

Integração e Análise Estatística de Dados sobre Veículos Elétricos no Brasil

Marco Aurélio Costa da Silva; Eugênio Akihiro Nassu

Bacharelado em Estatística

RESUMO: O presente estudo analisou a evolução da frota de veículos elétricos e híbridos no Brasil até maio de 2025, considerando aspectos espaciais, tecnológicos e de fabricantes. Foram utilizados dados consolidados do Sistema Nacional de Trânsito (SENATRAN), disponibilizados na plataforma pública Fórum VE e integrados em um banco de dados relacional, permitindo análises detalhadas da frota por cidade, modelo, tecnologia e fabricante. A base final contabilizou 487.114 veículos elétricos e híbridos, distribuídos em 123 fabricantes e 560 modelos distintos. A análise tecnológica revelou predomínio equilibrado entre veículos elétricos puros (BEV) e híbridos plug-in (PHEV), com participação significativa de híbridos flex (HEV Flex) e convencionais (HEV), enquanto veículos leves híbridos (MHEV) e movidos a célula de combustível (FCEV) permanecem em proporções residuais. A distribuição espacial indicou concentração da frota nas regiões Sudeste e Sul, com destaque para São Paulo, Distrito Federal e Rio de Janeiro, refletindo fatores socioeconômicos, infraestrutura de recarga e políticas de incentivo. Estados do Norte e Nordeste apresentaram menor penetração, evidenciando a necessidade de políticas públicas para interiorização da eletromobilidade. A análise por fabricante mostrou a liderança da BYD, seguida por Toyota e GWM, representando mais da metade da frota nacional. Entre os modelos mais frequentes destacam-se o BYD Dolphin Mini GL EV, o BYD Song Plus Prem DM e o Volvo XC60 T8 Ultimate, evidenciando a coexistência de tecnologias puramente elétricas e híbridas. A evolução temporal da frota apresentou três fases: introdução lenta (1973-2001), crescimento moderado (2002-2017) e expansão acelerada a partir de 2018, com aumento exponencial nos registros mensais, atingindo 487.114 veículos até maio de 2025. O crescimento foi impulsionado por maior oferta de modelos, expansão da infraestrutura de recarga, políticas de incentivo e conscientização ambiental. Os resultados reforçam a tendência de transição gradual para eletrificação total da frota, mantendo coexistência de tecnologias híbridas intermediárias e veículos puramente elétricos. O estudo fornece subsídios para planejamento de políticas públicas, expansão de infraestrutura, estratégias de fabricantes e monitoramento de impactos ambientais, evidenciando a importância de integrar dados

regionais, avaliar desigualdades de acesso e acompanhar tecnologias emergentes. Em síntese, o Brasil apresenta cenário promissor para mobilidade elétrica, com crescimento acelerado, diversificação tecnológica e necessidade de políticas integradas para expansão sustentável da frota.

Palavras-chave: banco de dados; eletromobilidade; inteligência de mercado; sustentabilidade; veículos elétricos.

1 – Introdução

A mobilidade elétrica é uma das principais frentes da transição energética global, atuando como instrumento para reduzir emissões de gases de efeito estufa e promover o desenvolvimento sustentável urbano (CAMPAGNOLI, 2020; IEA, 2021). O Brasil, com matriz elétrica predominantemente renovável e parque automotivo consolidado, apresenta condições favoráveis para avançar nesse campo, apesar de desafios estruturais e regulatórios que ainda limitam a expansão dos veículos elétricos (WOLFFENBUTTEL, 2021; EPE, 2021).

A eletrificação do transporte está alinhada a políticas internacionais, como a Agenda 2030, e contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 7 (Energia Acessível e Limpa), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), refletindo a necessidade de políticas integradas que promovam energia limpa, inovação tecnológica, transporte sustentável e redução das emissões de gases de efeito estufa no setor automotivo (ONU, 2015; BRASIL, 2017; EPE, 2018; ANFAVEA, 2021).

Nesse cenário, bancos de dados digitais robustos são essenciais para monitorar e analisar a frota de veículos elétricos, fornecendo subsídios para políticas públicas baseadas em evidências e indicadores de sustentabilidade (IEA, 2020; ICCT, 2019). A integração de dados geográficos, tecnológicos e socioeconômicos em um banco SQL relacional permite compreender o comportamento do mercado brasileiro e suas correlações com políticas regionais de eletrificação (EPE, 2021b; CAMPAGNOLI, 2020b).

Dessa forma, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um banco de dados relacional em SQL para analisar a frota de veículos elétricos no Brasil, consolidando informações oficiais para apoiar análises estatísticas, políticas públicas e a modernização do setor automotivo.

2 - Objetivos

2.1 - Objetivo geral

Desenvolver e implementar um banco de dados relacional em SQL destinado à consolidação e análise de informações referentes aos veículos elétricos registrados no Brasil, permitindo integração, organização e exploração estatística dos dados, bem como visualizações dinâmicas e relatórios automatizados, contribuindo para a compreensão do panorama da mobilidade elétrica.

