerar a descarbonização do transporte público urbano.** Projeta-se que os licenciamentos de ônibus urbanos elétricos aumentem de 849 unidades em 2025 para 10 mil em 2036, quando deverão representar cerca de 39% dos novos licenciamentos do segmento.

Cidades com aportes na eletrificação da frota de ônibus:

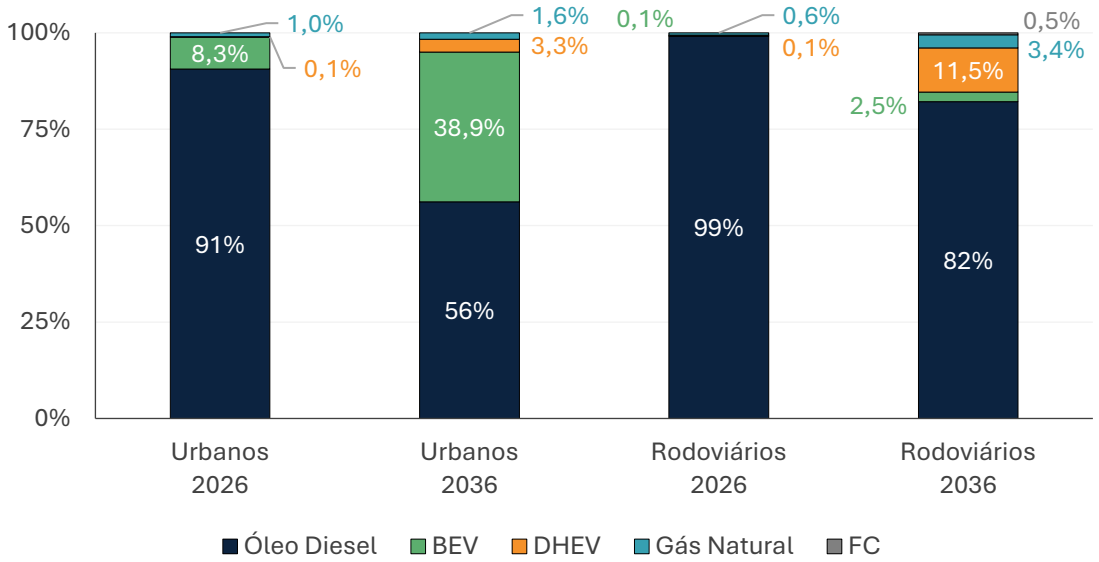
- **Goiânia** recebeu, em janeiro de 2026, 21 ônibus elétricos para operação no sistema BRT. A cidade também está construindo um terminal de eletromobilidade que contará com 23 carregadores e atenderá a uma frota prevista de 60 elétricos.
- **Brasília** recebeu 85 novos ônibus elétricos em maio de 2026.
- A Prefeitura de **Curitiba** prevê adquiri 250 ônibus elétricos até 2030.
- **Porto Alegre** conta com 12 ônibus elétricos em operação desde 2024. A Prefeitura prevê incorporar outras 100 unidades, com apoio de financiamento do BNDES.
- Em maio de 2026, o Governo de Pernambuco lançou edital para a aquisição de 100 ônibus elétricos destinados à cidade do **Recife**.
- Em 2025, **Belém** adquiriu 40 ônibus elétricos de fabricação nacional para incorporação à frota do sistema BRT metropolitano.
- Em julho de 2026, a Prefeitura de **Aracaju** colocou 15 ônibus elétricos em circulação, elevando para 30 o total de veículos em operação na cidade.
- O BNDES aprovou financiamento de R$ 329 milhões para a aquisição de 175 ônibus elétricos destinados à cidade do **Rio de Janeiro**.

Fontes: SPTrans; Estadão; Correio Braziliense; Urbs Curitiba; Prefeitura de Porto Alegre; Movimento Econômico; Technibus; Jornal da Cidade; BNDES.

Ônibus urbanos lideram a transição para a motorização elétrica

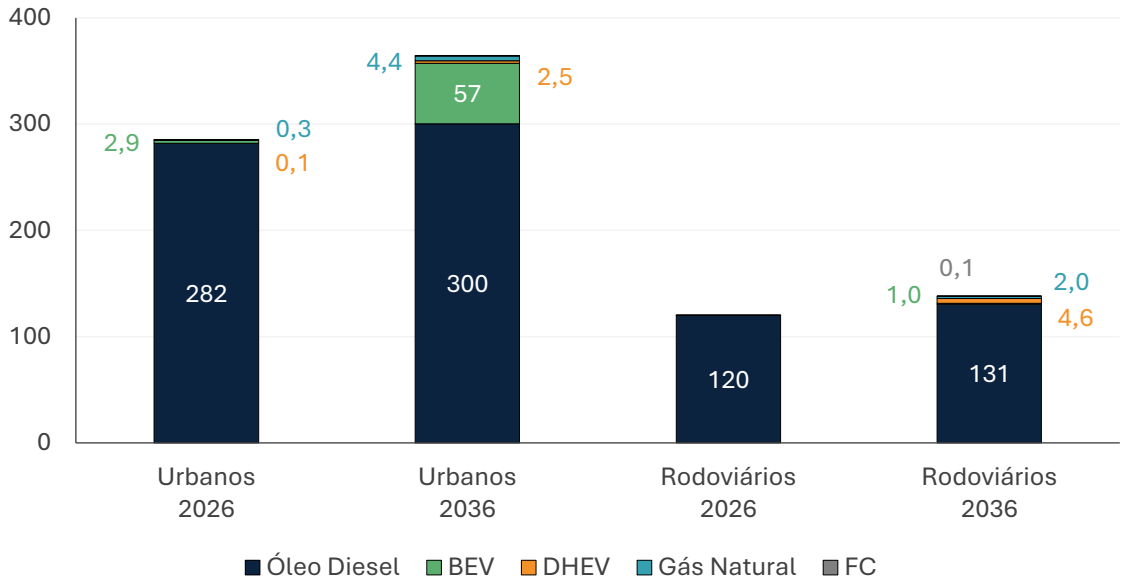
Participação das tecnologias no licenciamento total de ônibus novos (% do total nacional)

Fonte: Elaboração própria.



Frota circulante de ônibus por tecnologia (mil unidades)

Fonte: Elaboração própria.



- **A eletrificação dos ônibus deverá permanecer concentrada nas linhas urbanas ao longo do horizonte decenal.**
- Nos ônibus rodoviários, a maior exigência de autonomia e a necessidade de uma infraestrutura de recarga adequada devem limitar a expansão dos veículos elétricos a bateria. Nesse segmento, a eletrificação deverá avançar principalmente por meio de tecnologias híbridas a diesel.

- A adoção de ônibus movidos a gás natural, associada aos incentivos ao uso de biometano, também pode ampliar a participação dessa tecnologia nos segmentos urbano e rodoviário.

PDE 2036

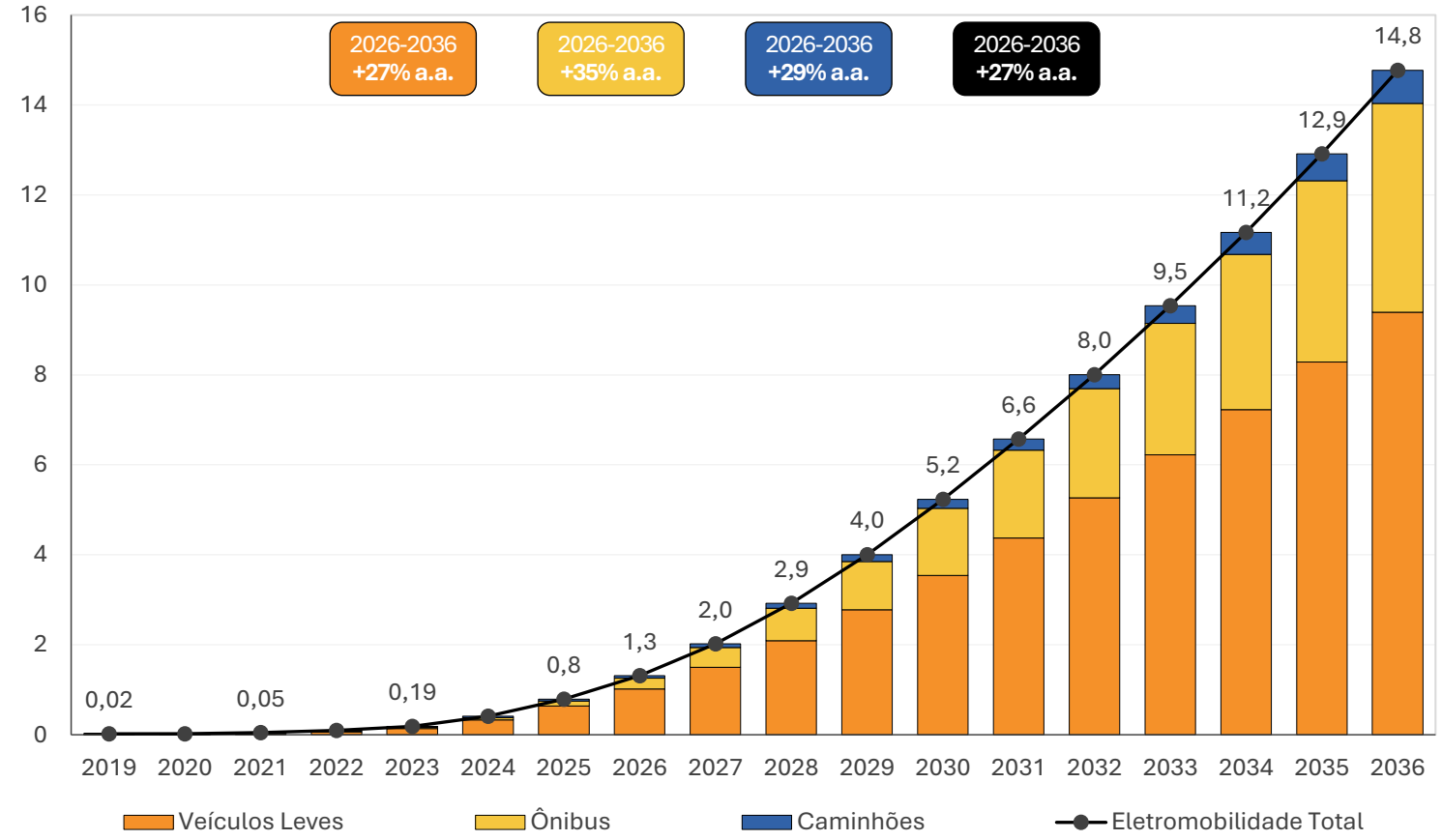
Implicações e oportunidades para o setor elétrico

epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Eletromobilidade consolida-se como vetor de rápido crescimento da demanda de energia elétrica

Consumo de eletricidade do transporte rodoviário (TWh)

Fonte: Elaboração própria.