2.2 - Objetivos Específicos

- Coletar e padronizar dados sobre veículos elétricos registrados no país, provenientes do Sistema Nacional de Trânsito (SENATRAN), disponibilizados na plataforma pública Fórum VE;
- Estruturar o banco relacional com princípios de modelagem normalizada, garantindo consistência, integridade referencial e eficiência;
- Tratar e validar os dados, eliminando inconsistências e uniformizando variáveis;
- Implementar o banco em ambiente remoto, assegurando acesso seguro e consultas flexíveis;
- Desenvolver dashboards interativos com filtros, indicadores e gráficos sobre a frota;
- Elaborar relatórios descritivos e comparativos, evidenciando distribuição espacial e tecnológica;
- Documentar todas as etapas, garantindo transparência metodológica e reprodutibilidade.

3 - Justificativa e Delimitação do Problema de Pesquisa

A transição para a mobilidade elétrica é essencial para enfrentar mudanças climáticas e promover desenvolvimento sustentável no Brasil, alinhando-se às metas das NDCs (Contribuições Nacionalmente Determinadas) e aos ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Essa agenda orienta políticas públicas que reduzem a dependência de combustíveis fósseis e aumentam a eficiência energética no transporte, setor de grande emissão de carbono. Países latino-americanos como Chile, Colômbia e Costa Rica já implementaram estratégias nacionais de eletromobilidade, enquanto o Brasil avança gradualmente com programas como Rota 2030 e PNE 2050 (Plano Nacional de Energia 2050), reconhecendo a mobilidade elétrica como vetor de inovação tecnológica e sustentabilidade econômica. Assim, a pesquisa justifica-se pela necessidade de organizar e analisar dados sobre veículos elétricos e baterias, subsidiando políticas públicas, planejamento de infraestrutura e decisões estratégicas, fortalecendo a integração entre ciência de dados, estatística e sustentabilidade.

4 - Fundamentação Teórica

A mobilidade elétrica é um fenômeno global que articula tecnologia, meio ambiente e políticas públicas. A adoção de veículos elétricos intensificou-se para reduzir emissões de CO₂ e promover transporte sustentável (IEA, 2021; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2021a). Países da América Latina, como Chile, Colômbia e México, implementam metas de eletrificação total até 2035, combinando políticas fiscais, tecnológicas e urbanas (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2021b; PLATAFORMA DE ELECTROMOVILIDAD, 2021).

No Brasil, a transição é amparada por programas como Rota 2030, Plano Nacional de Mobilidade Urbana e Política Nacional de Resíduos Sólidos, que incentivam eficiência energética, inovação e descarte sustentável de baterias (BRASIL, 2012; 2018; CAMPAGNOLI, 2020b). Iniciativas setoriais, como a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), articulam atores públicos e privados.

A eletromobilidade envolve múltiplos setores: automotivo, energético, urbano e tecnológico (EPE, 2018; WOLFFENBUTTEL, 2021). Bancos de dados consistentes permitem monitorar frota, distribuição geográfica e estações de recarga, favorecendo análises comparativas e previsões de demanda energética (EPE, 2021a; FIPE, 2021).

Políticas públicas são centrais para a expansão da mobilidade elétrica. Experiências internacionais mostram que integração de regulação, incentivos econômicos e infraestrutura é determinante (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2021a, 2021b). Tecnicamente, a evolução das baterias de íons de lítio consolidou-se como padrão global, mas gestão de ciclo de vida, reaproveitamento e reciclagem permanecem desafios (LIU, 2021; TANG et al., 2023; YU et al., 2023; IEA, 2020).

Bancos de dados relacionais permitem armazenar informações integradas sobre modelos, fabricantes, tecnologias e localidades (DIJK et al., 2013), favorecendo análise estatística e preditiva, políticas públicas mais precisas e decisões empresariais eficientes (EPE, 2021c; ICCT, 2019). Assim, um banco SQL dedicado à mobilidade elétrica apoia formulação de políticas, pesquisas acadêmicas e decisões estratégicas.

5 – Metodologia

5.1 – Coleta de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos na plataforma pública Fórum VE, que disponibiliza mensalmente informações sobre a frota nacional de veículos elétricos e híbridos no Brasil. A base é amplamente utilizada por pesquisadores e formuladores de políticas e abrange diversas categorias de veículos e tipos de propulsão elétrica e híbrida.

Embora a atualização mensal não diferencie diretamente novos registros de baixas, a consistência dos totais globais garante confiabilidade geral. A classificação dos veículos quanto à tecnologia de tração foi realizada manualmente pelo Fórum VE. Dados complementares sobre combustíveis foram obtidos da Secretaria Nacional de Trânsito, sem detalhamento por modelo, mas consistentes com os totais da base principal.

Veículos registrados como Elétrico/Fonte Interna ou Elétrico/Fonte Externa foram considerados, adotando-se como referência o ano de fabricação, e veículos sem registro posterior a 2016 foram classificados como fora de linha. Para assegurar comparabilidade temporal e estabilidade dos indicadores, a coleta foi delimitada até maio de 2025, correspondente ao último período disponível até a etapa de coleta proposta nesta pesquisa.