- **Acompanhando a rápida expansão da frota de veículos leves elétricos, o consumo de eletricidade desse segmento deverá crescer expressivamente**, passando de 1,0 TWh em 2026 para 9,4 TWh em 2036.
- No mesmo ano, a demanda dos ônibus deverá alcançar 4,6 TWh, enquanto a dos caminhões deverá atingir 0,7 TWh.
- Com isso, a participação da eletromobilidade na demanda total de eletricidade do Brasil passará de 0,19% em 2026 para 1,5% em 2036. **A demanda projetada para 2036, de 14,8 TWh, equivale à geração anual combinada das duas usinas nucleares de Angra.**
- Embora a eletromobilidade tenha potencial para promover economias expressivas de energia, devido sua maior eficiência, **é fundamental que o crescimento da demanda seja acompanhado pela expansão da capacidade de geração, transmissão e distribuição de eletricidade**, além da adoção de políticas de carregamento inteligente.

Os veículos elétricos são mais que uma carga

Como Recursos Energéticos Distribuídos (RED), os veículos elétricos podem operar individualmente ou em conjunto com outros RED, contribuindo para otimizar a operação do sistema elétrico e fortalecer a flexibilidade e a resiliência das redes de distribuição locais.

Existem duas modalidades de gerenciamento e fluxo de energia:

- **Unidirecional (V1G):** recarga controlável e inteligente.
- **Bidirecional (V2G):** além do V1G, também permite injetar energia na rede de distribuição. Entretanto, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 não prevê essa atividade e, por isso, seriam necessárias alterações regulatórias para viabilizar o V2G no Brasil.

Tipos de carregadores:

Uso	Carregadores	Potência Típica
	Lento ou "*Wallbox*" (residenciais)	~7 kW (monofásico) 11-22 kW (trifásico)
	Semirrápido (comercial)	~22 kW (até 43 kW em casos especiais)
	Rápido (eletropostos em áreas urbanas)	22-150 kW (CA[1]) >100 kW (CC[2])
	Ultrarrápido (rodoviárias e postos de alto fluxo)	>100-150 kW

Notas: (1) CA: Corrente Alternada; (2) Corrente Contínua.

As baterias dos veículos elétricos são frequentemente subutilizadas para fins de transporte. Considerando um consumo diário de 10 kWh e uma capacidade de armazenamento de 50 kWh, há margem para a prestação de serviços à rede.

Os VE oferecem um cardápio de soluções e serviços à rede:

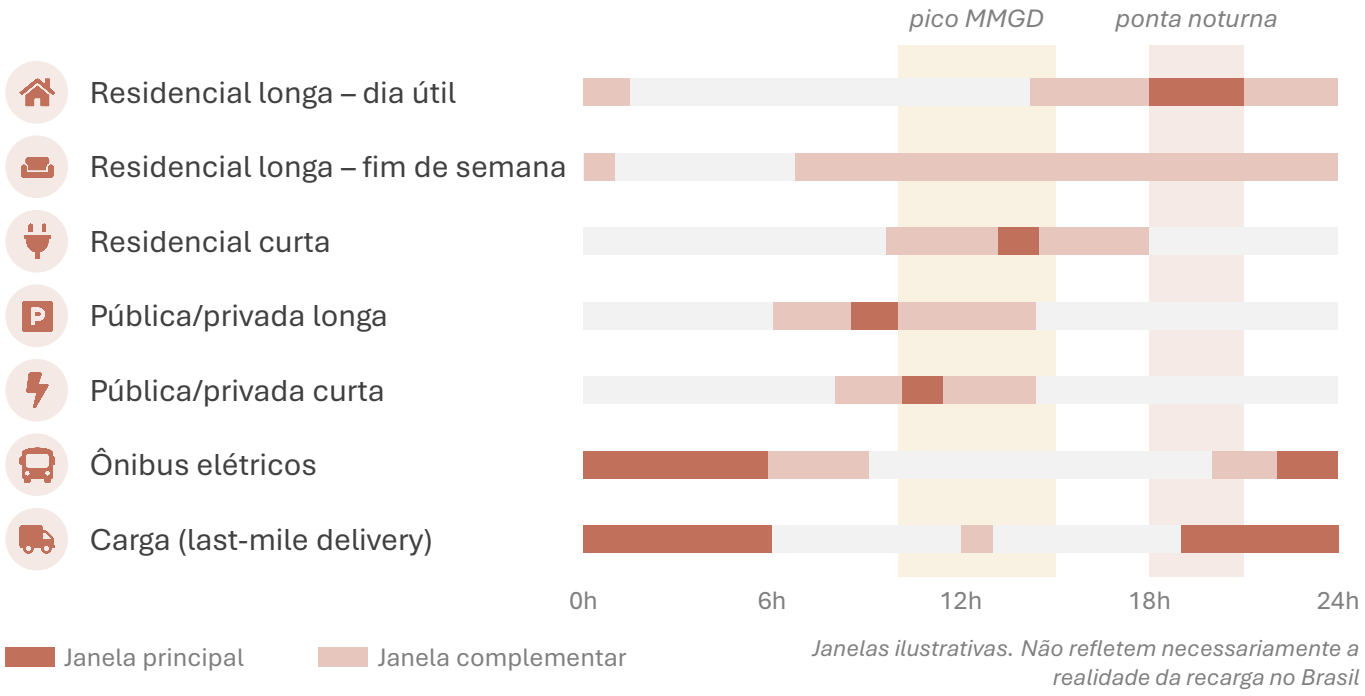
- Arbitragem de energia
- Armazenamento de energia
- Balanceamento de portfólio
- Controle de frequência e de tensão
- Energia de backup
- Gestão de congestionamento local e capacidade
- Redução de pico de carga

O potencial de contribuição dos veículos elétricos e da infraestrutura de recarga para o sistema elétrico depende da combinação entre sinais de preço, infraestrutura adequada e tecnologias de carregamento inteligente.

O perfil horário da recarga condiciona os impactos da eletromobilidade no sistema elétrico

A eletromobilidade não representa uma carga única, mas resulta da combinação de diferentes perfis de recarga, cada qual com suas próprias características. O perfil agregado determina **os impactos sobre a ponta, as rampas e os vales da curva de carga do sistema elétrico**, tornando os horários de recarga um aspecto relevante para o planejamento energético de longo prazo.

Perfis de recarga e janelas típicas de conexão (ilustrativo)



Janelas ilustrativas. Não refletem necessariamente a realidade da recarga no Brasil

Por que o perfil de recarga importa

- **Horários distintos**: cada perfil apresenta janelas próprias de recarga, determinadas pela rotina de uso do veículo, como o horário de chegada em casa, a jornada de trabalho e a operação de linhas e rotas de entrega.
- **Infraestrutura define o mix**: a composição dos perfis de recarga varia de acordo com a disponibilidade de infraestrutura. Na ausência de pontos públicos e privados de carregamento, a recarga tende a se concentrar nas residências.
- **Perfil real é insumo-chave**: conhecer os padrões efetivos de carregamento, a partir de medições, eletropostos e dados da frota, é fundamental para projetar a demanda de ponta, as rampas de carga e as necessidades de flexibilidade do sistema.
- **Flexibilidade tem limites**: a contribuição da eletromobilidade como recurso de flexibilidade do sistema (V1G/V2G) é condicionada pela logística e pelos padrões de utilização de cada tipo de veículo, além de fatores comportamentais.

A diversidade dos perfis de recarga determina a demanda agregada da eletromobilidade

O consumo de eletricidade projetado para a eletromobilidade em 2036 é de 14,8 TWh. **Essa demanda, entretanto, pode se distribuir de diferentes formas ao longo do dia, a depender dos padrões de carregamento.**

Como exercício, a EPE simulou dois cenários:

- **Recarga não coordenada**: os carregamentos apresentam picos de cerca de 3 GW às 10h, associados à recarga comercial e coincidentes com a geração da MMGD, e às 19h, associados à recarga residencial e coincidentes com o horário de ponta.
- **Recarga responsiva**: a recarga permanece reduzida entre 17h e 20h, mas alcança 6,5 GW às 23h.

Frequência de recarga impacta diretamente no perfil diário: em muitos casos, o veículo permanece conectado à rede elétrica durante várias horas. A exemplo da recarga noturna em residências e da recarga diurna em prédios comerciais. Entretanto, o consumo efetivo de eletricidade ocorre apenas durante o período necessário para o carregamento da bateria. Assim, em uma recarga diária, o volume de eletricidade demandado em cada sessão tende a ser menor.

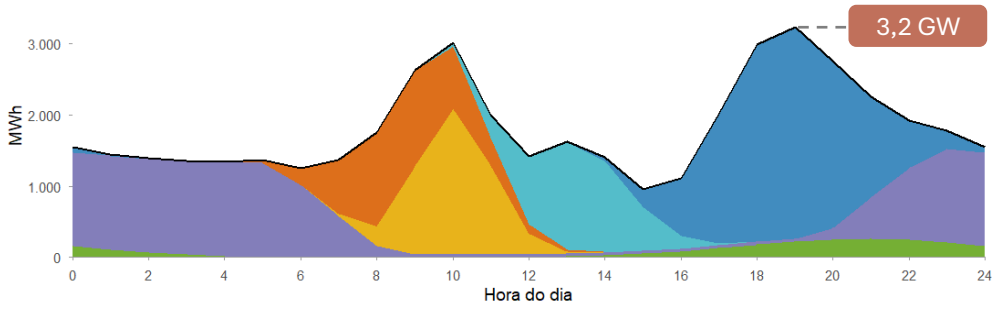
Recarga programável pode sincronizar a demanda: diante de um sinal de preço estático, os veículos programados podem iniciar o carregamento simultaneamente no começo do período de menor tarifa, intensificando o pico agregado de demanda.

Simule outros cenários
Ferramenta iterativa disponível no site da EPE:
https://dashboard.epe.gov.br/apps/eletromobilidade/

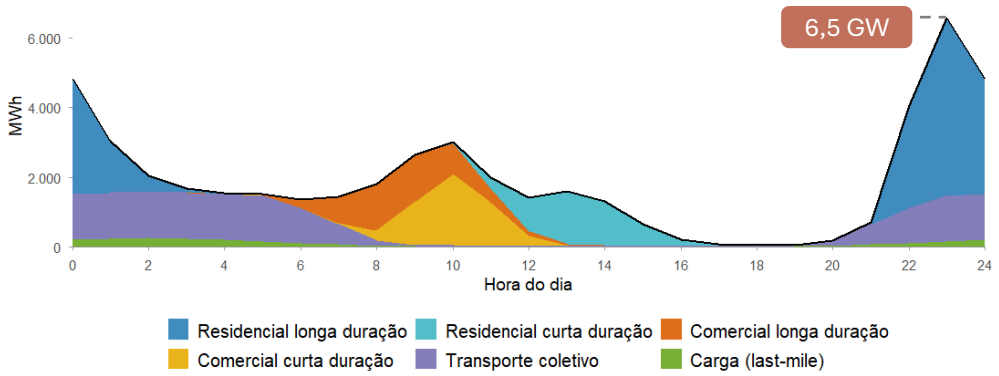
Acesse a metodologia do Simulador da Curva Semanal de Carregamento de Veículos Elétricos:
https://dashboard.epe.gov.br/apps/eletromobilidade/docs/metodologia_simulador_eletromobilidade.pdf

Exemplos de cenários de recarga

A **Recarga não coordenada:** Consumidor carrega livremente de acordo com o seu comportamento padrão, sem preocupação com coordenacão e sinal tarifário.



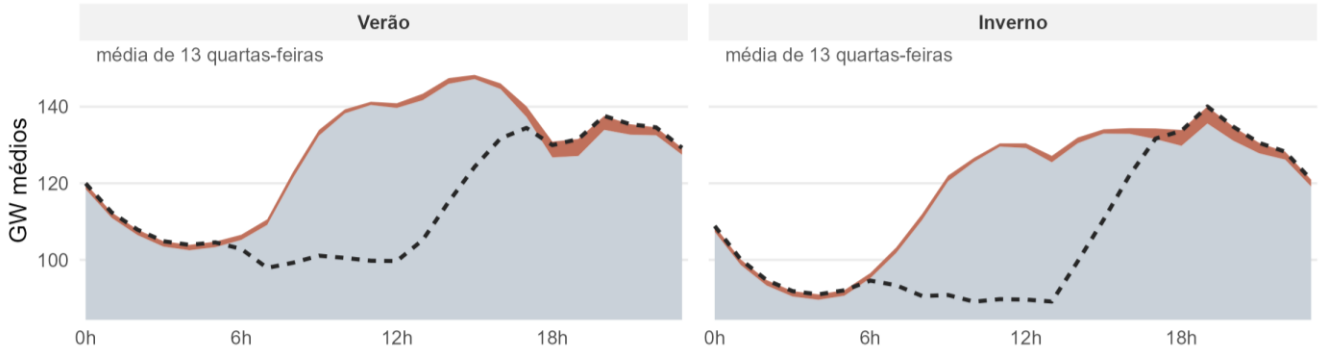
B **Recarga responsiva:** Consumidor modifica o seu comportamento em função do sinal tarifário, automação e infraestrutura inteligente.



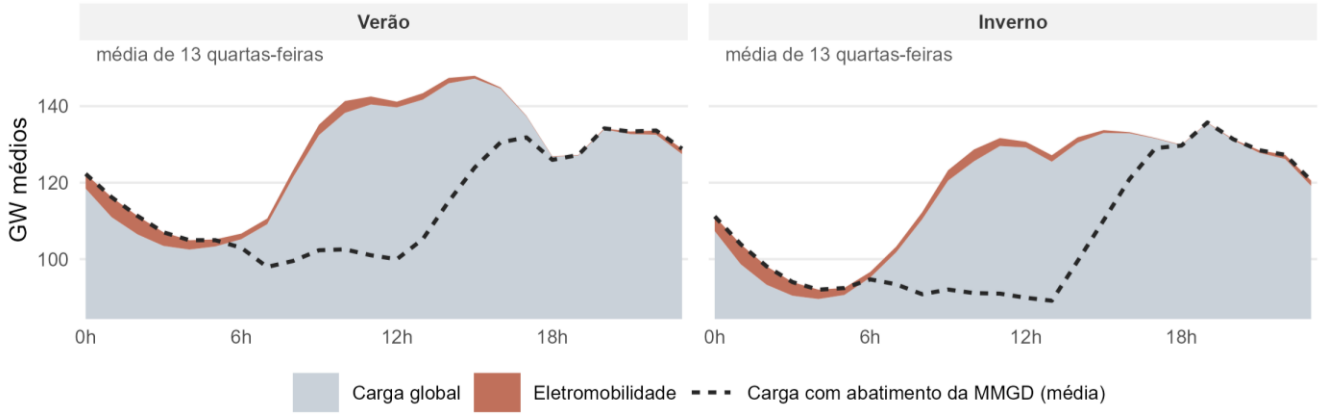
A gestão da recarga influencia os impactos da eletromobilidade na curva de carga do SIN

- **O cenário "Recarga responsiva" concentra os carregamentos em horários mais favoráveis ao SIN**: embora mais concentrada, a recarga ocorre predominantemente no final da noite e durante a madrugada, quando a carga do sistema é menor.
- **MMGD e veículos elétricos apresentam perfis de consumo e geração em horários distintos**: a aquisição de um veículo elétrico aumenta o consumo de eletricidade e pode estimular o consumidor a buscar alternativas para reduzir os custos com energia. A MMGD, por sua vez, é uma dessas alternativas. Porém, a combinação entre geração distribuída e recarga de veículos elétricos pode trazer desafios adicionais à operação do sistema.
- **A oferta de eletropostos públicos pode criar sinergias com o perfil da geração solar**: a disponibilidade de infraestrutura de recarga acessível ao público em geral, em vias públicas, postos de combustíveis e estacionamentos comerciais, pode favorecer o aumento da recarga diurna.
- **Efeitos locais na distribuição**: a concentração da recarga residencial em poucas horas pode sobrecarregar transformadores e alimentadores, exigindo a expansão da rede de distribuição mesmo quando o efeito agregado sobre o SIN é favorável. Sinais dinâmicos, início escalonado da recarga e gestão por agregadores podem evitar a ocorrência de picos simultâneos.

A **Recarga não coordenada:** Consumidor carrega livremente de acordo com o seu comportamento padrão, sem preocupação com coordenação e sinal tarifário.



B **Recarga responsiva:** Consumidor modifica o seu comportamento em função do sinal tarifário, automação e infraestrutura inteligente.



Como as tarifas de energia podem induzir a responsividade dos consumidores?

Sinal de preço e deslocamento da carga

- Tarifas diferenciadas no tempo, ou *Time-of-Use* (TOU) em inglês, incentivam os consumidores a realizar a recarga em horários de menor custo para o sistema, contribuindo para suavizar rampas e picos de demanda.
- A transparência tarifária, com sinalização clara dos custos para o consumidor, aliada a uma comunicação efetiva e acessível, é fundamental para ampliar os resultados e estimular a resposta dos consumidores.
- Com a adoção de tarifas dinâmicas, de maior granularidade temporal, os consumidores passam a pagar valores mais próximos dos custos de utilização das redes em cada momento, podendo deslocar seu consumo para horários de menor custo para o sistema.
- Nesse contexto, com um carregador V1G e tarifas mais granulares, os consumidores poderiam programar a recarga de seus veículos para horários mais adequados. Com o V2G, seria possível também injetar energia na rede nos períodos de maior custo, permitindo que os veículos atuassem como baterias distribuídas e realizassem arbitragem de energia.

A aplicação de tarifas dinâmicas, além de incentivar a flexibilidade, permite promover uma alocação mais adequada dos custos do sistema. Entretanto, alguns fatores devem ser considerados:

- A definição de sinais de preço que representem, em tempo real, a escassez de infraestrutura e de recursos é um desafio. As tarifas representam, de forma simplificada, os custos marginais de capacidade das redes e de energia.
- Para tarifas do tipo TOU, cada alteração nos períodos tarifários pode induzir novas respostas dos consumidores e modificar a curva de carga, eventualmente criando novos picos de demanda em outros horários ("pico de retorno") e pressionando novamente as redes de distribuição. Assim, podem ser necessários mecanismos de aprimoramento e revisão das tarifas.
- Diversos fatores tecnológicos condicionam aproveitamento e a contribuição desses recursos para os sistemas energéticos. São desejáveis ferramentas de comunicação bidirecional em tempo real, com maior granularidade temporal.
- A resposta dos consumidores aos sinais tarifários é heterogênea e varia conforme o perfil de renda, os hábitos de consumo e o acesso a tecnologias de automação. Esses fatores comportamentais devem ser incorporados ao planejamento, juntamente com o aprimoramento do desenho tarifário.

Tarifas granulares são essenciais para sinalizar adequadamente os custos e viabilizar a resposta aos preços. Entretanto, as mudanças de comportamento dos consumidores são incertas. Por isso, **sua eficácia depende da disponibilidade de tecnologia, da transparência e de um desenho tarifário adequado**, capaz de endereçar os diferentes desafios associados às infraestrutura de recarga residencial e pública.

Experiência internacional oferece referências para o desenho tarifário no Brasil

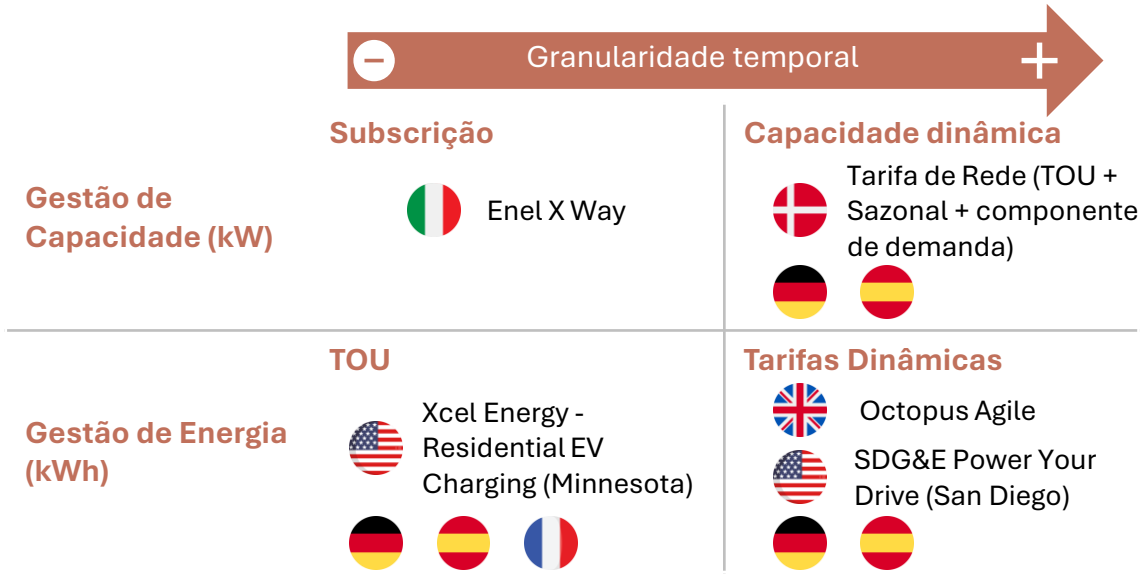
Características comuns aos principais mercados analisados:

- Entre os modelos analisados, **as tarifas TOU são predominantes**, enquanto estruturas híbridas (*cost-based* + *price-based*) vêm ganhando espaço. Essas tarifas representam um primeiro passo na busca por maior granularidade temporal, especialmente para a componente de energia (kWh). Por outro lado, **tarifas específicas para veículos elétricos ainda são pouco frequentes, e a integração com mecanismos de resposta da demanda permanece limitada**. Em mercados mais desenvolvidos, como os EUA e o Reino Unido, já existem experiências com tarifas dinâmicas, que representam um avanço em relação às tarifas TOU.
- As tarifas residenciais são predominantemente estruturadas nos modelos TOU ou dinâmicos, com o objetivo de deslocar a carga para horários fora de ponta. Já **a recarga pública enfrenta o desafio das elevadas tarifas de demanda, exigindo soluções adicionais, como tarifas de capacidade e de subscrição**. Esse último modelo é apontado como uma alternativa às tarifas volumétricas, pois pode mitigar o chamado "pico de rebote", que ocorre quando diversos veículos iniciam a recarga simultaneamente no começo do período de preços mais baixos. Além disso, oferece maior previsibilidade para o consumidor, de forma semelhante aos planos de telefonia móvel e internet.