5.2 – Estruturação do Banco de Dados

O banco de dados relacional foi modelado com base em princípios de normalização e integridade referencial, com o objetivo de evitar redundâncias, garantir consistência e permitir análises integradas da frota elétrica e híbrida. A estrutura lógica do banco contempla entidades como modelo, fabricante, tecnologia, classificação de veículo, cidade, estado e região, organizadas em tabelas independentes interconectadas por chaves estrangeiras.

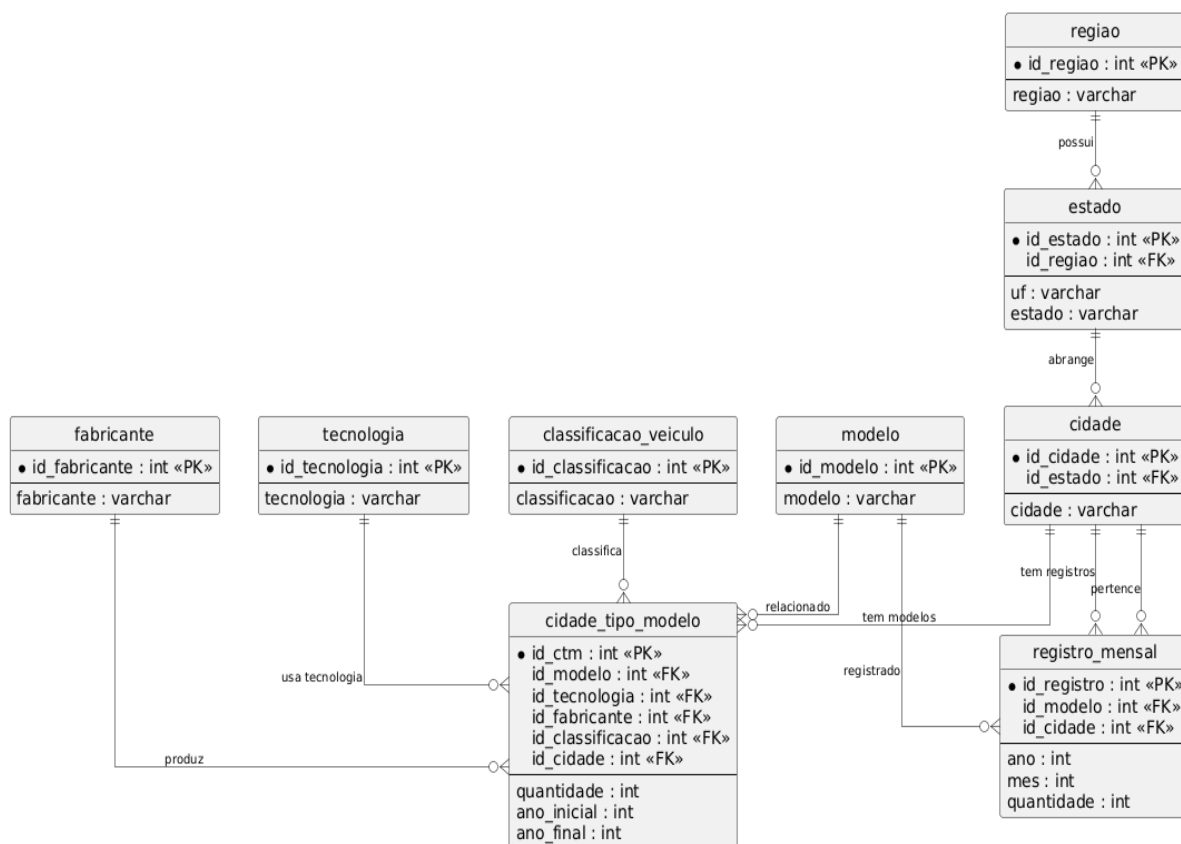


Figura 1. Diagrama Entidade Relacioanamento do Banco

A tabela região representa o nível mais agregado da hierarquia geográfica, armazenando nomes das regiões brasileiras e servindo de referência para a tabela estado, que inclui sigla, nome completo e identificador da região correspondente. A tabela cidade está vinculada à tabela estado por meio de chave estrangeira, assegurando coerência geográfica e alinhamento com o modelo federativo nacional.

As tabelas modelo, fabricante, tecnologia e classificação de veículo armazenam atributos técnicos e comerciais dos veículos. Cada entidade possui identificador único referenciado na tabela cidade_tipo_modelo, núcleo central do banco, responsável por integrar aspectos geográficos, tecnológicos e produtivos. Esta tabela armazena quantidade de veículos de determinado modelo em cidades específicas, associando também intervalo temporal de fabricação.

A tabela registro_mensal representa a dimensão temporal do banco, armazenando registros mensais por cidade e modelo, permitindo acompanhamento de tendências e identificação de padrões de crescimento ou retração da frota.

A escolha por estrutura relacional normalizada até a terceira forma normal evita duplicidades, permite flexibilidade analítica e possibilita integração futura com bases públicas complementares. O modelo assegura rastreabilidade das informações e consultas complexas com desempenho otimizado. A compatibilidade com sistemas SQL facilita extração, transformação e visualização de dados em plataformas analíticas, garantindo reprodutibilidade e transparência.