Nota: (1) Desde 1º de janeiro de 2025, todos os fornecedores de energia elétrica da Alemanha passaram a ser obrigados a oferecer pelo menos uma tarifa dinâmica para consumidores que disponham de medidor inteligente.

Casos de experiências internacionais com desenhos mais favoráveis ou dedicados aos VE

Fonte: Elaboração própria a partir de AFRY, 2024, TURK, 2025, HILDERMEIER, 2020 e ENEL X WAY.



- Alemanha e Espanha apresentam estruturas tarifárias mais granulares, que combinam sinais temporais para a energia e componentes associados à capacidade. Enquanto a Espanha dispõe de tarifas TOU multiperíodos (também denominadas "TOU-dinâmica"), a Alemanha[1] vem avançando na adoção de tarifas dinâmicas, razão pela qual aparece em mais de uma categoria.

Legenda dos modelos tarifários: Subscrição: cobrança por capacidade (kW) contratada; **TOU:** preços fixos por período horário; **Capacidade Dinâmica:** cobrança por capacidade dependente do uso da rede; **Tarifas Dinâmicas:** preços variam conforme condições do sistema ou de mercado.

Diferentes soluções podem ser necessárias para o desenho tarifário dos VE

Objetivos distintos por segmento orientam o desenho tarifário

- **Residencial:** foco no deslocamento do consumo (ex.: recarga noturna), por meio de mecanismos de resposta da demanda baseados em preços, como tarifas TOU ou dinâmicas.
- **Público:** foco na viabilidade econômica da infraestrutura de recarga, com destaque para os impactos das tarifas de demanda (kW).

Desafio	Potencial solução tarifária
Picos locais	Capacidade Subscrita *Cobrança por kW contratado*
Congestionamento das redes	Tarifas Dinâmicas *Preço varia com uso da rede*
Falta de controle do carregamento	Programas de RD[1] por incentivos *Pagamentos e Descontos por Participação*
Indução de horário de recarga/descarga	Tarifas TOU ou específicas para VE *Estrutura específica (Ponta/Fora-Ponta)*

Nota: (1) RD refere-se a "Resposta da Demanda", um tipo de Recursos Energético Distribuído.

Tarifas bem desenhadas devem refletir os custos do sistema e endereçar seus principais desafios, transmitindo sinais de preços que estimulem o consumidor a perceber esses custos e a responder ativamente.

A partir da projeção de frota de veículos eletrificados, estima-se uma **capacidade acumulada de armazenamento de 222 GWh no Brasil até 2036.** Embora o atendimento ao setor elétrico não seja a finalidade prioritária desse armazenamento, existe a oportunidade de utilizar parte desse recursos como fonte complementar de flexibilidade para apoiar a operação do sistema. Com a expansão da infraestrutura de recarga e a adoção do V2G, as baterias dos veículos elétricos poderão contribuir, por exemplo, para absorver excedentes de geração solar distribuída durante o dia, a depender do perfil de recarga.

De forma complementar, essas cargas poderão ser agregadas e participar de programas de Resposta da Demanda, ampliando o potencial de flexibilidade do sistema.

Por fim, a discussão em curso sobre a aplicação automática da Tarifa Branca para consumidores de baixa tensão (CP nº 46/2025) pode ampliar a exposição dos proprietários de veículos elétricos a sinais horários de preço. Nesse contexto, o deslocamento da recarga para períodos de tarifas mais baixas tende a reduzir os custos para os consumidores e a contribuir para suavizar a curva de carga.

Diferentes instrumentos tarifários respondem a problemas distintos. Não há, portanto, uma solução única, mas sim a necessidade de **combinar sinais de preço, incentivos e mecanismos complementares**. A coordenação desses instrumentos é fundamental para viabilizar a expansão eficiente e a operação adequada das redes de distribuição e da infraestrutura de recarga elétrica no Brasil.

Oportunidades para transmissão e geração: flexibilidade da rede e da demanda



A eletromobilidade pode representar não apenas uma nova carga, mas também um **recurso complementar de flexibilidade para o sistema elétrico**, por meio da gestão inteligente da recarga e, potencialmente, do uso bidirecional das baterias.

Comportamento na ponta

A gestão inteligente dos horários de recarga pode reduzir os impactos do carregamento durante os períodos de ponta.

Integração com a geração

Os veículos elétricos, e suas baterias têm potencial para contribuir para a otimização energética do sistema.

Serviços à rede

As estações de recarga, especialmente as de maior porte, podem prestar serviços auxiliares e contribuir para o desempenho da rede local.

Aspecto	Recarga não coordenada	Recarga responsiva
Investimentos em rede	Pode antecipar a necessidade de reforços em transformadores e alimentadores.	Pode aproveitar a capacidade ociosa da rede e postergar a necessidade de reforços.
Aproveitamento renovável	Pode desperdiçar oportunidades de absorção de excedentes de geração renovável.	Pode direcionar a recarga para períodos de maior disponibilidade de geração renovável, reduzindo o *curtailment*.
Curva de carga	A concentração da recarga nos horários de pico pode elevar a demanda máxima.	Permite deslocar a recarga para períodos de menor demanda, contribuindo para achatar a curva de carga.
Flexibilidade / Operação	Não aproveita a flexibilidade da recarga para atender às necessidades operativas do sistema	Permite modular e deslocar a recarga conforme as condições do sistema e, com o V2G, até devolver energia à rede.



A flexibilidade associada à eletromobilidade pode integrar um conjunto mais amplo de recursos disponíveis para a operação do sistema elétrico, complementando soluções como armazenamento de energia, geração flexível e mecanismos de gestão da demanda.
A coordenação do carregamento pode ser estimulada por meio de sinais de preço e estruturas tarifárias diferenciadas, em linha com as iniciativas de modernização tarifária e coordenação de REDs em discussão, por exemplo, no âmbito das **CPs nº 46/2025 e nº 33/2026 da ANEEL**.

PDE 2036

Demanda por baterias e seus minerais estratégicos

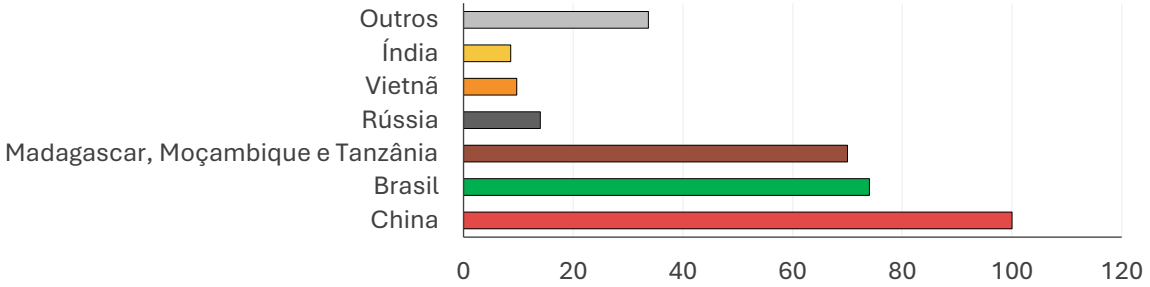
epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Brasil possui reservas expressivas de minerais relevantes para a fabricação de baterias

- Juntamente com a grafita, o cobalto e o níquel, **o lítio deverá se destacar entre os minerais com maior potencial de crescimento da demanda para a fabricação de baterias** (IBRAM, 2025). **O Brasil detém a segunda maior reserva mundial de grafita, embora sua mineração ainda seja pouco expressiva.** O País também possui a **segunda maior reserva de metais de terras raras**. Já no caso do nível, apesar das grandes reservas de níquel, a cadeia produtiva nacional é limitada.

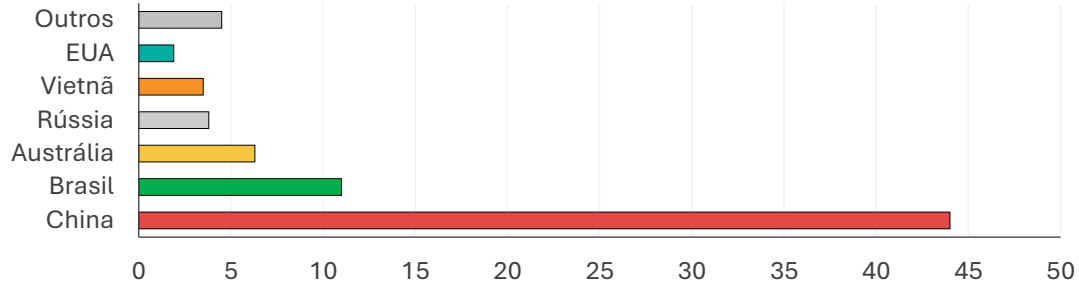
Reservas globais de grafita por país (milhão de toneladas)

Fonte: Elaboração própria a partir de USGS.