5.3 – Tratamento de Dados

O tratamento e limpeza dos dados foi etapa fundamental para assegurar integridade, consistência e confiabilidade. As planilhas mensais do Fórum VE foram inicialmente baixadas em formato xlsx e organizadas em diretórios no Google Drive. Para processamento automatizado, cada arquivo foi compartilhado via link direto, integrando-se ao ambiente Google Colab, onde rotinas de limpeza e transformação foram implementadas em Python.

As bibliotecas Pandas e Numpy foram utilizadas para leitura, manipulação, padronização, conversão de tipos, remoção de duplicidades e tratamento de valores ausentes, garantindo coerência estatística. Expressões regulares foram aplicadas para normalização de nomenclaturas, enquanto Geopandas e Pyproj asseguraram consistência geográfica e conformidade com divisões territoriais oficiais. Openpyxl permitiu leitura e escrita seletiva de planilhas, e bibliotecas como SQLAlchemy e Mysql.connector automatizaram inserção de dados no banco SQL, garantindo rastreabilidade e reprodutibilidade.

Foram implementadas rotinas em Python para detecção de variações entre meses consecutivos, assegurando que apenas dados consolidados até maio de 2025 fossem utilizados. Todas as variáveis foram validadas estatisticamente quanto à consistência interna, garantindo correspondência com totais oficiais e preservando integridade referencial e precisão para análises subsequentes.

5.4 – Análise de Dados

Após validação e limpeza, o banco de dados foi implementado no MySQL versão 8.0. Inicialmente hospedado localmente, o banco foi posteriormente migrado para a plataforma Aiven MySQL, garantindo escalabilidade, redundância, segurança e integração contínua com aplicações analíticas. A conexão segura com protocolo TLS/SSL assegura integridade das informações.

Um repositório público no GitHub foi criado para armazenar scripts Python de conexão e processamento, arquivos de dependências e código do aplicativo Streamlit. Esta organização permitiu versionamento, rastreabilidade e publicação de dashboards interativos via Streamlit Cloud, garantindo acesso remoto, visualização dinâmica e manipulação de filtros, gráficos, relatórios e indicadores a partir do banco SQL em nuvem. A arquitetura integra coleta, tratamento, armazenamento e visualização, permitindo atualização contínua, expansão de indicadores e incorporação de novas fontes de dados, consolidando infraestrutura reprodutível, segura e escalável para pesquisa em mobilidade elétrica.

5.5 – Visualização de Dados

A visualização de dados constitui etapa central do projeto, permitindo exploração interativa e análise detalhada da frota de veículos elétricos no Brasil. O sistema foi desenvolvido para apresentar dados de forma organizada, clara e acessível, garantindo consistência visual, responsividade e facilidade de navegação. Todas as páginas priorizam legibilidade, hierarquia de informações e uniformidade estética, permitindo interpretação rápida e fundamentada dos dados.

5.5.1 – Página Home

A página Home funciona como ponto de entrada, oferecendo visão geral do projeto, objetivos de pesquisa e alinhamento com políticas públicas. Seções dedicadas explicam finalidade do projeto, consolidação de dados e suporte a políticas de mobilidade elétrica. Informações sobre módulos do sistema detalham funcionalidades de dashboards, analytics e relatórios. A página apresenta tecnologias de veículos elétricos, incluindo categorias como BEV, HEV, PHEV, híbridos flex e com célula a combustível. A equipe de pesquisadores e orientadores é apresentada de forma estruturada, com nome, função, formação acadêmica e contatos institucionais. A interface foi construída em Streamlit com CSS customizado, garantindo padronização visual, responsividade e clareza na comunicação das informações.

5.5.2 – Página Analytics

A página Analytics possibilita análise detalhada e comparativa da frota, permitindo aplicação de filtros por regiões, estados, cidades, classificações, tecnologias e períodos. A interface interativa em Streamlit permite seleção múltipla de filtros e atualização dinâmica de resultados. Consultas SQL parametrizadas acessam o banco MySQL remoto, e resultados são processados com Pandas para agregação e cálculo de indicadores como total de veículos, número de modelos e tecnologia predominante. Indicadores são exibidos em cards padronizados, e gráficos interativos gerados com Plotly Express representam distribuição por cidade e modelo, além de proporção por tecnologia e classificação. Botões de pesquisa e limpeza de filtros oferecem feedback visual imediato e coerência estética com a página Home.

5.5.3 – Página Dashboard

A página Dashboard transforma dados estruturados em visualizações gráficas interativas para análise espacial e temporal da frota. Desenvolvida em Streamlit, integra multiselect, sliders e botões, além de cache de dados e renderização dinâmica. Consultas SQL parametrizadas realizam agregações diretamente no servidor, minimizando volume de dados transferidos. Arquivos GeoJSON locais são utilizados para construção de mapas choropleth interativos, representando densidade da frota com cores graduadas. Tooltips detalhados fornecem informações sobre quantidade de veículos, tecnologias e classificações. Indicadores de performance como total de veículos são exibidos acima do mapa. Paleta de cores coerente com temática de sustentabilidade garante legibilidade e uniformidade.