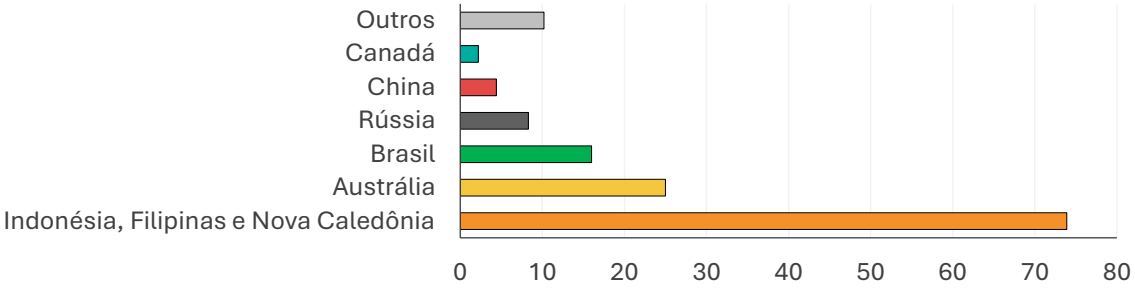
Reservas globais de terras raras por país (milhão de toneladas)

Fonte: Elaboração própria a partir de USGS.



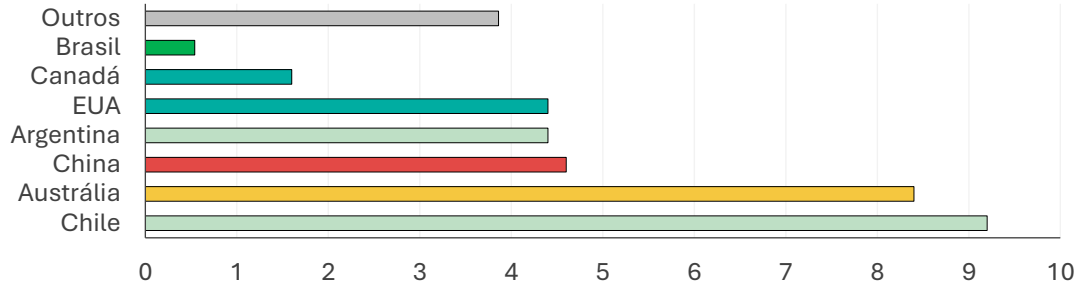
Reservas globais de níquel por país (milhão de toneladas)

Fonte: Elaboração própria a partir de USGS.



Reservas globais de lítio por país[1] (milhão de toneladas)

Fonte: Elaboração própria a partir de USGS.

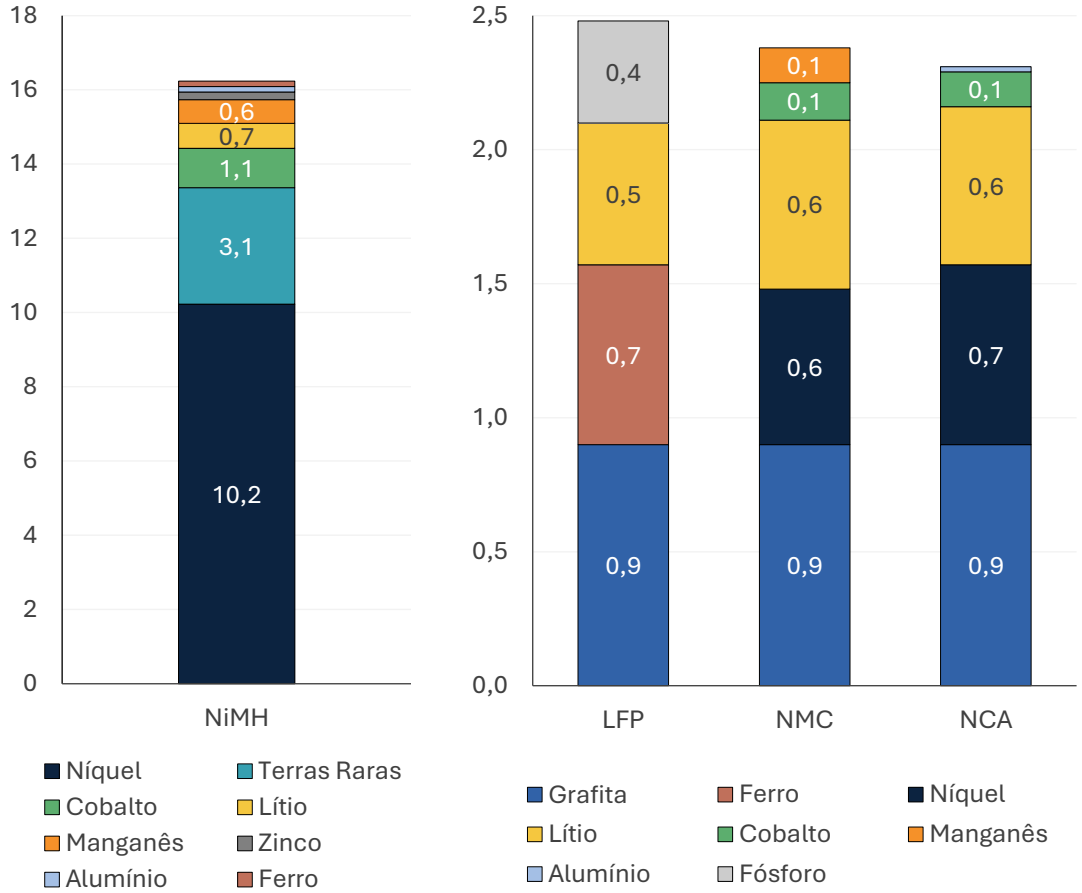


Nota: (1) Chile e a Argentina detêm grandes reservas de lítio, com significativa capacidade de refino local, destacando a importância da cooperação econômica.

Tecnologias consolidadas de baterias apresentam diferentes características e aplicações

Demanda de minerais por tipo de bateria (kg/kWh)

Fonte: Elaboração própria.



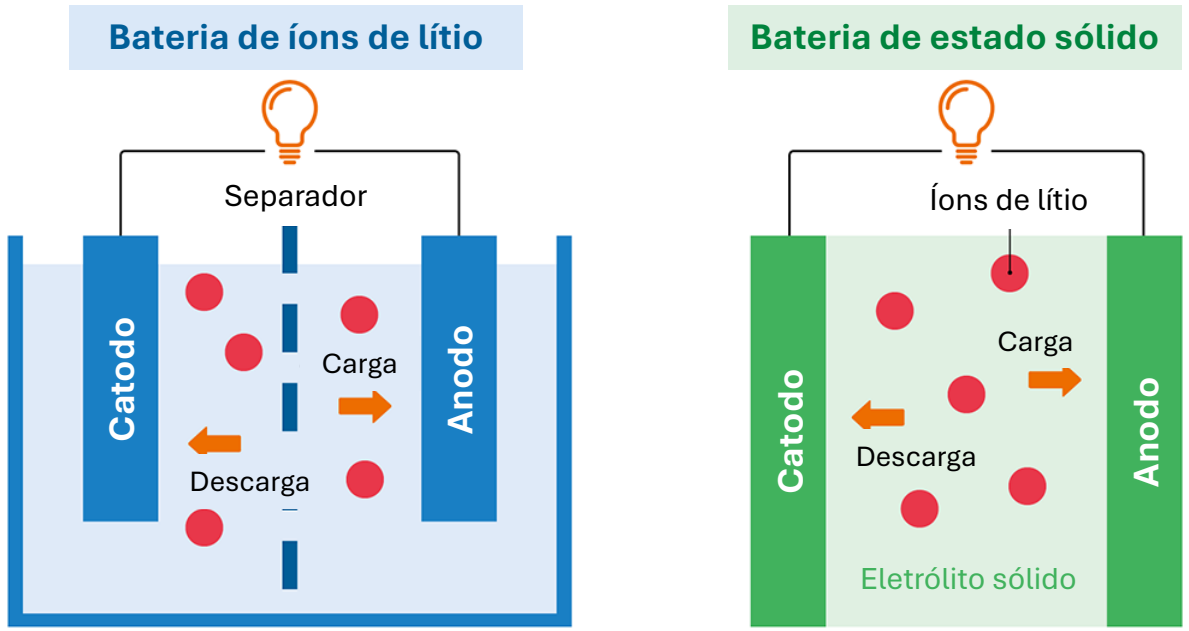
Principais tecnologias de baterias consolidadas:

- **Baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH)** (densidade média: 8,3 a 16,6 kg/kWh):
  - Tecnologia madura, durável e de custo elevado, com baixa densidade energética. É comumente empregada em veículos híbridos convencionais (não *plug-in*).
- **Lítio-ferro-fosfato (LFP)** (densidade média: 5,0 a 8,3 kg/kWh):
  - Tecnologia segura, de baixo custo, longa vida útil e elevada resistência ao calor. Embora apresente menor densidade energética que as alternativas com cobalto, é a química mais utilizada em veículos elétricos de entrada e intermediários, impulsionada pelo mercado chinês.
- **Níquel-manganês-cobalto (NMC) e níquel-cobalto-alumínio (NCA)** (densidade média: 4,0 a 5,0 kg/kWh):
  - Essas tecnologias apresentam as maiores densidades energéticas entre as opções consolidadas, permitindo maior autonomia e recarga mais rápidas. Por outro lado, possuem menor vida útil e custo mais elevado, sendo utilizadas principalmente em caminhões e veículos elétricos de alto desempenho (*premium*).

Novas tecnologias de baterias ainda enfrentam desafios para sua consolidação comercial

Funcionamento de baterias de estado sólido: Comparação com baterias de íons de lítio

Fonte: Adaptado de muRata.



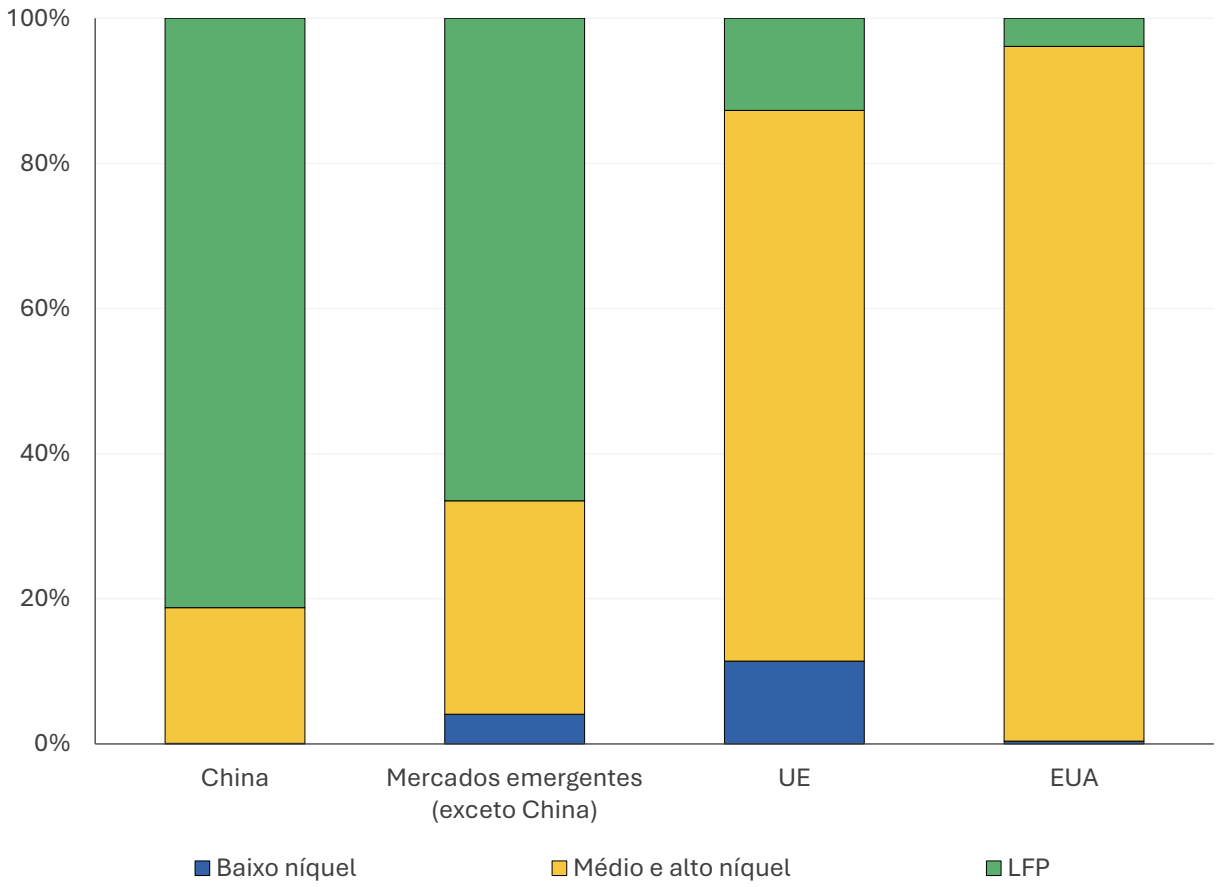
Principais tecnologias emergentes:

- **Baterias de estado sólido** (densidade média: 2,2 a 2,8 kg/kWh):
  - Ainda em desenvolvimento, substituem o eletrólito líquido por um material sólido, com potencial para proporcionar maior densidade energética, menor peso e maior segurança térmica. Essas baterias encontram-se em fase de transição dos laboratórios para as primeiras linhas de produção comercial no setor automotivo.
- **Íon-sódio (Na-ion)** (densidade média: 5,7 a 8,3 kg/kWh):
  - Substitui o lítio pelo sódio, elemento abundante e de baixo custo. Embora apresente menor densidade energética que as baterias de íons de lítio, constitui uma alternativa potencialmente viável para aplicações estacionárias, como o armazenamento de energia em redes elétricas, e para veículos urbanos de curto alcance.
- **Lítio-enxofre (Li-S)** (densidade média: 2,0 a 2,5 kg/kWh):
  - Apresenta potencial para combinar elevada densidade energética, baixo custo e sustentabilidade. Entretanto, sua rápida degradação ainda limita o desenvolvimento comercial da tecnologia, que permanece restrita a protótipos de nicho.

Baterias LFP ampliam sua presença no mercado mundial de veículos eletrificados

Composição de baterias mais comuns por região de origem em 2025 (% do total)

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, EV Outlook 2026.



- De maneira geral, enquanto as baterias de NiMH, NMC e NCA são mais utilizadas na Europa e nos EUA, **a China e outros mercados emergentes têm apostado no desenvolvimento e na utilização de baterias LFP.**
- **As características das baterias LFP favorecem sua crescente utilização.** A ausência de cobalto, mineral cujas reservas naturais estão fortemente concentradas na República Democrática do Congo, reduz os riscos associados ao suprimento de minerais estratégicos.
- **Pesquisas buscam combinar as tecnologias LFP e NMC**, com o objetivo de desenvolver baterias que reúnam a elevada densidade energética das NMC e a maior durabilidade e segurança contra incêndios das LFP.
- **As baterias LFP vêm sendo cada vez mais utilizadas no mundo, com destaque para a China, inclusive em caminhões pesados.** Essa tendência é impulsionada pela evolução das características dessas baterias. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos têm permitido reduzir seu peso em relação ao de outras tecnologias. **Atualmente, as baterias LFP pesam apenas cerca de 20% a 25% a mais que as NMC, o que viabiliza sua utilização também em veículos pesados.**

Demanda por baterias para eletromobilidade acelera no horizonte decenal.

- **A demanda por baterias depende fortemente do tipo de eletrificação e do peso dos veículos.**
- A partir de uma capacidade média estimada para cada categoria de veículo, é possível calcular a respectiva demanda por baterias.
- **Estima-se uma demanda total de 33 GWh em baterias apenas para atender aos licenciamentos de veículos em 2036.** A implantação de uma fábrica modular de baterias, com capacidade inicial de 10 GWh e possibilidade de expansão para 40 GWh/ano, permitiria desenvolver uma indústria nacional em escala competitiva (McKinsey).
- **A capacidade potencial de armazenamento da frota eletrificada no País poderá alcançar 222 GWh em 2036.**
- Sistemas de carregamento bidirecional podem contribuir para reduzir os custos de recarga e, ao mesmo tempo, ampliar a flexibilidade do Sistema Interligado Nacional.

Tecnologia de bateria do modelo mais vendido por categoria no Brasil

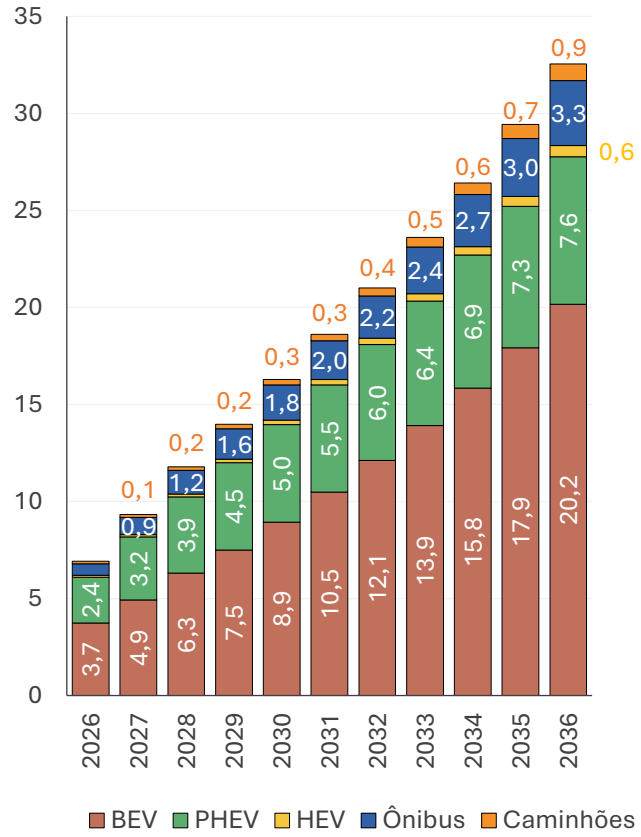
Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE e Fenabrave.

Categoria	Motorização	Bateria	Capacidade
Automóveis	HEV	NiMH	1,3 kWh
Automóveis	PHEV	LFP	18,3 kWh
Automóveis	BEV	LFP	38 kWh
Comerciais leves	PHEV	LFP	29,6 kWh
Ônibus	BEV	LFP	344 kWh
Caminhões semileves	BEV	NMC	123 kWh
Caminhões leves	BEV	LFP	97 kWh
Caminhões médios	BEV	LFP	190 kWh
Caminhões semipesados	BEV	LFP	229 kWh
Caminhões pesados	BEV	NCA	540 kWh

- As tecnologias de baterias empregadas nos modelos mais vendidos de cada categoria no Brasil são adotadas pela EPE como *proxy* para o cálculo da demanda por minerais.

Demanda anual por baterias para eletromobilidade no Brasil (GWh)

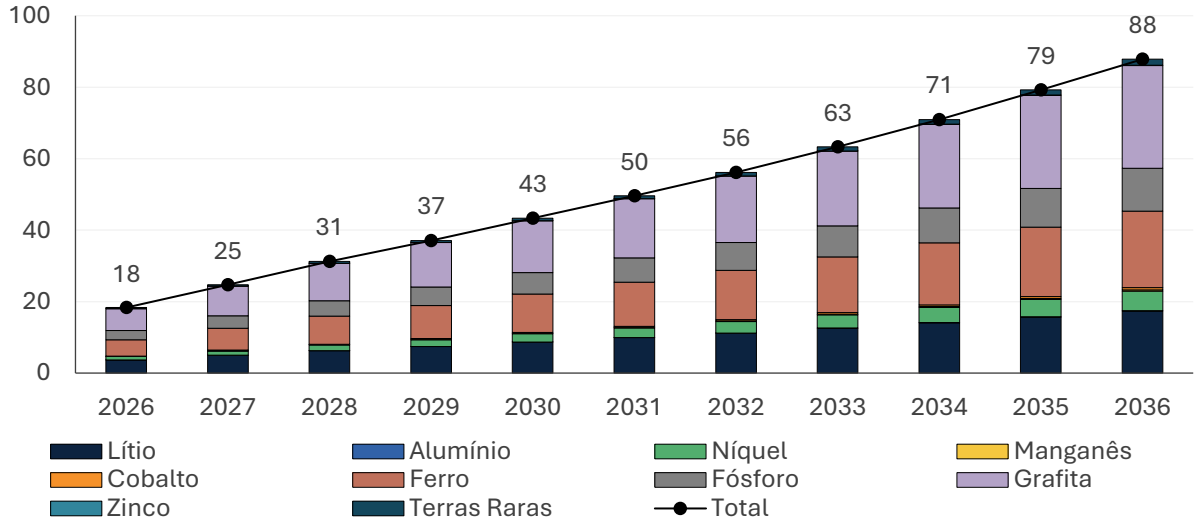
Fonte: Elaboração própria.