5.5.4 – Página Relatórios

A página Relatórios disponibiliza dados consolidados de forma organizada, permitindo consultas filtradas e exportação em múltiplos formatos. Implementada em Streamlit, apresenta filtros, indicadores e tabelas simultaneamente, garantindo clareza visual e consistência. Consultas SQL parametrizadas acessam informações sobre veículos, cidades, estados, regiões, tecnologias e classificações. Filtros permitem seleção múltipla e resultados são exibidos com atualização automática de indicadores como total de veículos e quantidade de modelos. Tabela de resultados possibilita inspeção detalhada, e botões de exportação permitem download em CSV, Excel, Word e PDF, preservando integridade das informações. A página oferece suporte à exploração interativa e produção de relatórios confiáveis para tomada de decisão em mobilidade elétrica.

6 - Resultados e Discussão

6.1 - Visualização em Dashboards

O projeto "Mobilidade Elétrica no Brasil" resultou no desenvolvimento de um sistema interativo de visualização de dados, estruturado em quatro páginas principais que atendem às necessidades de análise e suporte a políticas públicas. A página Home (<https://veiculos-home.streamlit.app/>) serve como ponto de entrada, oferecendo uma visão geral do projeto, com seções que detalham seus objetivos, a consolidação de dados de veículos elétricos e o

alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e políticas nacionais como Rota 2030, PNME e PNE 2050. A interface, construída em Streamlit com CSS customizado, apresenta informações claras e responsivas, incluindo descrições das sessões do sistema, categorias de veículos elétricos (BEV, PHEV, HEV, FCEV, entre outros) e a equipe responsável, com contatos institucionais acessíveis.

A página Analytics (<https://veiculos-analytics.streamlit.app/>) permite uma análise detalhada e comparativa da frota, utilizando uma barra lateral com filtros interativos por região, estado, cidade, classificação e tecnologia. Após a seleção de filtros e o clique no botão "Pesquisar", os usuários visualizam indicadores como total de veículos e número de modelos em cards padronizados, além de gráficos interativos gerados com Plotly Express, que mostram a distribuição por cidade, modelo, tecnologia e classificação. A funcionalidade de "Limpar Filtros" garante flexibilidade na exploração dos dados.

A página Dashboard (<https://veiculos-dashboard.streamlit.app/>) transforma os dados em visualizações espaciais e temporais através de um mapa choropleth interativo do Brasil, onde a densidade da frota é representada por cores graduadas (ex.: Minas Gerais destaca-se com alta concentração). Filtros geográficos e técnicos, combinados com botões "Pesquisar" e "Limpar", possibilitam ajustes dinâmicos, enquanto tooltips fornecem detalhes como quantidade de veículos por estado. Indicadores de performance, como o total de 487114 veículos encontrados, são exibidos acima do mapa, reforçando a análise espacial.

Por fim, a página Relatórios (<https://veiculos-relatorios.streamlit.app/>) oferece dados consolidados com filtros por região, estado, cidade, ano, tecnologia e classificação, exibidos em tabelas detalhadas após a ação de "Pesquisar". Indicadores como total de veículos e quantidade de modelos são atualizados automaticamente, e botões de exportação permitem download em formatos como CSV, Excel, Word e PDF, assegurando suporte à tomada de decisão. A consistência visual e a facilidade de navegação, presentes em todas as páginas, foram alcançadas com a padronização estética e a hierarquia de informações, conforme planejado na metodologia.

O código-fonte completo do projeto está disponibilizado publicamente no repositório <https://github.com/MarcoCostaSilva/banco-veiculos-eletricos>, permitindo transparência, acesso à comunidade e potencial colaboração acadêmica.

6.2 - Panorama Geral dos Dados

A base consolidada utilizada nesta pesquisa resultou de um processo sistemático de integração, limpeza e normalização dos dados provenientes do Sistema Nacional de Trânsito (SENATRAN). Após o tratamento e o carregamento das tabelas no banco relacional, foram identificados 2.102.498 registros válidos na tabela registro_mensal, correspondendo aos lançamentos mensais de veículos elétricos e híbridos registrados em diferentes cidades e modelos até maio de 2025. Entretanto, a contagem total de veículos apresentada por essa tabela representa uma somatória de eventos mensais, e não o estoque consolidado de unidades em circulação. Para evitar duplicidades, a quantificação total da frota foi obtida a partir da tabela cidade_tipo_modelo, que agrega as quantidades por cidade, modelo, tecnologia e fabricante. O valor consolidado encontrado foi de 487.114 veículos elétricos e híbridos registrados em território nacional até maio de 2025.

A estrutura do banco de dados evidencia um ecossistema automotivo diversificado, composto por 123 fabricantes e 560 modelos distintos. Essa variedade reflete a crescente inserção de diferentes marcas no mercado brasileiro, abrangendo tanto montadoras tradicionais que incorporaram versões eletrificadas a seus portfólios quanto novas fabricantes especializadas em tecnologias sustentáveis.

A análise da distribuição tecnológica demonstra a predominância de quatro categorias principais. Os veículos elétricos puros (BEV) representam 28,40% da frota; os híbridos plug-in (PHEV) correspondem a 28,71%; os híbridos flex (HEV Flex) a 25,14%; e os híbridos convencionais (HEV) a 12,53%. Em menor proporção, os veículos híbridos leves (MHEV) totalizam 5,21%, e os movidos a célula de combustível (FCEV) permanecem praticamente residuais, com menos de 0,01% da amostra.