Eletrificação amplia a demanda por minerais estratégicos para a fabricação de baterias

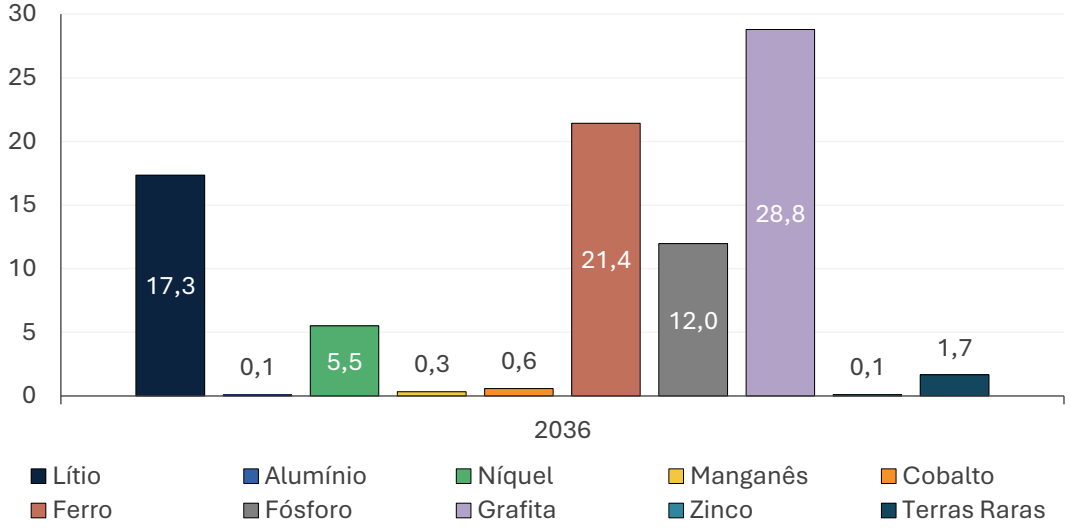
Demanda de minerais estratégicos para a fabricação de baterias para eletromobilidade no Brasil (mil toneladas)

Fonte: Elaboração própria.



Demanda de minerais estratégicos para a fabricação de baterias para eletromobilidade no Brasil em 2036 (mil toneladas)

Fonte: Elaboração própria.



- **Entre os minerais estratégicos, destacam-se o lítio, o níquel, a grafita e os minerais de terras raras**, cuja relevância nas cadeias globais de suprimento deverá aumentar nas próximas décadas. Adicionalmente, o ferro e o fósforo, já amplamente utilizados na siderurgia e na fabricação de fertilizantes, deverão ganhar participação na cadeia de suprimento da eletromobilidade.
- **O potencial geológico brasileiro é muito favorável.** Atualmente, o Brasil produz mais do que a demanda projetada para 2036 de lítio, níquel e grafita (ANM; SGB). Entretanto, persistem desafios nas etapas de beneficiamento e transformação química. A grafita beneficiada brasileira ainda precisa passar por processos específicos para se tornar material anódico. O mesmo se aplica ao fosfato e ao lítio (Park, Cho et al.; IRENA). **O principal gargalo está na transformação desses recursos em produtos com especificações adequadas à fabricação de células.**

PDE 2036

Aspectos socioambientais da eletromobilidade

epe 20+
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Eletromobilidade oferece benefícios ambientais, mas também impõe desafios à transição

Benefícios e oportunidades

Descarbonização no setor de transportes

- Potencial ampliação do acesso a uma tecnologia limpa no setor que mais emite GEE no uso de energia.
- Substituição de combustíveis fósseis por eletricidade, altamente renovável e de baixa emissão de GEE.
- Alinhamento aos compromissos climáticos e à continuidade da transição energética brasileira.

Melhoria da qualidade ambiental

- Redução de emissões locais de poluentes atmosféricos, material particulado e de ruído (poluição sonora), trazendo relevantes benefícios à saúde pública, especialmente em centros urbanos.

Aumento da eficiência energética

- Veículos eletrificados consomem menos energia por quilômetro percorrido em relação a veículos a combustão interna.
- A maior eficiência dos eletrificados reduz a energia necessária para realizar o mesmo serviço de transporte, contribuindo para diminuir a demanda, em especial fóssil.

Desenvolvimento de novas cadeias industriais de baixo carbono

- Geração de emprego e renda nas cadeias associadas a veículos elétricos, baterias, infraestrutura de recarga e serviços associados.

Fortalecimento da resiliência do sistema energético

- Potencial para atuar como recurso energético distribuído, agregando flexibilidade e confiabilidade ao sistema elétrico por meio da gestão inteligente da recarga e do armazenamento em veículos elétricos.

Desafios

Gestão sustentável de minerais e baterias

- Adoção de práticas sustentáveis e responsabilidade na cadeia de minerais estratégicos e baterias, incluindo reciclagem, reaproveitamento e economia circular.

Expansão da infraestrutura elétrica

- Necessidade de planejamento e adequação do setor para garantir o atendimento da demanda elétrica com o crescimento da eletromobilidade.
- Planejamento da expansão da rede de recarga considerando aspectos socioambientais e territoriais.
- Modernização, reforço e aumento da resiliência das redes de distribuição e da infraestrutura de recarga a fim de garantir confiabilidade e segurança do suprimento de energia frente a eventos extremos, especialmente em áreas com maior concentração de veículos elétricos e em instalações com elevada demanda de carga.

Qualificação de mão de obra

- Capacitação técnica ao longo da cadeia para lidar com novas tecnologias, incluindo concessionárias, oficinas e serviços de manutenção.

Inclusão e transição justa

- Garantia de que os benefícios econômicos, ambientais e sociais sejam compartilhados entre diferentes grupos sociais e territórios.
- Ampliação do acesso, redução das barreiras de custo e expansão da infraestrutura de recarga de forma equilibrada entre regiões.
- Assegurar que mecanismos tarifários para recarga de veículos elétricos conciliem eficiência do sistema, modicidade e equidade entre consumidores.
- Apoio à requalificação profissional dos trabalhadores afetados pelas transformações nas cadeias produtivas.

Segmentos com maior potencial de eletrificação ainda responderão por 45% das emissões do transporte rodoviário em 2036

Automóveis

- Em 2036, as emissões de GEE de automóveis deverão representar 35% do total do transporte rodoviário.
- Ainda há potencial de redução das emissões, considerando o tamanho da frota e a intensidade de uso dos veículos. Entre 2026 e 2036, a demanda energética deverá crescer 2%, enquanto as emissões deverão diminuir 6%, refletindo o avanço da eletromobilidade e dos biocombustíveis.
- Maior necessidade de planejamento de infraestrutura de recarga distribuída e de gestão inteligente do carregamento.

Ônibus urbanos

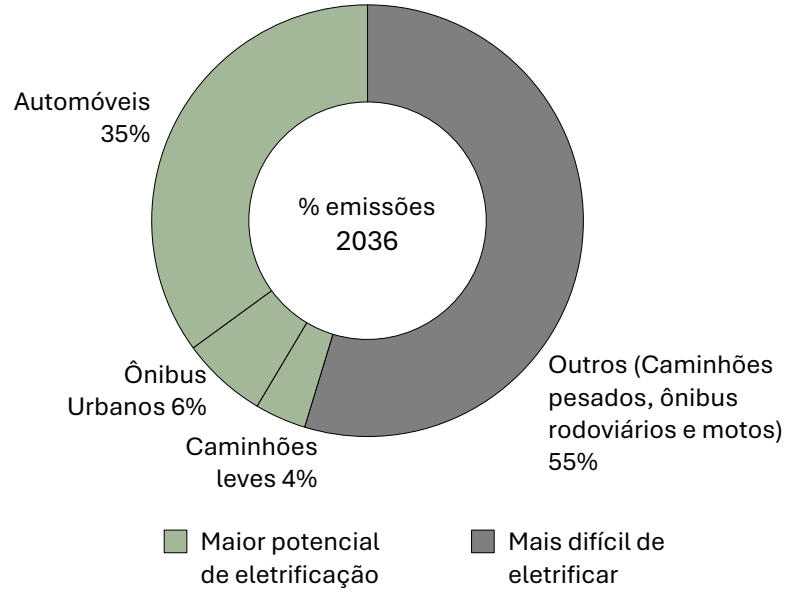
- Em 2036, as emissões de GEE dos ônibus urbanos deverão representar 6% do total do transporte rodoviário.
- Há potencial de mitigação das emissões por meio da mudança modal e da eletrificação, considerando a elevada intensidade de uso desses veículos.
- A eletrificação contribui também para reduzir a emissão de poluentes locais e a poluição sonora nos centros urbanos.

Caminhões leves urbanos

- Em 2036, as emissões de GEE dos caminhões leves deverão representar 4% do total das emissões do transporte rodoviário.
- Aplicações relacionadas à distribuição urbana e à última milha apresentam condições favoráveis à eletrificação.
- Rotas previsíveis e menores distâncias favorecem a adoção de veículos elétricos a bateria, com ganhos de eficiência operacional e energética.

Participação das emissões no transporte rodoviário em 2036 (% do total)

Fonte: Elaboração própria.



Nota: (1) As projeções de emissões de GEE apresentadas no PDE 2036 foram estimadas conforme a metodologia apresentada no Informativo Técnico sobre Metodologias e Fatores de Emissão de GEE n. 11/2022 (EPE, 2022)

No contexto brasileiro, a expansão da eletromobilidade nos segmentos urbanos complementa o maior uso de biocombustíveis e contribui para a mitigação das emissões no setor de transportes.

A governança conjunta da eletrificação e da qualidade do ar amplia a sinergia entre objetivos climáticos e de saúde

Cidades mais silenciosas

30–50 km/h	> 50 km/h

Menor poluição sonora, sobretudo associada a ônibus e caminhões. Em veículos leves, o ganho é maior a 30-50 km/h; acima, pneus e aerodinâmica predominam.

Ar mais limpo

MP | NO_x | SO_x | CO | CN

Zero emissão de escapamento: menos doenças respiratórias e cardiovasculares.

MP: Material particulado; NO_x: Óxidos de nitrogênio; SO_x: Óxidos de enxofre; CO: monóxido de carbono e CN: Carbono negro.

Trabalho e renda

Novas ocupações na cadeia produtiva associada à eletromobilidade. Com transição justa, motoristas e mecânicos precisam ser requalificados.

82,1%

do NO_x emitido em 2022 teve origem no setor de energia, sobretudo no diesel rodoviário

~ 87 mil

mortes prematuras por ano no Brasil associadas à poluição do ar

A escolha da tecnologia importa

- **Eletrificação:** reduz a poluição sonora e elimina as emissões de escapamento, com benefícios ampliados pela baixa intensidade de carbono da matriz elétrica brasileira.
- **Biodiesel e etanol:** são complementares à eletrificação e contribuem para reduzir as emissões de GEE e de alguns poluentes locais.

A escolha de onde e para quem eletrificar importa

- Regiões metropolitanas com elevada presença de veículos a diesel e/ou outras fontes de poluentes locais.
- Corredores e rodovias de alto fluxo.
- População mais vulnerável, como crianças e idosos, e grupos de baixo acesso a serviços de saúde.