Esses resultados indicam que o mercado brasileiro apresenta uma distribuição equilibrada entre tecnologias puramente elétricas e híbridas, revelando um processo de

transição gradual para a eletrificação total da frota. A forte presença das categorias híbridas flex e plug-in sugere a influência de fatores estruturais, como a disponibilidade de infraestrutura de recarga e os incentivos tributários regionais, que ainda favorecem soluções intermediárias entre o motor a combustão e o sistema elétrico integral. O panorama geral evidencia, portanto, a consolidação de um banco de dados robusto, capaz de representar de forma consistente o cenário nacional de mobilidade elétrica. A diversidade tecnológica e a ampla cobertura geográfica conferem validade às análises subsequentes sobre distribuição espacial, evolução temporal e participação de fabricantes, que serão detalhadas nas próximas seções.

6.3 - Distribuição Espacial da Frota

A análise espacial da frota de veículos elétricos e híbridos no Brasil revela uma concentração expressiva nos estados das regiões Sudeste e Sul, confirmando a predominância histórica dessas áreas em termos de infraestrutura urbana, poder aquisitivo e políticas de incentivo à mobilidade sustentável. Os dados consolidados por unidade federativa demonstram que o estado de São Paulo apresenta a maior frota registrada, totalizando 150.572 unidades. Em seguida, destacam-se o Distrito Federal, com 35.501 veículos, e o Rio de Janeiro, com 33.507 registros.

No contexto regional, observa-se que os estados de Santa Catarina, Minas Gerais e Paraná também apresentam valores significativos, compondo um núcleo concentrado de alta adoção tecnológica no eixo Sul-Sudeste. Essa concentração pode ser atribuída a fatores estruturais como densidade populacional, renda média per capita, disponibilidade de infraestrutura de recarga e presença de concessionárias especializadas.

Os estados do Rio Grande do Sul, Bahia e Pernambuco ocupam posições intermediárias, indicando expansão gradual da mobilidade elétrica em regiões fora do eixo principal, mas ainda marcadas por desigualdades regionais no acesso à tecnologia. Estados do Centro-Oeste, como Goiás e Mato Grosso, evidenciam uma inserção crescente, especialmente nas capitais e polos urbanos.

No Norte e Nordeste, embora os valores absolutos sejam menores, verifica-se um processo de disseminação gradual. Estados como Pará, Amazonas e Maranhão apresentam registros relevantes em comparação a unidades federativas de menor porte, como Acre, Amapá e Roraima. Tais diferenças refletem tanto aspectos geográficos e logísticos quanto políticas locais de incentivo, custo energético e disponibilidade de rede de concessionárias.

Em termos gerais, a distribuição espacial confirma a tendência de concentração da frota elétrica nas regiões de maior desenvolvimento socioeconômico e melhor infraestrutura urbana, o que sugere a necessidade de políticas públicas voltadas à interiorização e regionalização da eletromobidade. A consolidação desses dados por estado permite compreender os eixos geográficos prioritários para expansão da infraestrutura de recarga e para formulação de incentivos fiscais e regulatórios específicos.

6.4 - Análise por Tecnologia de Propulsão

A análise da frota de veículos elétricos e híbridos por tipo de tecnologia evidencia um mercado diversificado, com predomínio das categorias híbridas plug-in e elétricos puros. Os dados consolidados até maio de 2025 apresentam a seguinte distribuição: 139.859 veículos PHEV (28,71%), 138.355 BEV (28,40%), 122.437 HEV Flex (25,14%), 61.016 HEV convencionais (12,53%), 24.427 MHEV 48V (5,01%), 848 MHEV 12V (0,17%), 169 MHEV (0,03%) e 3 FCEV (menos de 0,01%).

Esses valores indicam que mais de 82% da frota nacional está concentrada nas quatro tecnologias principais, refletindo uma transição tecnológica gradual, na qual soluções híbridas intermediárias coexistem com veículos puramente elétricos. A evolução temporal por tecnologia demonstra um crescimento acelerado de BEVs e PHEVs nos últimos anos, especialmente a partir de 2018. Veículos BEV apresentaram aumentos significativos entre 2019 e 2023, alcançando 77.728 unidades registradas em 2023. Da mesma forma, PHEVs cresceram de forma expressiva a partir de 2016, atingindo 41.662 unidades em 2024. As categorias HEV Flex e HEV apresentaram padrões distintos. HEV Flex registrou grandes picos em 2019 e 2021, refletindo políticas de incentivo e expansão gradual da frota, enquanto

HEVs convencionais mostraram crescimento mais consistente, porém menos acelerado, ao longo do período. Os veículos MHEV e FCEV permanecem em proporções muito reduzidas, indicando penetração ainda incipiente dessas tecnologias no mercado brasileiro.

Os dados históricos permitem inferir tendências de adoção tecnológica, nas quais o crescimento exponencial de BEVs e PHEVs está associado a fatores como maior oferta de modelos, expansão da infraestrutura de recarga elétrica, incentivos fiscais e conscientização ambiental. Por outro lado, a presença contínua de HEVs Flex e HEVs convencionais indica que soluções híbridas intermediárias ainda desempenham papel relevante na transição energética nacional.

A análise integrada sugere que o mercado brasileiro encontra-se em fase de transição gradual para eletrificação total, com forte influência de políticas regionais, capacidade de produção e disponibilidade de infraestrutura de recarga. A diversidade tecnológica da frota permite acompanhar o desenvolvimento sustentável do setor automotivo e fornece base sólida para estudos comparativos de eficiência energética, emissões e estratégias de expansão da mobilidade elétrica.

6.5 - Análise por Fabricante e Modelo

A análise por fabricante evidencia a predominância de empresas consolidadas no mercado brasileiro de veículos eletrificados, com destaque para a BYD, que lidera a frota nacional com 172.324 unidades, correspondendo a 33,6% do total de veículos registrados. Em seguida, destacam-se a Toyota com 77.316 veículos (15,1%) e a GWM com 67.282 unidades (13,1%). A concentração de mercado nos três principais fabricantes representa mais da metade da frota elétrica e híbrida nacional, refletindo a forte presença de marcas estratégicas em segmentos de alta penetração tecnológica.

A análise por modelo revela que os veículos mais frequentes combinam popularidade e tecnologia. Entre os elétricos puros, o BYD Dolphin Mini GL EV totaliza 33.046 unidades, enquanto entre os híbridos plug-in destacam-se o BYD Song Plus Prem DM com 30.545

unidades e o Volvo XC60 T8 Ultimate com 16.598. Os híbridos flex da Toyota, como o Corolla A Premium H e o CCROSS XRX Hybrid, apresentam volumes expressivos, com 46.088 e 56.437 unidades, respectivamente. Essa diversidade indica a coexistência de tecnologias puramente elétricas e híbridas no mercado brasileiro, atendendo a diferentes perfis de consumidores e incentivos regionais.

A distribuição por grupo de veículos reforça a dominância de SUVs e modelos compactos, com o Haval H6, o Corolla e o Dolphin liderando em vendas. Essa tendência aponta para a preferência do consumidor brasileiro por veículos eletrificados com maior espaço interno e autonomia, aliados a tecnologias híbridas ou elétricas integradas. A análise por fabricante e modelo confirma a liderança da BYD no mercado nacional, a relevância de marcas tradicionais como Toyota e GWM na consolidação da frota híbrida, e a diversificação tecnológica entre BEV, PHEV e HEV Flex, indicando uma fase de transição e coexistência tecnológica.

6.6 - Evolução Temporal da Frota de Veículos

A análise da evolução da frota ao longo dos anos revela uma trajetória de crescimento gradual até meados da década de 2010, seguida de aceleração significativa nos anos mais recentes. Nos anos iniciais de registro, entre 1973 e 2000, a quantidade de veículos era extremamente baixa, variando de apenas dois veículos em 1973 e 1976 até 71 veículos em 2000, refletindo o início da introdução de veículos elétricos no país e a baixa penetração do mercado. A partir de 2002, observa-se um aumento progressivo, com registros anuais chegando a 1.267 veículos em 2003 e mantendo crescimento moderado até 2015, quando a frota anual atingiu 7.186 veículos. Este aumento reflete a consolidação de tecnologias e a expansão gradual de infraestrutura e políticas favoráveis ao segmento.

Entre 2016 e 2018, a frota começa a mostrar um crescimento mais acelerado, com destaque para 2018, que registrou 25.580 veículos, e 2019, com 82.313 veículos. Essa aceleração reflete uma combinação de maior oferta de modelos, políticas de incentivo e maior conscientização do mercado sobre alternativas sustentáveis. Nos últimos anos, a evolução se

torna ainda mais intensa. Entre 2021 e 2024, o total de veículos registrados passa de 180.120 em 2021 para 402.872 em 2024, evidenciando a consolidação do segmento no país. Para 2025, os dados já apontam para 487.114 veículos registrados até maio, indicando que o crescimento da frota continuará em ritmo acelerado.

A análise mensal permite observar padrões sazonais e concentração de registros em determinados períodos do ano. Nos primeiros anos, como 2013 a 2017, os registros mensais eram pontuais e concentrados em meses específicos, geralmente em dezembro, refletindo o início da adoção da frota elétrica. A partir de 2018, a evolução mensal apresenta registros contínuos ao longo do ano, com pequenas variações entre meses, mostrando que a frota passou a ser registrada de forma mais constante. O ano de 2019 marca o início de uma aceleração mais intensa, com registros mensais superando 11 mil veículos em dezembro. Nos anos seguintes, entre 2020 e 2024, o padrão se consolida, com crescimento consistente a cada mês. Em 2023, por exemplo, a frota mensal passa de 105.148 veículos em janeiro para 205.232 em dezembro. Em 2024, esse aumento é ainda mais expressivo, chegando a 451.474 veículos em dezembro. Para 2025, apenas os primeiros cinco meses já contabilizam 487.114 veículos, reforçando o caráter exponencial da expansão da frota.

Em síntese, a evolução temporal da frota de veículos no Brasil apresenta três fases principais. A primeira corresponde ao período de penetração inicial entre 1973 e 2001, marcada por poucos registros e pela introdução das tecnologias elétricas. A segunda abrange o período de crescimento moderado entre 2002 e 2017, com aceleração a partir de 2015 impulsionada por maior disponibilidade de modelos e políticas favoráveis. A terceira fase, de expansão acelerada, ocorre entre 2018 e maio de 2025, quando a frota passa de dezenas de milhares para quase meio milhão de veículos registrados, indicando consolidação do mercado e aumento da demanda por mobilidade elétrica. O comportamento mensal reforça a tendência de consolidação e maturidade do segmento, com registros cada vez mais constantes ao longo do ano e destaque para 2025 como o período de maior crescimento até o momento.

7 - Conclusões e Perspectivas Futuras

O estudo permitiu compreender a evolução da frota de veículos elétricos e híbridos no Brasil até maio de 2025, incluindo distribuição espacial, tecnológica e de fabricantes. A metodologia baseada em dados do Fórum VE e modelagem relacional mostrou-se adequada para análises confiáveis e reproduzíveis, com dashboards permitindo exploração das tendências temporais, regionais e tecnológicas.

Os resultados indicam crescimento acelerado da frota a partir de 2018, concentrado nas regiões Sudeste e Sul, enquanto Norte e Nordeste apresentam menor penetração, evidenciando a necessidade de políticas públicas para ampliar infraestrutura e acesso à mobilidade sustentável. Híbridos plug-in e elétricos puros apresentam crescimento exponencial, enquanto tecnologias emergentes como veículos leves híbridos e a célula de combustível ainda têm presença residual. Fabricantes como BYD, Toyota e GWM consolidam estratégias de mercado diversificadas.

A evolução da frota mostra três fases: introdução lenta (1973-2001), crescimento moderado (2002-2017) e expansão acelerada (a partir de 2018), com tendência de crescimento sustentado nos próximos anos, impulsionada por oferta de modelos, incentivos governamentais e conscientização ambiental.

Os achados têm implicações para políticas públicas, planejamento de infraestrutura, estratégias de fabricantes e monitoramento de impactos ambientais. Recomenda-se integrar bases complementares, avaliar impactos econômicos e sociais e acompanhar desigualdades regionais e tecnologias emergentes, promovendo inclusão e interiorização da eletromobilidade.

Em síntese, o Brasil apresenta cenário promissor para veículos elétricos e híbridos, com crescimento acelerado e diversificação tecnológica, mas a expansão sustentável depende de investimentos em infraestrutura, inovação tecnológica e políticas públicas integradas.

Referências

ANFAVEA. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2021*. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2021.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

BRASIL. *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2012.

BRASIL. *Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018*. Institui o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística. Brasília: Presidência da República, 2018.

CAMPAGNOLI, F. *Regulatory improvements with the promotion of innovation for the integration of electric vehicles in Brazil*. Florence School of Regulation – Robert Schuman Centre for Advanced Studies, 2020. Acesso em: 19 maio 2025.

CAMPAGNOLI, F. *A rede de inovação no setor elétrico como catalisador para impulsionar o ecossistema de inovação no setor elétrico brasileiro*. In: CASTRO, N. J. et al. (org.). *Programa de P&D ANEEL: avaliação e perspectivas*. Rio de Janeiro: GESEL/UFRJ, 2020b. p. 377–402. Acesso em: 20 maio 2025.

DIJK, M.; ORSATO, R.; KEMP, R. The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, v. 52, p. 135–145, 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. Brasília: EPE, 2021. Acesso em: 23 maio 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Perspectivas de Mobilidade e Energia no Brasil*. Brasília: EPE, 2018. Acesso em: 25 maio 2025.

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. *Relatório de Mobilidade Elétrica no Brasil 2021*. São Paulo: FIPE, 2021. Acesso em: 27 maio 2025.

ICCT – International Council on Clean Transportation. *Charging infrastructure requirements to support electric vehicles in 2030*. Washington, DC, 2019. Acesso em: 31 maio 2025.

IEA – *Energy Technology Perspectives 2020*. Paris: International Energy Agency, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em: 02 jun. 2025.

IEA – *Global EV Outlook 2021*. Paris: International Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. Acesso em: 05 jun. 2025.

LIU, J. *Lithium-ion batteries and the future of electric mobility*. *Journal of Energy Storage*, v. 42, p. 103004, 2021. Acesso em: 10 jun. 2025.

MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE; MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES; MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Santiago de Chile, 2017. Disponível em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015.

TANG, Y. et al. Advances in lithium-ion battery technology for electric vehicles. *Energy Reports*, v. 9, p. 205–220, 2023. Acesso em: 28 jul. 2025.

UDOP – União Nacional da Bioenergia. *Panorama do setor de biocombustíveis e eletrificação no Brasil*. São Paulo: UDOP, 2021. Acesso em: 1 set. 2025.

WOLFFENBUTTEL, R. F. *A eletromobilidade e a transição energética brasileira*. Brasília: CNI, 2021. Acesso em: 17 ago. 2025.

YU, J. et al. Circular economy strategies for spent lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, v. 390, p. 136180, 2023. Acesso em: 22 ago. 2025.