Plano de Ação de Ar Limpo e Clima

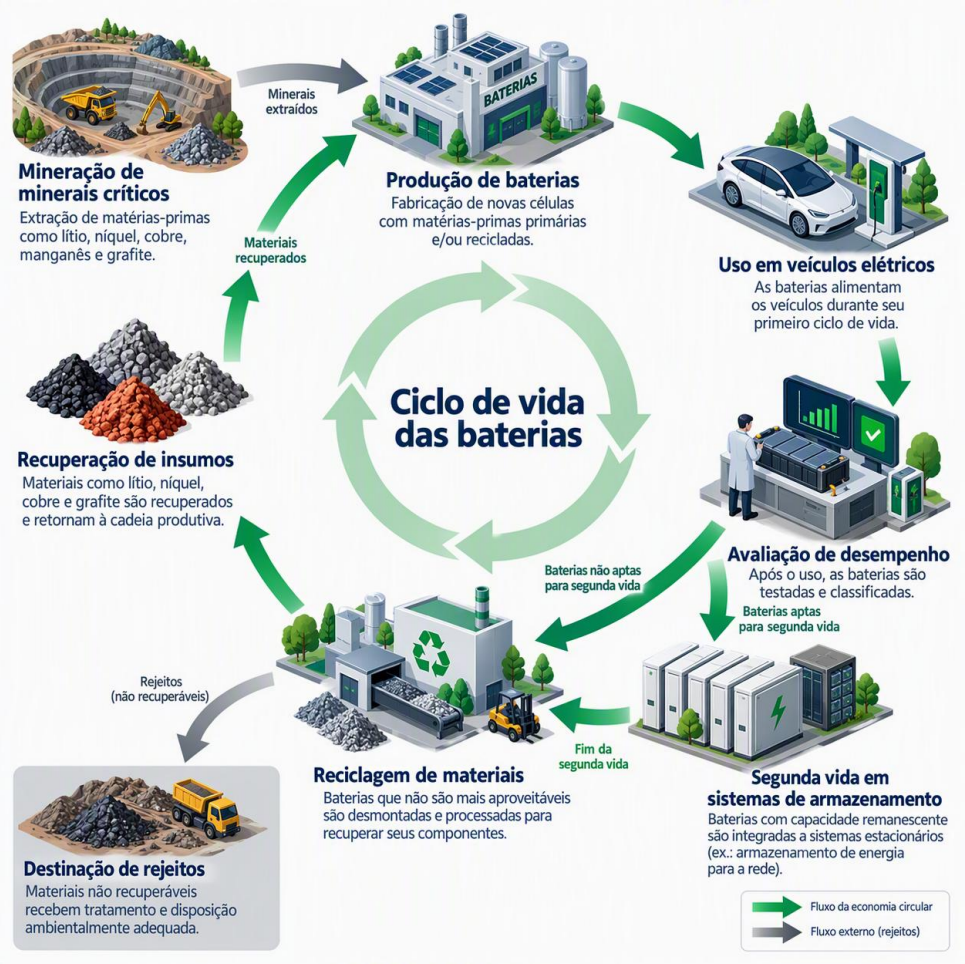
- Potencial de ampliação da frota de transporte público coletivo movida a energias renováveis.
- Potencial de ampliação da frota de veículos de carga urbana, de serviços públicos e de serviços essenciais com baixa ou zero emissão.

Fonte: Plano de Ação de Ar Limpo e Clima (versão Consulta Pública) e NT - Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo (EPE, 2021).

Circularidade das baterias na eletromobilidade: Aplicações estacionárias, reciclagem e uso eficiente de recursos naturais

- **Produção de baterias:** a expansão da demanda impulsiona ganhos de escala, reduz custos e amplia a necessidade de minerais estratégicos e de cadeias de suprimento resilientes e sustentáveis.
- **Primeira vida:** o uso de baterias em veículos elétricos contribui para reduzir as emissões locais e de GEE, em razão da maior eficiência energética desses veículos.
- **Recondicionamento:** a avaliação e requalificação das baterias permitem identificar aquelas aptas para reaproveitamento. Para isso, devem ser buscadas a padronização e a rastreabilidade dos processos, além da redução dos custos de inspeção.
- **Segunda vida:** o uso de baterias em aplicações estacionárias prolonga a sua vida útil e reduz a demanda por novos materiais. Essa alternativa vem se mostrando cada vez mais promissora para o armazenamento de energia e para o suporte à integração de fontes renováveis.
- **Reciclagem e recuperação de materiais:** favorecem a economia circular e reduzem a dependência da mineração e seus impactos ambientais associados. Entretanto, há desafios tecnológicos, econômicos e logísticos para alcançar escala comercial, somados ao atual baixo volume de baterias em fim de vida. Além disso, a migração para químicas de menor custo reduz o valor dos materiais recuperados, reforçando a importância de modelos de remuneração dos serviços de reciclagem e de instrumentos que ampliem a responsabilidade dos fabricantes pela destinação adequada das baterias. Destaca-se que o Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), instituído pela Lei nº 14.902/2024 e regulamentado pelo Decreto nº 12.435/2025, estabelece requisitos obrigatórios de reciclabilidade veicular, com metas percentuais de reutilização e reciclagem.

Fonte: IEA (2026) e BID (2024).



Fonte: Adaptado de BADRA (2022) e BID (2024), com auxílio de inteligência artificial.

PDE 2036

Considerações finais

epe 20+ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
GOVERNO DO BRASIL DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Principais mensagens

- **A eletromobilidade avança em todo o mundo.** Em 2025, os veículos elétricos a bateria (BEV) alcançaram 17% das vendas, enquanto os híbridos *plug-in* (PHEV) responderam por 9%. Apesar desse avanço, a frota global de veículos com motor a combustão interna continua crescendo.
- **No Brasil, a participação dos BEV nos licenciamentos de veículos leves alcançou 3,2% em 2025, enquanto a dos veículos eletrificados, considerados em conjunto, chegou a 8,8%.** Entretanto, a expansão dos BEV em um país de dimensões continentais requer uma infraestrutura de recarga mais ampla, o que representa uma das principais barreiras à adoção da tecnologia. Cabe destacar que países que avançaram na implantação dessa infraestrutura contaram com apoio governamental.
- A competitividade, a concorrência externa e os menores custos operacionais dos veículos eletrificados têm levado as montadoras a investir mais de R$ 120 bilhões na manufatura de automóveis no Brasil. Enquanto as empresas chinesas concentram sua atuação nos veículos BEV e PHEV, as montadoras estabelecidas no País têm investido mais em veículos híbridos (MHEV e HEV). **A participação dos veículos eletrificados nos licenciamentos deverá alcançar 36% em 2036, com os BEV respondendo por 9,5% do total.**
- **A eletrificação dos ônibus urbanos avança acompanhando políticas públicas e incentivos governamentais, e deverá representar 16,3% da frota total desses veículos em 2036.** Já a descarbonização dos caminhões ainda é incipiente, mas começa a avançar diante de pressões ambientais, regulatórias, sociais e econômicas.
- Projeta-se que a demanda por minerais para a fabricação de baterias aumente de 18 mil toneladas, em 2026, para 88 mil toneladas, em 2036. **O Brasil detém reservas expressivas de níquel, grafita e terras raras e pode se tornar referência na produção e processamento de minerais estratégicos.**
- O consumo de eletricidade do transporte rodoviário deverá crescer a uma taxa média de 27% ao ano, passando de 0,19% da demanda total de eletricidade do Brasil, em 2026, para 1,5% em 2036. **A demanda projetada para 2036 é de 14,8 TWh, volume equivalente à geração anual combinada das usinas nucleares de Angra.**

Principais mensagens

- **O comportamento dos consumidores em relação aos horários de recarga é um aspecto relevante para a operação e a expansão do sistema elétrico.** A concentração temporal e espacial das recargas, assim como a potência de carregamento, pode produzir efeitos significativos, especialmente sobre a infraestrutura de distribuição, mas também sobre as necessidades de expansão da transmissão e da geração.

- **As tarifas de energia podem induzir a recarga responsiva, transformando os veículos elétricos em recursos distribuídos de flexibilidade.** Dependendo das condições locais das redes de distribuição e transmissão e da adequada coordenação do carregamento com as necessidades do sistema, o deslocamento da recarga para períodos de maior disponibilidade de geração renovável e menor carregamento da rede pode favorecer o aproveitamento da capacidade ociosa, reduzir os picos de demanda e postergar investimentos.

- A experiência com a rápida expansão da micro e minigeração distribuída (MMGD) reforça **a importância de antecipar desafios regulatórios e aprimorar os sinais econômicos**. A preparação do setor elétrico para a crescente eletrificação dos transportes pode viabilizar um mercado mais sustentável, incentivando decisões eficientes e permitindo aproveitar o potencial dessa tecnologia em benefício dos consumidores e do próprio sistema elétrico. Além disso, pode favorecer a adequação da indústria local e a geração de empregos.

- Entre as iniciativas recentes para avançar nas questões apresentadas, destacam-se a Consulta Pública MME nº 237/2026, que busca levantar informações sobre os desafios e as oportunidades para a expansão da infraestrutura de recarga no País, e a Consulta Pública ANEEL nº 42/2025, voltada ao aprimoramento das regras de acesso e conexão dessa infraestrutura às redes de distribuição de energia elétrica.

- **A eletromobilidade oferece benefícios para a descarbonização do setor de transportes, o aumento da eficiência energética e a redução da poluição atmosférica e sonora.** Sua expansão, contudo, requer planejamento da infraestrutura elétrica, atenção à sustentabilidade e à circularidade do ciclo de vida das baterias e qualificação da mão de obra, de modo a assegurar uma transição justa e inclusiva.

PDE 2036 | Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2036
Caderno de Eletromobilidade

epe MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA GOVERNO DO BRASIL DO LADO DO POVO BRASILEIRO

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às diversas equipes do MME pela revisão do documento e pelas contribuições apresentadas, que foram importantes para seu aperfeiçoamento: Departamento de Eletromobilidade (DEMOB/SNTEP); Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral (DTTM/SNGM); Departamento de Combustíveis Derivados do Petróleo (DCDP/SNPGB); Departamento de Desempenho da Operação do Sistema Elétrico (DDOS/SNEE); Departamento de Biocombustíveis (DBIO/SNPGB); Departamento de Planejamento e Outorgas de Geração de Energia Elétrica (DPOG/SNTEP); Secretaria Executiva (SE); Departamento de Informações, Estudos e Eficiência Energética (DIEE/SNTEP).

Os ícones utilizados neste caderno foram obtidos em Flaticon.





PDE 2036

Clique aqui e acesse todos os estudos do PDE 2036

Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:

epe

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO