



O DESENVOLVIMENTO DAS TECNOLOGIAS QUE MUDARAM O CENÁRIO DA MOBILIDADE ELETRIFICADA

Pavle Duarte Júnior

**Santo André
2026**

Discente
Pavle Duarte Júnior

Orientador
Nicolino Foschini Neto

**O DESENVOLVIMENTO DAS TECNOLOGIAS QUE MUDARAM O
CENÁRIO DA MOBILIDADE ELETRIFICADA**

Trabalho de conclusão de curso de
Tecnologia em Mecatrônica Industrial,
da Faculdade de Tecnologia de Santo
André, orientado pelo Prof. MSc
Nicolino Foschini Neto como requisito
parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Mecatrônica Industrial

Santo André
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

D812d Duarte Júnior, Pavle.

O desenvolvimento das tecnologias que mudaram o cenário da mobilidade eletrificada / Pavle Duarte Júnior ; orientador Prof. Me. Nicolino Foschini Neto. -- Santo André, 2026.

159 f. : il. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Mecatrônica Industrial) -- Faculdade de Tecnologia de Santo André, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Santo André, 2026.

1. Veículos elétricos. 2. Mobilidade eletrificada. 3. Rede CAN. 4. Mecatrônica automotiva. 5. Eletrônica embarcada. 6. iBSG. I. Foschini Neto, Nicolino, orient. II. Faculdade de Tecnologia de Santo André. III. Título.

CDD 629.2293

Catálogo na fonte: Nicolino Foschini Neto -- CRB-8/10294

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 15 de junho de 2026.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“**BANCADA VEÍCULO HÍBRIDO**” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:
PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO



MEMBROS:

NOME: LUÍZ VASCO PUGLIA



NOME: PEDRO DONATO GOLDNI

ALUNOS:

PAVLE DUARTE JUNIOR



Dedico esse trabalho, com muita admiração, respeito e carinho, ao coordenador do meu curso, meu professor, meu orientador, colega de trabalho, conselheiro e – acima de tudo – meu amigo, Nicolino Foschini, que acreditou em mim e nesta pesquisa desde o início, excedendo as expectativas de dedicação ao projeto, fazendo-o ser realidade. Muito obrigado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha companheira e amada, **Karen Santos**, que sempre acreditou em mim e que esteve ao meu lado – mesmo distante – em todos os fins de semana que não nos vimos, em que me dediquei aos estudos e a esse projeto.

Agradeço também, com muito carinho e amor, a minha mãe, **Maria Vieira**, que mesmo sem entender minhas atividades e estudos quando eu os explicava, brilhava os olhos com orgulho – reconhecendo todo meu empenho e dedicação todos os dias

Agradeço a FATEC de Santo André e todos os professores que tive, em especial:

Prof. Wesley M. Torres, por todos os conhecimentos referente a rede CAN e ferramentas automotivas utilizadas neste projeto

Prof. Fábio Delatore, pelas orientações de práticas de laboratório e oficina e todos os conhecimentos referente a veículos elétricos e rede CAN aplicados.

Prof. Marco A. Fróes, por todo o apoio fornecido para realização deste projeto, inclusive orientações e fornecimento de materiais

Prof. Fernando Garup Dalbo, que confiou em mim desde a primeira vez em que adentrei sua sala.

Também agradeço imensamente a todos os colegas “fatecanos” que contribuíram para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento prático.

Deixo um agradecimento especial aos:

Jhony Silva, integrante do time Caoa Chery, pela disponibilização de espaços, recursos e conhecimentos, tornando possíveis os testes realizados.

Leandro Maciel Lima, integrante do time T-Systems, por todos os ensinamentos de comunicação automotiva e simulação, pelo empenho em tornar real essa pesquisa.

Felipe Calegari de Carvalho e **Gustavo Betistela**, Engenheiros de Pesquisa e Desenvolvimento da *Valeo Electrical Systems*, pelo fornecimento de tecnologias, conhecimentos e por todo o apoio a este projeto.

Gian Gagliardo, integrante do Instituto Mauá de Tecnologia, pelos ensinamentos em software e por me nortear no protótipo de meu trabalho.

E não menos importante, ao meu “*careca favorito*”, **Kelvin Farias**, proprietário do canal Auto Telling e Auto Telling News, que alimentou minha paixão por veículos a combustão interna, mas que me mostrou como veículos elétricos podem ser divertidos – de forma racional e irracional.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz”.

Ayrton Senna

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da evolução histórica e tecnológica dos veículos eletrificados, abordando desde os primeiros veículos elétricos do século XIX até os sistemas eletrificados contemporâneos de elevada integração eletrônica. Inicialmente, são discutidos os fundamentos da eletricidade aplicada à mobilidade, motores elétricos, baterias e sistemas híbridos, contextualizando o crescimento da eletrificação automotiva perante às demandas ambientais, energéticas e tecnológicas observadas principalmente a partir das décadas de 1990 e 2000. O estudo também analisa a evolução dos sistemas embarcados e da rede CAN (*Controller Area Network*), destacando seu papel fundamental na integração entre unidades eletrônicas de controle, gerenciamento de energia, controle de motores, sistemas híbridos e arquiteturas modernas de veículos eletrificados.

Ao longo do desenvolvimento teórico, são apresentados exemplos históricos e contemporâneos de veículos eletrificados, como o Triciclo Elétrico de Ayrton e Perry, o Electrobat, Bersey Electric Cab, o GM EV1, Toyota Prius, Tesla Model S e YANGWANG U9 Xtreme, relacionando-os à evolução da eletrônica embarcada, da mecatrônica automotiva, das baterias automotivas, dos sistemas de gerenciamento térmico, das arquiteturas de comunicação digital e das estratégias modernas de controle veicular. Também são discutidas políticas ambientais e industriais ligadas à mobilidade eletrificada, incluindo programas de incentivo nacionais e internacionais. Como aplicação prática dos conceitos apresentados, o trabalho propõe o desenvolvimento de uma bancada didática baseada em um sistema iBSG (*Integrated Belt Starter Generator*) da fabricante Valeo, controlado via barramento CAN por meio do software CANoe, da Vector Informatik. O estudo demonstra a capacidade de comunicação e controle de sistemas automotivos modernos utilizando apenas os sinais CAN High e CAN Low, evidenciando a importância da comunicação distribuída e da integração eletroeletrônica na engenharia automotiva contemporânea. Por fim, conclui-se que a evolução dos veículos eletrificados está diretamente associada ao avanço da Mecatrônica, da Eletrônica Embarcada e das arquiteturas digitais automotivas, consolidando a rede CAN como uma das principais tecnologias responsáveis pela transformação da mobilidade moderna.

Palavras-chave: veículos eletrificados; rede CAN; mecatrônica automotiva; eletrônica embarcada; iBSG; CANoe; mobilidade elétrica.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the historical and technological evolution of electrified vehicles, covering everything from the first electric vehicles of the 19th century to contemporary electrified systems with high electronic integration. Initially, the fundamentals of electricity applied to mobility, electric motors, batteries, and hybrid systems are discussed, contextualizing the growth of automotive electrification in the face of environmental, energy, and technological demands observed mainly from the 1990s and 2000s. The study also analyzes the evolution of embedded systems and the CAN (Controller Area Network), highlighting its fundamental role in the integration between electronic control units, energy management, motor control, hybrid systems, and modern architectures of electrified vehicles.

Throughout the theoretical development, historical and contemporary examples of electrified vehicles are presented, such as Ayrton and Perry's Electric Tricycle, the Electrobat, Bersey Electric Cab, the GM EV1, Toyota Prius, Tesla Model S and YANGWANG U9 Xtreme, relating them to the evolution of embedded electronics, automotive mechatronics, automotive batteries, thermal management systems, digital communication architectures, and modern vehicle control strategies. Environmental and industrial policies related to electrified mobility are also discussed, including national and international incentive programs.

As a practical application of the concepts presented, the work proposes the development of a didactic bench based on an iBSG (Integrated Belt Starter Generator) system from the manufacturer Valeo, controlled via CAN bus using the CANoe software from Vector Informatik. The study demonstrates the communication and control capabilities of modern automotive systems using only CAN High and CAN Low signals, highlighting the importance of distributed communication and electro-electronic integration in contemporary automotive engineering. In conclusion, the evolution of electrified vehicles is directly linked to advances in mechatronics, embedded electronics, and automotive digital architectures, solidifying the CAN network as one of the key technologies responsible for transforming modern mobility.

Keywords: electrified vehicles; CAN network; automotive mechatronics; embedded electronics; iBSG; CANoe; electric mobility.

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
AC	Alternating Current (corrente alternada)
ACK	Acknowledgment
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems (Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor)
BEV	Battery Electric Vehicle
BMS	Battery Management System
BRM	Boost Recuperation Machine
BSG	Belt Start Generator
CAN	Controller Area Network
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CRC	Cyclic Redundancy Check
CV	Cavalo Vapor
DLC	Data Length Code
DOHC	Double Overhead Camshaft (Duplo Comando de Válvulas no Cabeçote)
EOF	End Of Frame
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FWD	Front Wheel Drive (motor dianteiro e tração dianteira)
GEEs	Gases de Efeito Estufa
GPRS	General Packet Radio Service (Serviço Geral de Rádio por Pacotes)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
HEV	Hybrid Electric Vehicle
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
KERS	Kinetic Energy Recovery System
MCI	Motor à Combustão Interna
MG1	Motor Generator 1

MHEV	Mild Hybrid Electric Vehicle
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OTA	Over The Air (tecnologia sem cabamentos)
PBEV	Plug-In Battery Electric Vehicle
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos
Automotores	
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Rotações por Minuto
RTR	Remote Transmission Request
SOC	State of Charge (estado de carregamento)
SOF	Start of Frame
SOH	State of Health (estado de saúde)
THS	Toyota Hybrid System
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)
VEs	Veículos Elétricos

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Global Electric Car Stock, 2013 - 2023.....	22
Gráfico 2 - Vendas de veículos eletrificados até 2019	88
Gráfico 3 - Vendas de veículos elétricos novos entre 2020 e 2026.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conceitos principais apresentados no artigo 860391.....	56
Tabela 2 - Comparação de baterias automotivas.....	66
Tabela 3 - Número de vendas de veículos eletrificados no Brasil de 2022 a 2025 .	102
Tabela 4 - Configurações da Bateria MA5 - D.....	126
Tabela 5 - Configurações do pack de 4 baterias MA5 - D.....	127
Tabela 6 - Cronograma do Projeto	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta	25
Figura 2 - Pilha de discos de Alessandro Volta	26
Figura 3 - Gaston Planté	26
Figura 4 - Bateria chumbo-ácido de Gaston Planté.....	27
Figura 5 - Bateria chumbo-ácido atual (disposição de componentes).....	28
Figura 6 - Thomas Edison exibindo suas baterias Ni-Fe em um modelo Ford elétrico	28
Figura 7 - Michael Faraday.....	29
Figura 8 - Dupla configuração do Motor de Faraday	30
Figura 9 - Thomas Davenport, à direita, e seu motor de quatro ímãs	31
Figura 10 - Protótipo de veículo elétrico de Sibrandus Stratingh.....	32
Figura 11 - Triciclo elétrico original de Ayrton e Perry	33
Figura 12 - Reconstrução do triciclo elétrico original de Ayrton e Perry pelo time alemão do Museum Autovision, liderados por Horst Schultz	34
Figura 13 - Carruagem elétrica de William Morrison	35
Figura 14 - Electrobat de Morris e Salom em 1896	36
Figura 15 - Walter Charles Bersey	37
Figura 16 - Bersey Electric Cab.....	37
Figura 17 - Motor Johnson-Lundell.....	38
Figura 18 - “Lohner-Porsche-Mixte 4x4”	40
Figura 19 - Motor do tipo Brushless, com cerca de 2,5 CV, usado no modelo do Lohner-Porsche-Mixte, reconstruído em 2011 pela Porsche	41
Figura 20 - João Gurgel e seu modelo Itaipu E150	43
Figura 21 - pack de baterias chumbo-ácido do E150	44
Figura 22 - Itaipu E400	45
Figura 23 - Smog de Donora, que perdurou por cinco dias, registrado durante madrugada	48
Figura 24 - Neblina de poluição denominada de Smog, em Los Angeles, vista do Observatório Griffith	49
Figura 25 - Posto de combustível norte-americano fechado por falta de combustíveis	50
Figura 26 - Motor Minertia	51

Figura 27 - Pirâmide da Automação industrial.....	52
Figura 28 - Artigo 860391 do congresso SAE de 1986	55
Figura 29 - Barramento CAN interligando unidades de controle automotivas	58
Figura 30 - conexão de Nós, que podem ser módulos automotivos de controle, via barramento CAN	58
Figura 31 - Trama de dados da rede CAN	59
Figura 32 - Curva de carga e descarga da bateria de NiMH	63
Figura 33 - Capa de rosto da patente 4623597 de Ovshinsky	64
Figura 34 - Bateria de NiMH automotiva	65
Figura 35 - Pack de baterias de Li-ion.....	66
Figura 36 - Mini EV chinês pega fogo durante carregamento	68
Figura 37 - comunicação do BMS via rede CAN	69
Figura 38 - GM EV1: o primeiro carro elétrico da GM	71
Figura 39 - Diagrama de blocos de um veículo elétrico: gerenciamento do motor AC	72
Figura 40 - Toyota Prius de 1997	73
Figura 41 - Toyota Prius NHW10 cutaway	75
Figura 42 - Think City EV	77
Figura 43 - Exemplo de informações disponíveis sobre a bateria do Think City para o condutor via smartphone.....	78
Figura 44 - Compartimento traseiro do Tesla Roadster	79
Figura 45 - Raio X do Tesla Roadster – bateria e motor	79
Figura 46 - Tom Saxton, Plug In America's Chief Science Officer, drag racing in his Roadster.....	80
Figura 47 - Pack de Baterias Li-ion do Tesla Roadster	82
Figura 48 - Tesla Model S, design de 1º geração	83
Figura 49 - Construção do Tesla Model S	84
Figura 50 - Pack de baterias do Tesla Model S.....	85
Figura 51 - <i>Charging levels and resulting charging times</i>	90
Figura 52 - Complexa estrutura de comunicação automotiva atual.....	92
Figura 53 - Rimac C-Two	93
Figura 54 - Divulgação do programa Mobilidade Verde e Inovação pelo Ministério público.....	95

Figura 55 - Arquitetura centralizada de controle automotivo e de comunicação via nuvem	97
Figura 56 - Velocidade máxima de 496,22 km/h: Yangwang U9 Xtreme é o carro de produção mais rápido do mundo	99
Figura 57 - BYD Dolphin Mini GL 2026	100
Figura 58 - Primeiro Dolphin Mini fabricado no Brasil, na linha de produção da BYD em Camaçari - BA (antiga fábrica da Ford Motors)	101
Figura 59 - Tipos de veículos eletrificados atuais.....	104
Figura 60 - 2024 Toyota Camry Hybrid vs. 2024 Toyota Corolla Hybrid	105
Figura 61 - Estrutura básica de veículos PHEV	106
Figura 62 - Tesla Model 3 em carregamento.....	106
Figura 63 - Estrutura básica de veículos BEV	107
Figura 64 - Projeção do Honda CR-V e:FCEV	108
Figura 65 - Projeto com BRM da SEG Automotive e CANoe da Vector Informatik (projeto IMT).....	111
Figura 66 - Pedal do Volkswagen UP utilizado como Input via CANoe.....	112
Figura 67 - iBSG da Valeo.....	113
Figura 68 - iBSG, da Valeo, corpo e polia (2022).....	114
Figura 69 - iBSG, da Valeo, Etiqueta de identificação.....	114
Figura 70 - Chery Tiggo 5X Pro Hybrid - traseira	116
Figura 71 - Chery Tiggo 5X Pro Hybrid - dianteira	116
Figura 72 - Instrumentação para rede CAN no veículo Chery Tiggo 5X Pro Hybrid usado nos ensaios	117
Figura 73 - Configuração de comunicação via rede CAN com módulo do iBSG no veículo Chery Tiggo 5X Pro Hybrid	118
Figura 74 - Hardware de comunicação via CAN com sistema Vector CANape, cabo dedicado confeccionado para os ensaios e cabo Vector D-SUB9 (RS 232)....	118
Figura 75 - Verificação de comunicação e sincronismo em veículo já instrumentado	120
Figura 76 - Teste de rodagem em rodovia	120
Figura 77 - Banco de dados em hexadecimal, pré tratado após teste de rodagem	121
Figura 78 - Bancada de testes Kita ECB 120A.....	122
Figura 79 - Adaptação do iBSG na bancada Kita.....	123
Figura 80 - Soldagem e pintura da base do iBSG	123

Figura 81 - Baterias de motocicleta com carregador	124
Figura 82 - Pack de baterias de 48 V, adaptado para bancada de ensaios	125
Figura 83 - Diagrama elétrico da alimentação do iBSG	125
Figura 84 Bateria Moura MA5 - D.....	126
Figura 85 - Vector's CANoe - Open Environment.....	128
Figura 86 - Exemplo de display (interativo) do CANoe.....	129
Figura 87 - Material didático fornecido pela Valeo Automotive para operação do iBSG 48 V	130
Figura 88 - chicote desenvolvido para o iBSG	131
Figura 89 - Módulo VN1630A da Vector Informatik	132
Figura 90 - Conexões do cabo, tipo DB9/DE-9	132
Figura 91 - Fonte Universal 3 – 12 V, Bivolt, 30 W Regulável.....	133
Figura 92 - Primeiro ensaio realizado com o iBSG.....	133
Figura 93 - Acelerador eletrônico Bosch, obtido para otimizar a bancada, vista geral	134
Figura 94 - Acelerador eletrônico Bosch, obtido para otimizar a bancada, etiqueta de identificação	135
Figura 95 - Terminais e Cabos para melhorias futuras	136
Figura 96 - Motor trifásico da bancada Kita ECB 120A	137

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	20
1.1.	OBJETIVO.....	21
1.2.	JUSTIFICATIVA	21
2.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.1.	A PILHA, A BATERIA E O MOTOR ELÉTRICO	25
3.2.	VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SÉCULO XIX.....	31
3.3.	VEÍCULOS ELÉTRICOS NO INÍCIO DO SÉCULO XX - QUEDA.....	39
3.4.	O PIONEIRISMO DA MOBILIDADE ELETRIFICADA NO BRASIL	43
3.5.	O MEIO AMBIENTE COMO FATOR IMPORTANTE NA MOBILIDADE ELÉTRICA	46
3.6.	A MECATRÔNICA COMO FATOR IMPORTANTE NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E NA EVOLUÇÃO DA MOBILIDADE URBANA	50
3.7.	MECATRÔNICA AUTOMOTIVA E COMUNICAÇÃO (CAN)	54
3.7.1	SURGIMENTO DE UMA MECATRÔNICA AUTOMOTIVA E A COMUNICAÇÃO CAN.....	54
3.7.2	CONCEITOS PRINCIPAIS APRESENTADOS NO ARTIGO	55
3.7.3	CONTEXTO HISTÓRICO E INDUSTRIAL DA PUBLICAÇÃO	56
3.7.4	ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DA REDE CAN NO BARRAMENTO	57
3.7.5	MAPA BIOGRÁFICO DOS ENVOLVIDOS NA PUBLICAÇÃO DO ARTIGO SAE 860391 (CAN, 1986)	61
3.8	TECNOLOGIAS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO FINAL DO SÉCULO XX E INÍCIO DO SÉCULO XXI.....	62
3.8.1	A EVOLUÇÃO DAS BATERIAS AUTOMOTIVAS	62
3.8.2	BMS – GERENCIAMENTO DE BATERIAS.....	67
3.9	VEÍCULOS ELÉTRICOS NOS ANOS 1990.....	70
3.10	DUAS VISÕES PARA OS EVS NOS ANOS 2000	76
3.11	O MARCO DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS NOS ANOS 2010	83
3.12	BMS – A EVOLUÇÃO E A CONSOLIDAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA MOBILIDADE ELETRIFICADA NOS ANOS 2010	88
3.13	O ÁPICE DA ENGENHARIA DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS ATUAIS E UM RECORTE DE SEU SUCESSO COMERCIAL.....	93
3.14	ARQUITETURAS E TIPOS DE VEÍCULOS ELETRIFICADOS	103
3.15	A CONSOLIDAÇÃO DA MECATRÔNICA E DA REDE CAN NA MOBILIDADE ELETRIFICADA.....	109
4	ESTUDO DE CASO – BANCADA DIDÁTICA E VEÍCULO HÍBRIDO (MBEV - BSG)	111
4.1	BANCADA DIDÁTICA DE REDE CAN	111

4.2	INTEGRATED BELT START GENERATOR (IBSG)	112
4.3	ENSAIOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	115
4.4	EXECUÇÃO DA BANCADA IBSG – CAN	121
5	METODOLOGIA.....	138
5.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	138
5.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	138
5.3	ESTUDO DE CASO	139
5.4	MATERIAIS E MÉTODOS	140
6	PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	141
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas à eletrificação da mobilidade. Nesse contexto, os veículos elétricos e híbridos têm se consolidado como alternativas viáveis aos sistemas tradicionais baseados em combustíveis fósseis, promovendo avanços significativos em eficiência energética, redução de emissões e integração com sistemas inteligentes de controle.

Entretanto, apesar do aparente caráter contemporâneo dessa tecnologia, o desenvolvimento de sistemas de propulsão elétrica remonta ao século XIX, envolvendo contribuições fundamentais de pesquisadores e engenheiros que estabeleceram as bases da eletrificação. A evolução desses sistemas ao longo do tempo evidencia não apenas avanços tecnológicos, mas também limitações históricas relacionadas à autonomia, armazenamento de energia e viabilidade econômica. Paralelamente, o avanço da eletrônica embarcada e dos sistemas de comunicação veicular, como o protocolo Controller Area Network (CAN), possibilitou a integração de diferentes subsistemas automotivos, permitindo o desenvolvimento de arquiteturas mais eficientes e inteligentes. Nesse cenário, componentes como o Integrated Belt Starter Generator (iBSG) tornam-se relevantes ao representar soluções intermediárias entre veículos convencionais e totalmente elétricos.

Diante desse contexto, este trabalho propõe a análise da evolução histórica dos sistemas de propulsão eletrificada e a aplicação prática desses conceitos por meio do desenvolvimento de uma bancada didática baseada em sistema iBSG de 48 V, associada à instrumentação e aquisição de dados em um veículo híbrido real. Essa abordagem visa estabelecer uma ponte entre os fundamentos teóricos e sua aplicação em sistemas embarcados contemporâneos.

Assim, o trabalho combina análise histórica, fundamentação teórica e validação prática, contribuindo para a compreensão integrada dos sistemas de eletrificação automotiva e das tecnologias de comunicação veicular.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar a origem dos carros elétricos e as engenharias aplicadas, em seus respectivos períodos, para assimilar as possíveis causas de uma baixa adesão da mobilidade eletrificada como produto e os impactos da mecatrônica que levaram ao avanço das tecnologias embarcadas, as quais possibilitaram a viabilidade de veículos eletrificados.

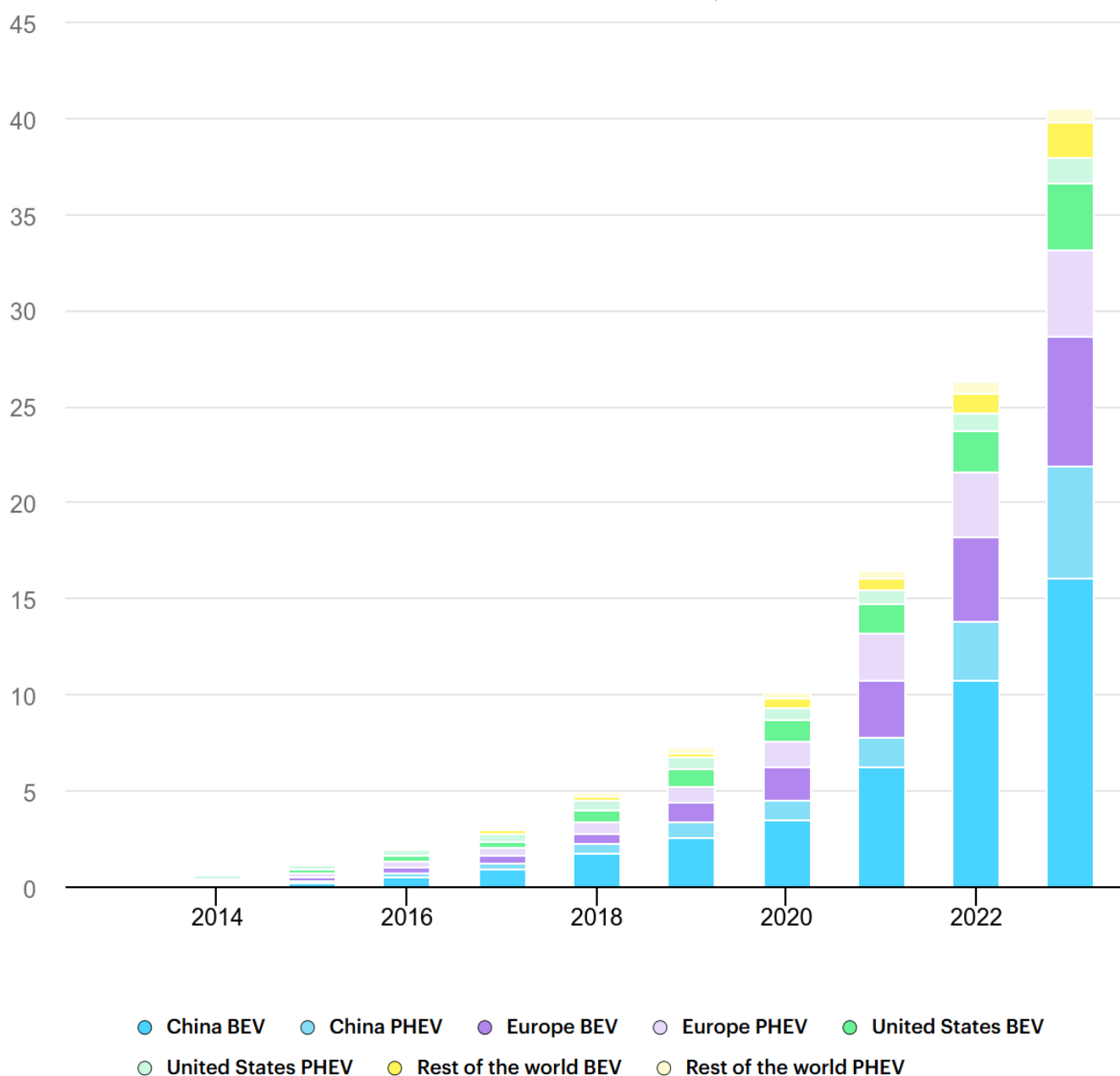
O objetivo específico deste trabalho é construir um conjunto didático que simule o controle de um Gerador de Arranque Reversível Integrado de um *powertrain* eletrificado, de um Veículo Elétrico Híbrido Leve (MHEV), com finalidade de demonstrar as tecnologias que representam as contribuições da mecatrônica para o meio automotivo.

1.2. JUSTIFICATIVA

A chamada descarbonização é a crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes da emissão de gases poluentes, geradas por veículos de propulsão à combustão interna (Gasolina, Etanol e Diesel) como automóveis de passeio, motocicletas, ônibus e veículos pesados para transporte, que são responsáveis por mais de 25% dos níveis de GEEs globais, aliada à necessidade de diversificação da matriz energética, tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de veículos eletrificados em escala global. Esse avanço pode ser observado por meio do crescimento expressivo nas vendas de veículos elétricos ao longo da última década, conforme ilustrado no Gráfico 1 abaixo, que apresenta a evolução do mercado de eletrificados entre os anos de 2013 e 2023.

O Gráfico em questão apresenta o número de vendas globais, em milhões, de veículos de passeio eletrificados, sejam automotores puramente elétricos ou híbridos, além de indicar cada país ou região responsável com cores. Dez colunas são visíveis, cada uma representando um ano, de 2013 a 2023

Gráfico 1 - Global Electric Car Stock, 2013 - 2023



Fonte: International Energy Agency (2024)

De acordo com a Agencia Internacional de Energia (2024), no ano de 2023 a frota global de veículos elétricos alcançou o patamar de 40 milhões de unidades, número muito superior as 250 mil unidades registradas em todo o ano de 2013,

um crescimento de aproximadamente 16.000% em todo o período, apresentando uma taxa média de crescimento anual composta (CAGR) de aproximadamente 74,1% ao ano, a qual é possível obter-se pela seguinte fórmula: $\left(\frac{VF}{VI}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$.

Esse cenário evidencia não apenas a consolidação da mobilidade elétrica como tendência tecnológica, mas também a crescente complexidade dos sistemas embarcados presentes nesses veículos, que integram componentes mecânicos, eletroeletrônicos e mecatrônicos, além de redes de comunicação e software embarcado. No entanto, apesar dessa evolução, observa-se que, no contexto acadêmico brasileiro, a formação em engenharia ainda enfrenta desafios relacionados à integração entre teoria e prática, sendo frequentemente caracterizada pela predominância de métodos tradicionais de ensino, limitações de infraestrutura laboratorial e dificuldades na implementação de metodologias que aproximem os estudantes das demandas reais da indústria (Günther, 2024).

Diante dessa lacuna, torna-se relevante o desenvolvimento de abordagens que permitam a materialização desses conceitos em ambientes controlados de aprendizagem. Nesse sentido, a construção de uma bancada didática aplicada, baseada em sistemas híbridos e comunicação via rede CAN, possibilita a visualização, instrumentação e análise prática do funcionamento de sistemas eletrificados. Além disso, a realização de ensaios em veículo eletrificado real, aliada à aquisição e análise de dados por meio de ferramentas especializadas, contribui significativamente para a aproximação entre teoria e prática, permitindo a validação de conceitos e a compreensão do comportamento dinâmico dos sistemas estudados.

Dessa forma, o presente trabalho se justifica não apenas pela relevância da mobilidade elétrica no cenário atual, mas também pela proposta de desenvolvimento de um recurso didático e experimental, capaz de contribuir para a formação técnica e acadêmica na área de mecatrônica, promovendo a integração entre conhecimentos teóricos e aplicações práticas alinhadas às demandas da indústria.

2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado de forma a conduzir o leitor desde a compreensão do contexto histórico e tecnológico da mobilidade eletrificada até a análise experimental de um sistema híbrido leve. A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem que combina fundamentação teórica, levantamento documental, estudo de caso e experimentação prática, de modo a relacionar a evolução dos veículos eletrificados com sua implementação em sistemas automotivos modernos.

Inicialmente, são apresentados os elementos introdutórios do estudo, incluindo a contextualização do tema, o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa. Em seguida, a fundamentação teórica aborda a evolução dos veículos elétricos e híbridos, os avanços relacionados aos sistemas de armazenamento de energia, a eletrônica embarcada e as redes de comunicação automotiva, com destaque para a *Controller Area Network* (CAN) como elemento fundamental na integração entre módulos eletrônicos veiculares.

Posteriormente, é apresentado o estudo de caso baseado em um sistema híbrido leve equipado com um sistema iBSG, utilizado como objeto de análise prática dos conceitos desenvolvidos ao longo do trabalho. Nessa etapa, são avaliados aspectos do funcionamento do sistema, da comunicação entre módulos eletrônicos e da aquisição de dados provenientes da rede CAN.

Por fim, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, incluindo os materiais empregados, as etapas experimentais realizadas e os métodos utilizados para aquisição, organização e interpretação dos dados obtidos. Dessa forma, o trabalho estabelece uma relação entre conhecimentos teóricos e aplicações práticas, alinhadas às demandas atuais da engenharia automotiva.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os temas centrais abordados neste trabalho são os veículos elétricos surgidos nos séculos XIX e XX, assim como brevemente os contextos políticos e sociais e fatores tecnológicos que impulsionaram a sua evolução desde o final do século XX, tendo como protagonista o protocolo de comunicação CAN e a engenharia ao seu redor.

3.1. A PILHA, A BATERIA E O MOTOR ELÉTRICO

A origem da pilha elétrica data do final do século XVIII, quando o italiano Alessandro Giuseppe Volta (1745 – 1827), ilustrado na figura 1 abaixo, contrapondo-se as teorias e experimentos sobre a “*eletricidade animal*” de Luigi Galvani (1737 – 1798) e comprovou que o empilhamento de discos metálicos de ligas diferentes, como Cobre e Zinco ou Prata e Chumbo, em uma solução salina, separados por materiais porosos como couro ou papelão, geravam corrente elétrica polarizada em um condutor.

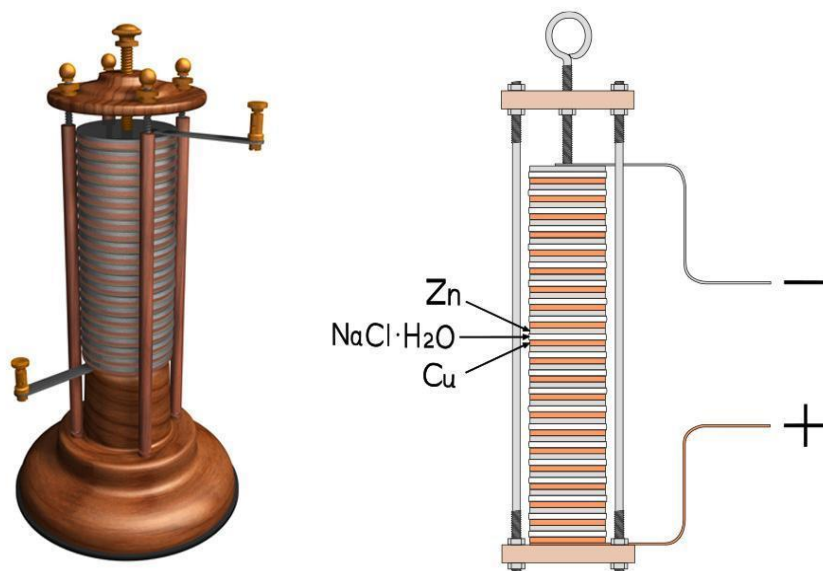
Figura 1 - Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta



Fonte: Elektor Magazine (2019)

Surgia assim, com base nos estudos de Alessandro Giuseppe Volta, o conceito da pilha voltaica em 1799, conforme modelo apresentado na figura 2, abaixo (Tolentino e Rocha-Filho, 2000).

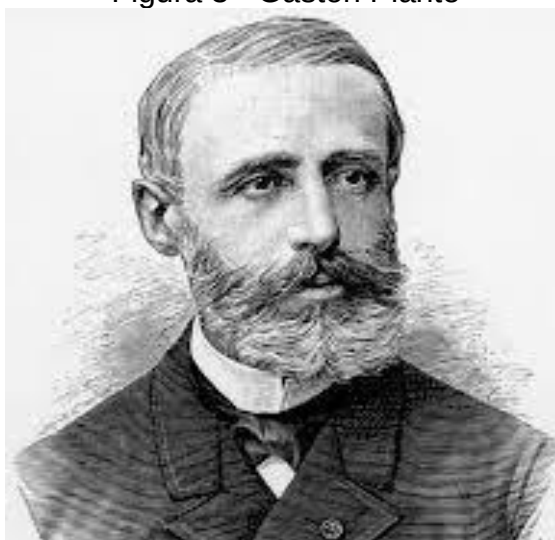
Figura 2 - Pilha de discos de Alessandro Volta



Fonte: Museu WEG de ciência e tecnologia (2021)

Segundo Neaves (2025), no ano de 1859, sessenta anos mais tarde, o francês Raymond Gaston Planté (1834 – 1889), apresentado na figura 3, inventou uma tecnologia, embora aprimorada, muito utilizada até os dias atuais, a então denominada Bateria de Planté.

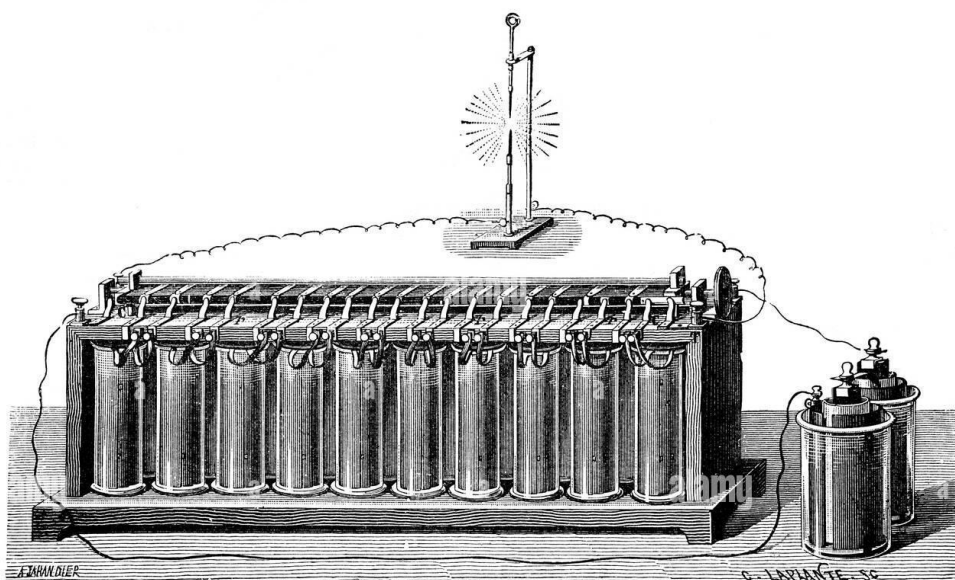
Figura 3 - Gaston Planté



Fonte: Britannica (2025)

A denominada Bateria de Planté foi o primeiro dispositivo capaz de armazenar eletricidade e ser reabastecido. A invenção era composta por dois eletrodos, um de chumbo puro e outro de dióxido de chumbo – anodo e catodo respectivamente – isolados fisicamente, mas envolvidos em um eletrólito de ácido sulfúrico que conduzia os elétrons, liberados por reação química de oxidação, do polo negativo para o polo positivo, gerando eletricidade para as cargas conectadas aos terminais, processo esse chamado de Oxirredução. Essa invenção de Raymond Gaston Planté, representada na figura 4 abaixo, revolucionou o armazenamento de energia elétrica e é altamente aplicado na atualidade.

Figura 4 - Bateria chumbo-ácido de Gaston Planté

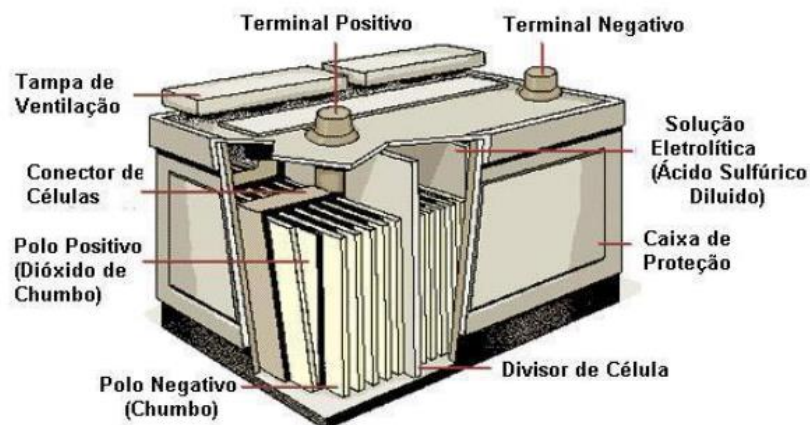


Fonte: Alamy (2015)

No ano seguinte, o francês já havia chegado há uma configuração capaz de fornecer dezoito Volts e o dobro de carga das melhores pilhas presentes no mercado até aquele momento, todavia o processo que gerava eletricidade em suas baterias era reversível. Quando aplicada uma carga em fluxo contrário (do polo positivo para o negativo) por uma fonte externa, a oxirredução era revertida, então os elétrons retornavam para o anodo, possibilitando assim utilizar a bateria novamente para alimentar cargas.

Na figura 5 abaixo, é possível visualizar a construção atual da Bateria de Planté, conhecida como Bateria Chumbo-Ácido, amplamente utilizada em todo o globo.

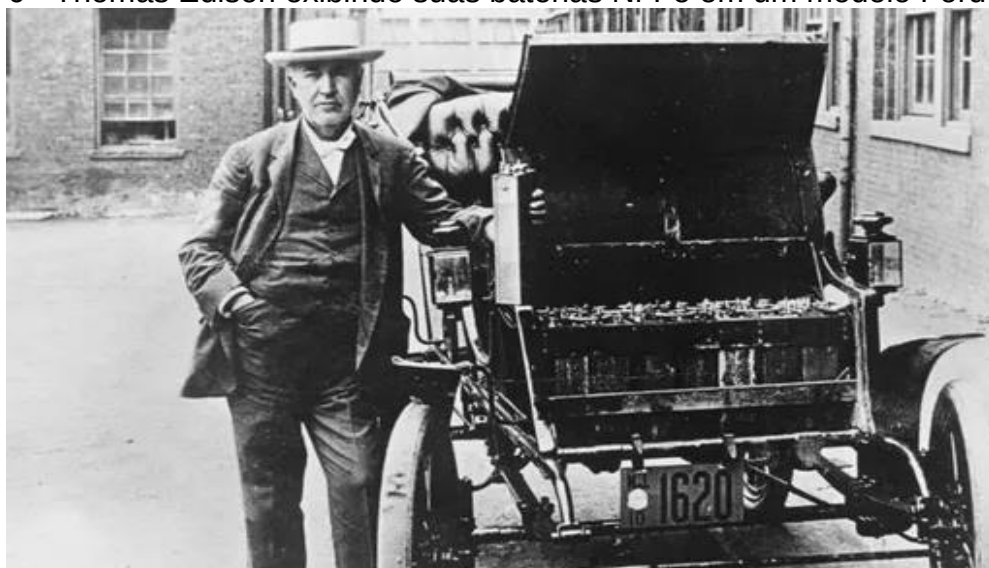
Figura 5 - Bateria chumbo-ácido atual (disposição de componentes)



Fonte: Cynthia Thamires via LinkedIn (2021)

Na virada para o século XX, entre 1880 e 1900, o inventor estadunidense Thomas Alva Edison (1847 – 1931), visível na figura 6, acompanhado de seu Ford modificado, acreditava que a mobilidade elétrica era uma tecnologia superior e, sendo assim, dedicou-se a criar uma bateria que suprisse as necessidades da chamada era de ouro dos veículos elétricos, (Barassa, 2015; Matulka, 2014).

Figura 6 - Thomas Edison exibindo suas baterias Ni-Fe em um modelo Ford elétrico



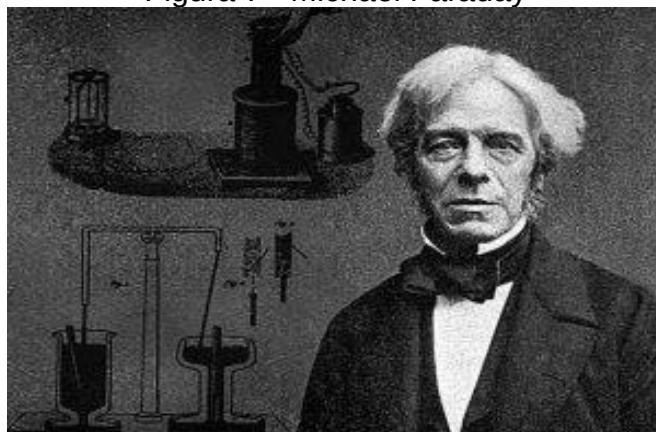
Fonte: Shukman (2021)

A bateria de Edison, ou bateria Ni-Fe, possui dois eletrodos assim como a de Planté, sendo o catodo de Níquel e o anodo de Ferro, ambos dentro de uma solução básica líquida de Hidróxido de Potássio, atuando como eletrólito. A reação química presente é a oxirredução, mesmo processo da bateria do francês, todavia ela podia ser carregada até duas vezes mais rápido e sua vida útil pode chegar a ser 3,5 vezes maior que sua similar de cinquenta anos antes, sua maior vantagem, mas em contrapartida ela era pesada, liberava hidrogênio em seu processo de recarga e tem densidade energética menor (Weschenfelder, 2014; Hirschlag, 2021).

Sua invenção mostrava-se tão promissora que, em 1903, quando Henry Ford Fundou a Ford Motor Company, Edison se associou a ele com o projeto de converter veículos movidos a gasolina para elétricos. Seus projetos foram executados e de fato sua bateria havia demonstrado ser muito superior às antecessoras, mas quando o inventor chegou em seu ápice, os veículos à combustão já haviam evoluído ao ponto de dominarem as estradas norte-americanas (EEPower, 2022; Trellis Group, 2014).

O motor elétrico é, em sua essência, o resultado da interação entre a eletricidade e o magnetismo, fenômenos que, segundo Medeiros e Santos (2017), só foram relacionados em estudos concretos no ano de 1820 pelo cientista Christian Oersted (1777 – 1851). Foram os experimentos dele que chamaram a atenção do físico Michael Faraday (1791 – 1867), apresentado na figura 7 abaixo, o qual empenhou-se em estudar a capacidade do Eletromagnetismo de Oersted realizar trabalho, gerando movimento mecânico.

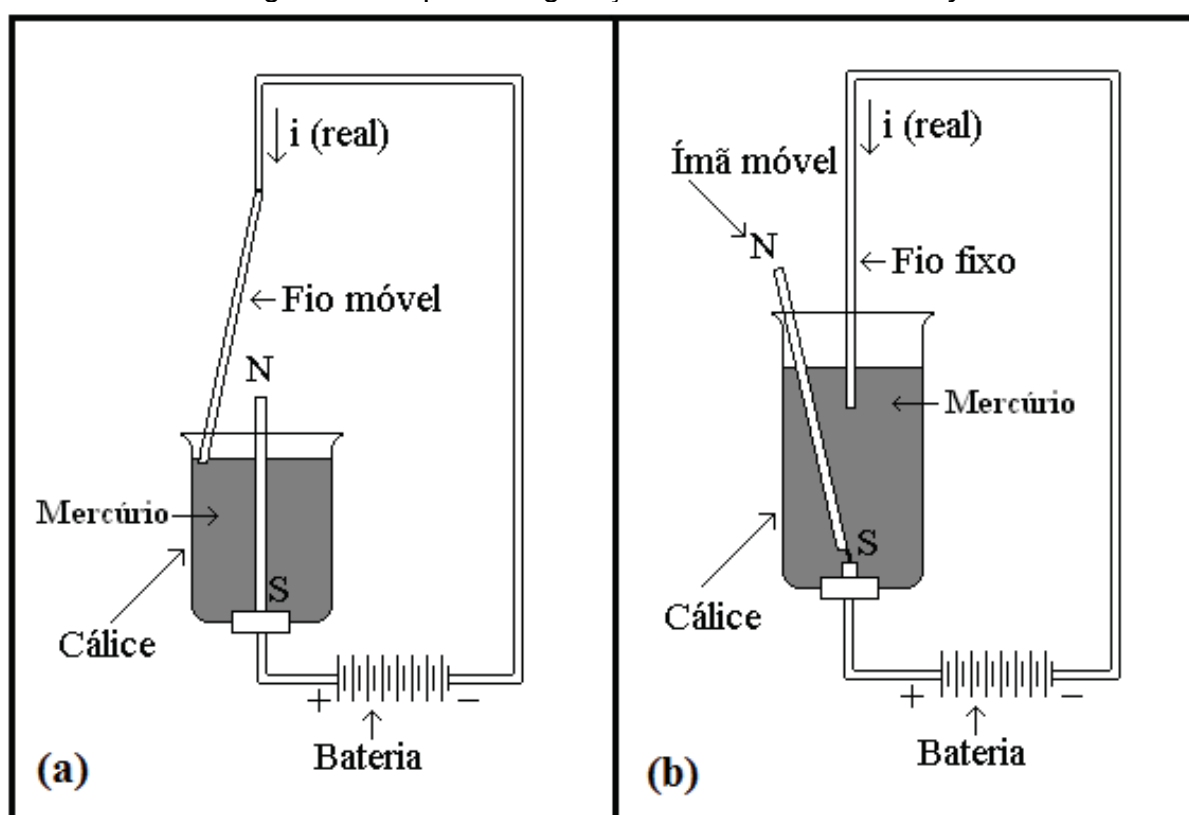
Figura 7 - Michael Faraday



Fonte: Vieira (2023)

Faraday elaborou experimentos a fim de comprovar suas teorias, experimentos esses que consistem em duas configurações: duas taças contendo Mercúrio com um fio condutor partindo de seu fundo, ligado à uma pilha voltaica. Em uma dessas taças o ímã estava verticalmente firme, ligado ao fio condutor na base do recipiente, e outro fio condutor desafixado, preso parcialmente à um suporte e polarizado inversamente pela mesma pilha (a). Já na outra configuração, o ímã estava bambo e o fio condutor negativo encontrava-se preso ao suporte (b), conforme é possível acompanhar na figura 8, abaixo.

Figura 8 - Dupla configuração do Motor de Faraday



Fonte: da Silva e Laburú (2013)

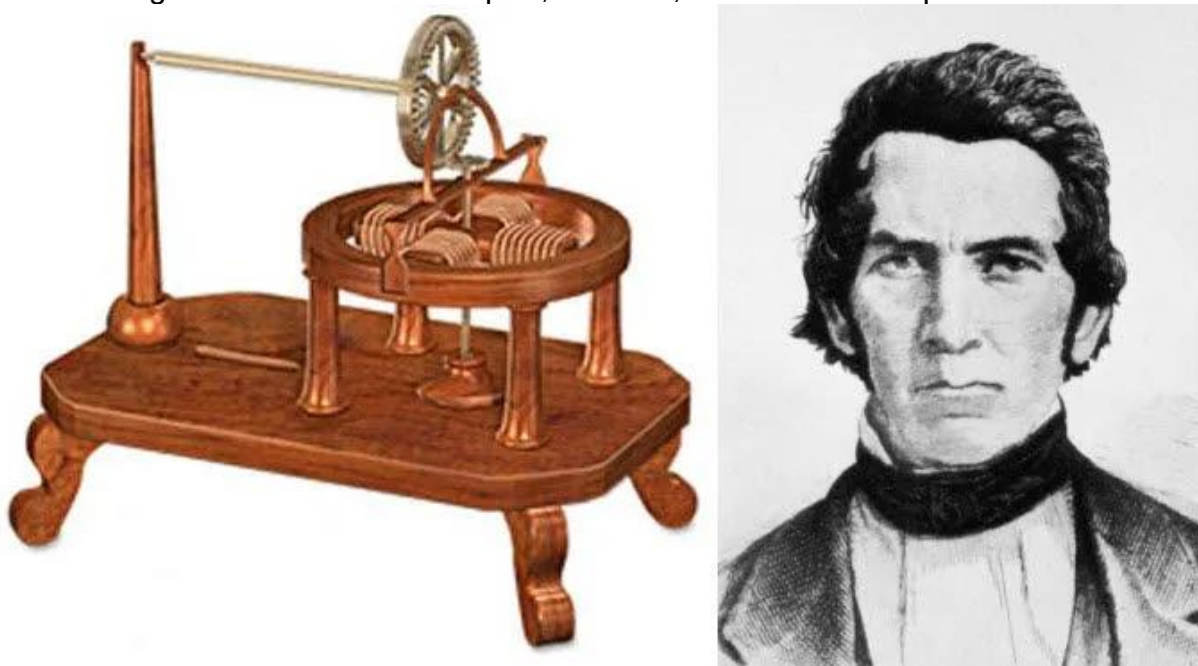
Faraday notou que no primeiro arranjo, quando o fio bambo tocava o metal liquido condutor, este girava continuamente em torno do ímã. No segundo arranjo, quando o fio tocava o Mercúrio e fechava o circuito elétrico, o ímã movia-se continuamente ao redor do condutor. Surgia assim o conceito do motor de Faraday, em 1821 (da Silva e Laburú, 2013).

3.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SÉCULO XIX

A história dos veículos elétricos começa em 1828, quando o inventor e cientista húngaro Ányos Jedlik (1800 – 1895) introduziu em um pequeno modelo automotivo, assim por ele denominado, o “Autorrotor Magnético-Relâmpago”, um pequeno motor magnético alimentado por uma pilha voltaica, mecanismo que foi capaz de movimentar o protótipo (McFadden, 2023).

Já em 1834 o inventor e ferreiro norte-americano Thomas Davenport (1802 – 1851) construiu um motor circular que consistia em quatro ímãs, dois estacionários e dois móveis, acionados por comutadores que seccionavam a passagem de corrente elétrica proveniente de uma pilha. É possível visualizar Thomas Davenport e seus desenhos de projeto na figura 9, abaixo. (Frank Wicks et. al. 2014). Este modelo de propulsor foi patenteado em 1837, pelo U.S.Patent, intitulada *“Improvement in Propelling Machinery by Magnetism and Electro-Magnetism”*, já o protótipo de veículo construído por Davenport tinha baixa autonomia, baixa potência e baixa eficiência, porém atuou como precursor para os bondes e trens elétricos que surgiram nos próximos anos, já que a invenção do ferreiro consistia em uma pequena locomotiva andando em círculos sobre trilhos (Britannica, 2024).

Figura 9 - Thomas Davenport, à direita, e seu motor de quatro ímãs



Fonte: Page (2022)

Ainda na mesma década, o holandês Sibrandus Elzoo Stratingh (1785 – 1841) desenvolveu o que é considerado por muitos o primeiro veículo elétrico funcional, vide figura 10, um pequeno modelo alimentado por uma célula não recarregável e quatro eletroímãs, utilizando o princípio de Faraday para locomover o pinhão que traciona as rodas traseiras do modelo que não portava passageiros. (Bermudez, 2021)

Figura 10 - Protótipo de veículo elétrico de Sibrandus Stratingh



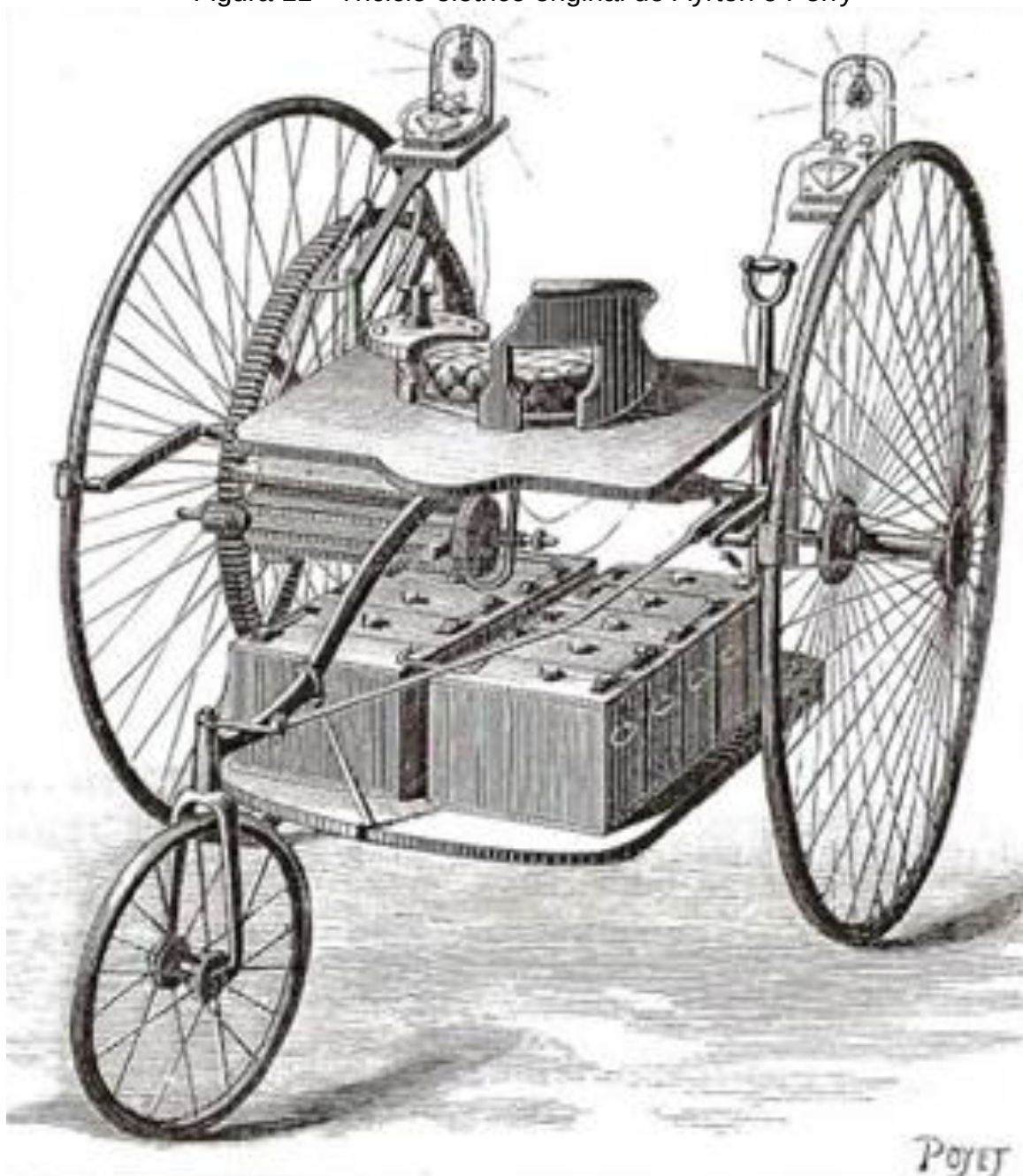
Fonte: EXACT3D (2020)

Essas e outras invenções da época não teriam condições de se estabelecer no mercado, já que tinham baixíssima eficiência e não conseguiam, ao menos, carregar pessoas de um ponto A a um ponto B. Além disso, suas fontes de energia eram praticamente descartáveis, já que a bateria voltaica não era recarregável, cenário que mudou ainda no século XIX com a bateria de Gaston Planté, citada acima.

Ainda em 1881, os ingleses William Ayrton (1847-1908) e John Perry (185 - 1920) [...] construíram um triciclo elétrico com duas rodas grandes atrás, com a direita acionada, e uma pequena roda dianteira, [...]. O triciclo elétrico usava dez das baterias de chumbo-ácido de [Gaston] Planté em série, fornecendo 1/2 cavalo-vapor. O

controle da velocidade era feito ao ligar ou desligar as baterias de chumbo-ácido. O triciclo era capaz de atingir uma distância entre 10 e 25 milhas e uma velocidade máxima de 9 mi/h (aproximadamente 14,5 km/h), dependendo do terreno. O triciclo de Ayrton e Perry foi o primeiro veículo a ter iluminação elétrica. (Bermudez, 2021, p.16).

Figura 11 - Triciclo elétrico original de Ayrton e Perry



Fonte: Bermudez (2021)

Abaixo, na figura 12, é possível visualizar a representação absoluta do triciclo elétrico de Ayrton e Perry, em reconstrução realizada pelo museu alemão Autovision.

Figura 12 - Reconstrução do triciclo elétrico original de Ayrton e Perry pelo time alemão do Museum Autovision, liderados por Horst Schultz



Fonte: Ridden (2011)

No final da década de 1880, o escocês William Morrison (1855 – 1927) estava desenvolvendo uma carruagem elétrica que foi apresentada no desfile de Des Moines em 1888, a qual foi patenteada em 1890 no estado de Iowa – EUA. Este modelo era o primeiro com quatro rodas, com tração dianteira propelida por um motor de potência equivalente a 4 CV (quatro cavalo-vapor) e um aglomerado de 24 células de bateria do tipo Planté, conjunto que fornecia cerca de 50 Km de autonomia e velocidade máxima de 32 Km/h.

Ambos, Morrison e sua carruagem elétrica, são apresentados na figura 13, abaixo, fotografados no desfile de Des Moines em 1888.

Figura 13 - Carruagem elétrica de William Morrison



Fonte: Bryan (2025)

O veículo de Morrison, foi apresentado na edição de 1893 da Feira Mundial de Chicago, tornou-se um sucesso como atração e, nos anos subsequentes, ganhou corridas regionais – sim, corridas de modelos elétricos na década de 1890! – Todavia ele não era o único veículo da categoria ganhando força nos Estados Unidos, naquela década. (Wilson, 2023)

Simultaneamente, na Pensilvânia – EUA, a dupla Henry G. Morris (1835-1870) e Pedro G. Salom (1856-1945) desenvolveram um automóvel visualmente mais parecido aos veículos elétricos posteriores e também aos veículos à combustão do início do século XX, vide figura 14 abaixo. Segundo Bermudez (2021), a invenção dos dois era um modelo com aproximadamente 2.000 Kg, quatro rodas, sendo as duas dianteiras as motoras, e velocidade limite de 24 Km/h. Denominado

Electrobat, o modelo foi patenteado em agosto do mesmo ano, 1894, e entrou em produção no ano seguinte.

Figura 14 - Electrobat de Morris e Salom em 1896



Fonte: Slade – KC Studio (s. d.)

Já de acordo com Wilson (2023), o veículo da dupla tinha, inicialmente (1894), rodas de aço e mais de 700 Kg de massa somente nas baterias, fazendo-o muito pesado, lento e desconfortável para as ruas da Filadélfia. Após dois anos de melhorias, o Electrobat agora usava pneus preenchidos por ar e disponha de redução de peso, o que deixou o veículo mais confortável e, impulsionado por um motor de 1,1 KW – aproximadamente 1,5 CV – conseguia uma autonomia de 40 Km e velocidade máxima superior à 30 Km/h.

Coincidente ao desenvolvimento do Electrobat, o britânico Walter Bersey (1874 – 1950), ilustrado na figura 15 abaixo, expôs à Inglaterra, em 1896, o seu modelo de veículo elétrico, o qual era similar aos futuros veículos dos próximos vinte anos. Denominados de Bersey Electric Cab, representados pela figura 16, doze taxis foram apresentados pela empresa de Walter, a Electrical Cab

Company, no Salão do Automóvel de South Kensington, marcando história no automobilismo e entrando em operação no ano seguinte (Hurley, 2012, *apud* Bermudez, 2021, p. 18).

Figura 15 - Walter Charles Bersey



Fonte: Gage (2018)

Figura 16 - Bersey Electric Cab



Fonte: Hurley (2013)

Segundo Wade (2018) e Hurley (2012), a tecnologia presente no modelo era avançada e eficiente para os padrões da época: um motor do tipo Johnson-Lundwell, vide figura 17, com potência estipulada entre 3 CV e 8 CV, alimentado por um conjunto de baterias pesando mais de 700 Kg e capacidade de 170 Ampere-hora, o que fornecia uma autonomia de aproximadamente 50 Km ao veículo, aliada à uma troca rápida das células, entre dois e três minutos no posto de troca. Sua velocidade era controlada por um mecanismo situado próximo ao condutor, uma alavanca, que alternava entre três velocidades: 3, 7 e 9 M/h (milhas por hora), ou 5, 11 e 14,5 Km/h, respectivamente.

Figura 17 - Motor Johnson-Lundell



Fonte: Science Museum Group (s.d.)

Embora essa tecnologia fosse a mais avançada possível para aquele momento, com uma evolução de setenta anos, alguns problemas surgiram para o Bersey Electric Cab, como seu peso elevado, causando desgaste precoce aos pneus após poucos meses de uso, culminando em excesso de ruído e vibração no veículo, gerando desconforto para os usuários e condutores além dos danos causados às vidraças da cabine, suas baterias só podiam ser trocadas na estação

de metrô de Lambeth - Londres, o que limitava a região de operação dos taxistas. Esses fatores, somados à uma engenharia ainda não muito desenvolvida, elevavam os custos de manutenção dos veículos, alterando drasticamente o cenário da *Electrical Cab Company* em apenas dois anos. (Hurley, 2012).

Com um pico de 75 unidades do veículo operando em Londres, Walter Bersey estava encarando dificuldades com seus modelos elétricos, não somente em aspectos técnicos, os quais acarretam um prejuízo de mais de seis mil Libras Esterlinas (£ 6.200,00) só no primeiro ano de operação – ou mais de R\$ 7.980.000,00 nos dias atuais – mas também pela aceitação sindical e pela mídia. Após casos de acidentes, desde condutores bêbados a crianças se ferindo no mecanismo propulsor, e do conflito de interesses de Bersey e o London Cab Trade Council, ou Conselho de Comércio de Táxis de Londres, relatado em uma edição da revista “The Engineer” (Wade, 2018), a companhia do inventor inglês encerrou suas operações em 1899. Apesar de a invenção de Walter Bersey ser o ápice da mobilidade puramente elétrica na Europa do século XIX, por motivos técnicos e sociais ela fracassava em Londres, inclusive por características que se notam nos veículos elétricos do século XX.

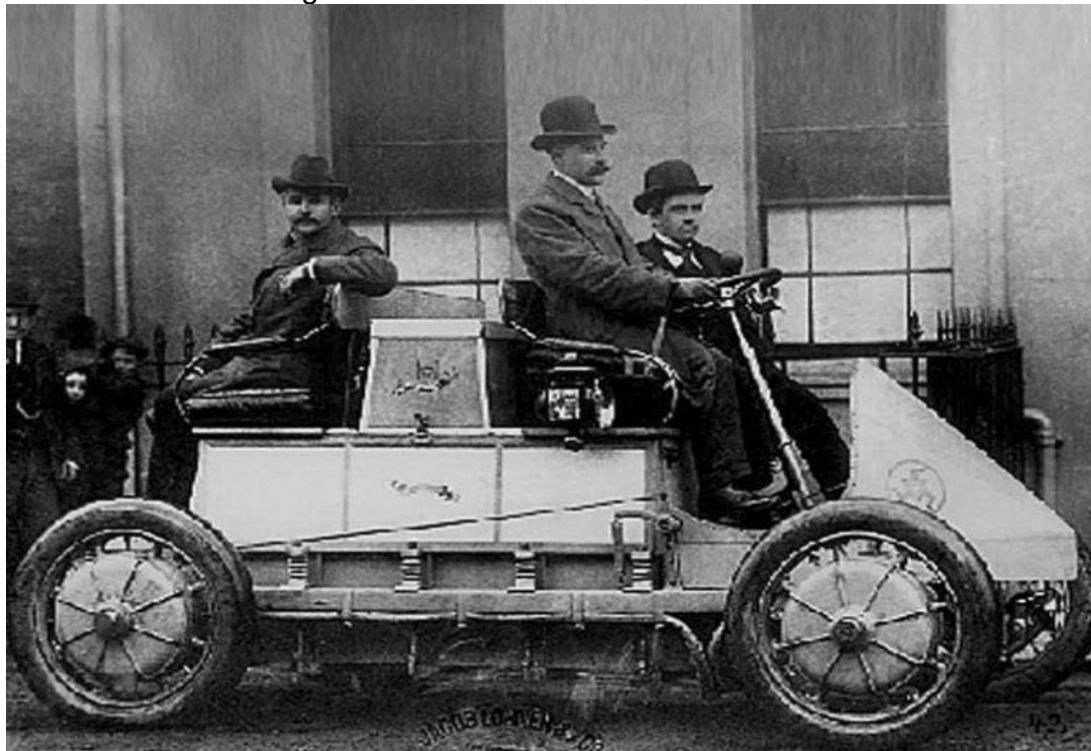
3.3. VEÍCULOS ELÉTRICOS NO INÍCIO DO SÉCULO XX - QUEDA

Já no século XX, ainda na Europa, outro inventor com uma tecnologia diferente trazia outro conceito, do engenheiro alemão responsável pelo Volkswagen Fusca e por fundar a renomada montadora de esportivos, Ferdinand Porsche (1875 – 1951) mostrava ao mundo o veículo híbrido.

De acordo com Creton (2011), Ferdinand apresentou, na edição de 1900 da Feira Mundial de Paris, o primeiro veículo com sistema de tração híbrido do mundo, protótipo que ficou conhecido como “Lohner-Porsche-Mixte”.

É possível visualizar Ferdinand Porsche e seu veículo híbrido na figura 18, abaixo.

Figura 18 - “Lohner-Porsche-Mixte 4x4”



Fonte: Caruso (2018)

O automóvel em questão tinha quatro motores elétricos sem escovas, um motor do tipo *Brushless* em cada roda, conforme figura 19 abaixo, tornando assim a obra de Porsche o primeiro automóvel com tração nas quatro rodas em todo o mundo. Eles eram alimentados por um conjunto de baterias que era carregado constantemente por um gerador acoplado à um MCI monocilíndrico. Essa configuração dispensava eixos e diferentes modais de transmissão mecânica, fazendo assim o modelo atingir mais de 80% de eficiência energética.

Segundo Caruso (2018), os motores entregavam uma potência combinada de 11,2 CV – ou 8,2 KW – entregando uma velocidade máxima acima de 35 Km/h e autonomia de quase 200 Km, um grande feito considerando que o veículo tinha cerca de 1.700 Kg. Para os padrões da época, o veículo de Porsche entregava um produto que parecia muito promissor, que inclusive chegou a ganhar corridas e prêmios, por ter autonomia aproximadamente quatro vezes maior que os elétricos desenvolvidos nas últimas décadas, potência considerável e capacidade para quatro ocupantes, todavia a produção que se iniciou em 1902 se encerrou

três anos depois, devido ao fato de que o custo do automóvel era muito acima dos concorrentes propelidos puramente à combustão.

Figura 19 - Motor do tipo Brushless, com cerca de 2,5 CV, usado no modelo do Lohner-Porsche-Mixte, reconstruído em 2011 pela Porsche



Fonte: PlanetCarsZ (2022)

Segundo Baran e Legey (2011), embora as inovações tecnológicas estivessem ocorrendo em todo o mundo, o período entre 1900 e 1920 em território estadunidense já apresentava um vislumbre do cenário automobilístico dos próximos cinquenta anos.

Em 1903, havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. Em 1912, quando a frota de carros elétricos naquela cidade atingiu o ápice de 30 mil unidades, a quantidade de automóveis a gasolina já era trinta vezes maior [...]. A partir de então, a trajetória dos carros elétricos seguiu em forte queda. (Baran e Legey, 2011, p. 8)

São apresentados os principais fatores para a queda do veículo elétrico nos Estados Unidos da América:

- O sistema de produção em série de Henry Ford colocava o preço do veículo à combustão no patamar de metade da maioria dos carros elétricos – cerca de US\$ 650,00 contra US\$ 1.750,00, respectivamente;
- Em 1912 foi inventada a partida elétrica, dispensando assim o dificultoso sistema de manivela, tornando a partida do MCI ainda mais prática;
- Devido a descobertas de petróleo em território nacional, o preço dos combustíveis fósseis, como a gasolina, tornou-se muito mais atrativo que a eletricidade.

Causas similares impactaram o mercado automotivo europeu, já que os derivados de petróleo também tiveram baixa nos preços, veículos à combustão mais acessíveis e as duras críticas à baixa autonomia dos modelos elétricos, além do alto tempo de recarga e a vida útil menor que a de seus concorrentes diretos (Nascimento *et.al*, 2011). Outro agente decisivo para a queda dos veículos elétricos na primeira metade do século XX era a manutenção, já que pela simplicidade do sistema dos automóveis à gasolina, qualquer especialista em bicicletas conseguia reparar os veículos, diferentemente dos modelos elétricos, os quais eram de difícil compreensão o funcionamento de motores e baterias, fazendo assim com que a mobilidade elétrica, tanto na América quanto no Velho Continente, fosse reservada para veículos de trabalho, como coleta de lixo ou distribuição, rebaixando os níveis de produção dos mesmos.

Ainda de acordo com Baran e Legey (2011), houve um pico de fabricação e comercialização de veículos elétricos entre primeira e segunda grande guerra, devida à racionalização de gasolina e diesel, obrigando os civis e buscar outros modais de locomoção. Inclusive é possível notar esse cenário no Japão pós-

guerra, mas até a década de 1960, os BEVs e os HEVs estavam praticamente em desuso.

3.4. O PIONEIRISMO DA MOBILIDADE ELETRIFICADA NO BRASIL

No contexto brasileiro, um dos marcos mais relevantes da eletrificação automotiva ocorreu através da Gurgel Motores e de seu fundador, o engenheiro João Augusto Conrado do Amaral Gurgel (1926 – 2009). Durante a década de 1970, um período que seria de suma importância para os elétricos e futuros híbridos, em um cenário no qual estes veículos ainda eram limitados, principalmente pela baixa densidade energética das baterias e pela inexistência de eletrônica embarcada, a fabricante brasileira desenvolveu o Gurgel Itaipu E150, considerado o primeiro veículo elétrico desenvolvido na América Latina. Segundo Voguel (2025), o protótipo foi apresentado no Salão do Automóvel de 1974 e representava uma tentativa nacional de inserção na mobilidade elétrica décadas antes da popularização global dos EVs modernos (Terra, 2017). É possível ver o protótipo, ao lado de seu criador, na imagem a seguir.

Figura 20 - João Gurgel e seu modelo Itaipu E150



Fonte: Terra (2017)

Do ponto de vista técnico, o Itaipu E150 utilizava uma arquitetura relativamente simples quando comparada aos veículos elétricos que o

sucederam. O modelo empregava um motor elétrico de corrente contínua com potência próxima de 3 CV a 4 CV, alimentado por dez baterias chumbo-ácido de 12 V ligadas em série, totalizando aproximadamente 120 V. O veículo possuía peso próximo de 780 kg, dos quais cerca de 320 kg correspondiam exclusivamente às baterias, evidenciando uma das principais limitações dos veículos elétricos daquele período, e também de seus antecessores: o peso elevado e a baixa densidade energética dos acumuladores disponíveis. Segundo os estudos levantados, o Itaipu E150 apresentava velocidade máxima entre 50 e 60 km/h, autonomia estimada entre 60 e 80 km e tempo de recarga próximo de 10 horas em tomada convencional. (Terra, 2017; Pinho, 2018; Ekko Green, 2026).

Além das limitações energéticas, os veículos elétricos do final do século XX ainda operavam praticamente sem os sistemas eletrônicos avançados presentes nos EVs modernos. Sendo assim, projetos como o Itaipu dependiam de soluções eletromecânicas relativamente simples, com pouca capacidade de monitoramento dinâmico, controle térmico e gerenciamento energético, como é possível visualizar na imagem abaixo.

Além de especificações técnicas que não atendiam padrões de mercado, até mesmo para a época, o preço que um E150 chegaria ao público comparava-se ao de veículos a combustão interna populares de seu tempo, portanto tratava-se de um projeto inviável que não chegou ao mercado (Pinho, 2018).

Figura 21 - pack de baterias chumbo-ácido do E150



Fonte: OriginalPapaya8 no Reddit (2024)

Posteriormente, a Gurgel desenvolveu outras variantes eletrificadas, como os modelos Itaipu E400 e E500, voltados principalmente para aplicações utilitárias. O Itaipu E400, que pode ser visualizado na figura 22 a seguir, utilizava motor elétrico de aproximadamente 11 CV, massa total próxima de 1470 kg, velocidade máxima em torno de 45 km/h e autonomia estimada entre 80 e 100 km. Apesar das tentativas de expansão da linha eletrificada, os modelos ainda enfrentavam severas limitações técnicas relacionadas principalmente ao elevado peso das baterias chumbo-ácido, pouca autonomia, baixa velocidade final e longos períodos de recarga, fatores que dificultavam sua viabilidade comercial em larga escala (Terra, 2017; Noce, 2010).

Figura 22 - Itaipu E400



Fonte: Schaun (2021)

Mesmo sem alcançar sucesso comercial expressivo, os projetos da Gurgel representam um marco importante da engenharia automotiva brasileira e demonstram que discussões relacionadas à mobilidade elétrica, eficiência energética e redução de emissões de poluentes, tema que será abordado na seção a seguir, já estavam presentes no Brasil muito antes da atual consolidação global dos veículos eletrificados. Dessa forma, iniciativas como o Itaipu anteciparam, ainda que de forma tecnologicamente limitada, conceitos que décadas depois seriam viabilizados pelos avanços da Engenharia Automotiva (Noce, 2009; Terra, 2017)

3.5. O MEIO AMBIENTE COMO FATOR IMPORTANTE NA MOBILIDADE ELÉTRICA

Somente após a década de 1960, quando a opinião pública começou a se voltar para os problemas ambientais, os automóveis elétricos voltaram a atrair a atenção das grandes montadoras. Naquela época, o chumbo ainda era utilizado como aditivo para a gasolina, não havia filtros nem catalisadores para conter as emissões e o automóvel era considerado uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades. (BARAN E LEGGEY, 2011, p. 10)

Enquanto os anos de 1880 a 1900 representaram a “era de ouro” para a mobilidade elétrica, com vastas inovações em tecnologias e conceitos, o período entre 1920 e 1960 poderiam ser consideradas a “era de papelão” para os VEs, em geral, era em que eles foram largamente superados pelos veículos à combustão interna. Embora os veículos alimentados por gasolina também tivessem problemas, estes foram resolvidos com muito mais rapidez, diferentemente dos VEs que se estagnaram na tecnologia de meados de 1900, majoritariamente pelos problemas de armazenamento de energia em suas baterias (Baran, 2012). De acordo com Cowan e Hultén (1996, *apud* Baran, 2012) somente no ano de 1924 foram produzidos aproximadamente 380 automóveis elétricos, em contrapartida, aqueles movidos por gasolina ultrapassaram 3,1 milhões fabricados, um fato que consagrava a o MCI por alguns detalhes:

- Os VEs entregavam uma autonomia muito menor que os automóveis à combustão, o que era crucial para as viagens que estavam cada vez mais longas;
- Os MCIs entregavam torque e potência suficientes para subir as ladeiras mais íngremes, as quais os elétricos não eram capazes de subir;
- Os veículos à gasolina conseguiam atingir velocidades maiores, o que também era importante para viagens mais longas, já que as estradas norte-americanas estavam se expandindo.

Embora os veículos à combustão interna estivessem, então, se consagrando perante os elétricos por diversos fatores, o início da segunda metade do século

XX traz dois marcos que mudariam o rumo dos VEs: as campanhas ativistas contra a poluição de MCIs (Johnson, 2023) e o surgimento da mecatrônica, área que mais tarde viria a se tornar essencial para o retorno e avanço tecnológico dos veículos elétricos (Pereira, 2023).

Na década de 1950 a população dos Estados Unidos, em especial o Oeste Norte Americano, começou a sentir os impactos ambientais dos MCIs. Os veículos populares não tinham catalisadores nem filtros de escape, culminando no lançamento de gases tóxicos, provenientes da combustão, diretamente na atmosfera das metrópoles, o que impactou profundamente não só a qualidade de vida individual, mas a qualidade da atmosfera dessas grandes cidades. (Johnson 2023).

Em 30 de novembro de 1965, o advogado Ralph Nader publicou "*Unsafe at Any Speed: The Designed-In Dangers of the American Automobile*" (*Inseguro em Qualquer Velocidade: Os Perigos Designados do Automóvel Americano*), um livro no qual criticava a indústria automobilística por fabricar veículos inseguros que colocavam em risco o público e poluíam o ar do país. (University Of Michigan, [s.d.], p. 1).

A palavra mais utilizada em território estadunidense que fazia referência à poluição atmosférica era a gíria "*smog*", uma junção das palavras inglesas "*smoke*" e "*fog*", que significam "fumaça" e "nevoeiro" respectivamente. A primeira utilização desta palavra é atribuída ao Dr. Henry Antoine Des Voeux em um artigo de 1905 (University Of Michigan, [s.d.]).

Originalmente, *smog* fazia referência à poluição do ar resultante das emissões da combustão de carvão, em condições que os poluentes não conseguiam se dispersar na atmosfera. O *smog* proveniente da queima de carvão foi problemático em regiões industrializadas durante as décadas de 1940 e 1950, sendo o mais famoso dos casos em Londres, que sofreu um evento catastrófico de *smog* em 1952, durante o qual ocorreram 4.000 mortes. Já nos EUA, o relato de *smog* mais notável, apelidado de "Donora Smog" ocorreu em 1948, na pequena cidade de Donora, Pensilvânia, causando problemas de saúde a milhares de pessoas e a morte de vinte civis (Boissoneault, 2018). Na figura 23, abaixo, é possível

visualizar o chamado Efeito Tyndall nas ruas de Donora, proveniente das luzes dos postes de iluminação atingindo a poluição presente.

Figura 23 - Smog de Donora, que perdurou por cinco dias, registrado durante madrugada



Fonte: Boissoneault (2018)

Embora a mesma palavra, "*smog*", seja usada para descrever o tipo de poluição atmosférica pela qual Los Angeles é conhecida, a formação, a composição e os efeitos do *smog* urbano moderno são bastante diferentes dos episódios anteriores de poluição atmosférica ocorridos em Londres, Nova York e muitas outras cidades antes da década de 1940. Ao contrário da neblina apresentada anteriormente, derivado do carvão, a poluição de Los Angeles foi observada principalmente durante os meses de verão, mas apenas durante o dia. O *smog* de Los Angeles também era caracterizado por irritação ocular grave (incluindo efeitos lacrimogêneos) seu odor forte (que foi comparado ao de água sanitária) e seus efeitos destrutivos em materiais de borracha.

Ainda segundo relatos de Johnson (2023). Nicholas Petris, eleito para o senado do estado da Califórnia – Estados Unidos – anunciava, em 1967, medidas contra os motores à combustão interna após a apresentação de provas, por parte de cientistas que estudavam o denominado "smog" e atribuíram, como causador, os motores a combustão interna, o que levou Petris a medidas consideradas extremas que, até os dias atuais, refletem no país inteiro.

Na figura 24 abaixo, é possível notar uma neblina de poluição formada sobre Los Angeles – Estados Unidos – ficando sensivelmente mais nítida conforme distanciamento do observatório.

Figura 24 - Neblina de poluição denominada de Smog, em Los Angeles, vista do Observatório Griffith



Fonte: Johnson (2023)

Poucos anos após, os veículos a combustão interna encontraram outro grande problema, a crise do petróleo. Além das fortes críticas, principalmente devido aos níveis de poluição gerados, os veículos que até então protagonizaram massivamente o mercado global, encontraram um novo desafio, a “Crise do Petróleo” de 1973 (Matulka, 2014). No início da década de 1970, os Estados Unidos da América, assim como muitos outros países no mundo - incluindo o Brasil - sofreram economicamente com a denominada Crise do Petróleo, acentuada pelo embargo do petróleo Árabe, que impactou drasticamente o mercado automotivo, dentre outros, levando os governos mundiais a buscarem alternativas em outras energias, fosse com foco em combustíveis para mobilidade ou outros consumos.

Nas cidades, postos estavam sem combustível, racionamento priorizava serviços essenciais e os valores haviam se multiplicado, como é representado pela figura 25.

Figura 25 - Posto de combustível norte-americano fechado por falta de combustíveis



Fonte: Falconer (1973)

A preocupação com a crise energética, que se agravou nos próximos anos, levou o governo norte americano a aprovar, em 1976, uma lei que orientava o Departamento de Energia a apoiar o desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos, já que estes, além de despachar ativistas e órgãos contrários a poluição dos ICEs, eram a contramedida mais viável para a crise de combustíveis fósseis, como a Gasolina e o Diesel (Dias; Ferreira, 2022; Matulka, 2014). Embora, no ocidente, os veículos elétricos estivessem se tornando o alvo da pesquisa e desenvolvimento tecnológico no campo da mobilidade urbana, os avanços que aproximaram os VEs de se tornarem alternativas viáveis e competitivas perante os veículos convencionais só foram possíveis por uma área de pesquisa tecnologia desenvolvida no oriente, a Mecatrônica.

3.6. A MECATRÔNICA COMO FATOR IMPORTANTE NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E NA EVOLUÇÃO DA MOBILIDADE URBANA

Segundo a equipe de redação do CIMM (2007), a história desse conceito tem raízes na década de 1950, quando a japonesa Yaskawa, atualmente uma das líderes mundiais do mercado de automação e robótica, fornecia equipamentos

elétricos para a mineração. O time de engenharia, que tinha problemas com motores elétricos de grande inércia, questionou se o que era realizado anteriormente com servomotores hidráulicos, com maior precisão e muito menos inércia, poderia ser realizado por mecanismos elétricos. O período de pesquisa e desenvolvimento levou ao Servomotor chamado *Minertia*, nome baseado na expressão em inglês *Minimum Inertia*. Segundo a própria Yaskawa (2025), esse componente, lançado em 1958, chegava a ser cem vezes mais preciso em partida e parada (início e fim de movimento, respectivamente) do que os motores convencionais, devido a sua construção física, o que possibilitou melhor manipulação de conjuntos eletromecânicos - compostos por motor elétrico, máquina mecânica e controle eletrônico. Esse foi o alicerce para o conceito da Mecatrônica, termo oficializado por Tetsuro Mori em 1969, que englobava todos os conceitos envolvidos na Automação Industrial. É possível visualizar o Minertia na figura 26, abaixo, exposto no Museu da Yaskawa.

Figura 26 - Motor Minertia



Fonte: Yaskawa Electric Corporation (2003)

Segundo Almeida (1999), nas décadas de 1950 e 1960, a indústria estava se expandindo, com volumes de produção cada vez maiores e, conseqüentemente, com uma necessidade igualmente maior de automação industrial. Entre as décadas de 1960 e 1970, os impactos da crescente automação foram percebidos pela necessidade de controle da produção, mais evidente nas indústrias de processos e manufatura, o que levou a criação de normas internacionais de comunicação entre dispositivos, como a IEC 381-1, de 1971.

Esse controle tratava somente da primeira e da segunda camada da Pirâmide da Automação, respectivamente o Nível de Campo e o Nível de Controle, porém os pátios fabris enfrentavam o problema de Hardware de Infraestrutura Física, devido ao aumento massivo de cabeamentos que a supervisão e controle da produção demandava. Nesse âmbito, surgiriam as Redes Industriais e seu ponto de partida, foi o sistema TDC 2000, da Honeywell (Almeida, 1999). É possível visualizar, não somente os níveis de Campo e de Controle, mas toda a Pirâmide da Automação na figura 27, apresentada abaixo.

Figura 27 - Pirâmide da Automação industrial



Fonte: Dutra (2019)

O Sistema de comunicação *Total Distributed Control* 2000, da Honeywell, caracterizou-se como o marco para as redes industriais, por iniciar o processo de descentralização da informação que ocorria entre a segunda e a terceira camada da Pirâmide da Automação, diminuindo volume e custos de hardware nas plantas produtivas, além de aumentar a confiabilidade e flexibilidade da manufatura (Honeywell, 2025). Ainda segundo Almeida (1999), conforme a Mecatrônica aperfeiçoou Circuitos Integrados, Microcontroladores e Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), as redes industriais evoluíam cada vez mais e, ao decorrer dos próximos anos, redes como a Modbus, LAN (*Local Area Network*) e Profibus passaram a fazer parte das indústrias em grande parte do mundo. Outro protocolo de comunicação que emergiu desse mesmo contexto de evolução tecnológica,

impulsionado pela Mecatrônica, foi o Controller Area Network (CAN), ou rede CAN, aplicado ao setor automotivo.

Desenvolvido na década de 1980 pela empresa Robert Bosch GmbH e apresentado em 1986 no congresso da SAE em Detroit, o protocolo surgiu para atender às exigências crescentes de comunicação entre unidades eletrônicas embarcadas, em um cenário no qual a quantidade de sinais e interligações eletroeletrônicas nos veículos aumentava de forma significativa. Embora a redução do chicote elétrico não tenha sido o objetivo inicial do desenvolvimento, este tornou-se um de seus principais benefícios, especialmente pela substituição de múltiplas ligações ponto a ponto por uma arquitetura em barramento (CiA, 2025). Do ponto de vista técnico, o CAN é definido como um protocolo de comunicação serial (bit a bit) orientado a mensagens, capaz de suportar controle distribuído em tempo real, sendo amplamente aplicado em veículos rodoviários e sistemas embarcados (ISO, 2015). Sua arquitetura multi-master, com transmissão em broadcast e arbitragem baseada em prioridade de mensagens, permite que múltiplos dispositivos compartilhem o mesmo meio físico de comunicação sem a necessidade de um controlador central, característica que contribui diretamente para sua robustez e confiabilidade. Ainda segundo a Texas Instruments (2016), além disso, a utilização de um barramento diferencial de dois fios confere maior imunidade a interferências eletromagnéticas, fator essencial no ambiente automotivo.

Nesse contexto, a Mecatrônica mantém papel central, uma vez que a integração entre sistemas eletrônicos, computacionais e mecânicos é justamente o que possibilita o funcionamento coordenado de sensores, atuadores e unidades de controle eletrônico. Assim como observado nas redes industriais, a evolução dos sistemas embarcados automotivos e de seus protocolos de comunicação está diretamente associada ao avanço dos microcontroladores, circuitos integrados e arquiteturas de controle distribuído, consolidando o CAN como uma das principais soluções dessa transição tecnológica. Para explicar mais sobre essa consolidação, a seção a seguir aprofundará sobre os conceitos, definições técnicas e história do protocolo CAN.

3.7. MECATRÔNICA AUTOMOTIVA E COMUNICAÇÃO (CAN)

A emergência da mecatrônica automotiva europeia distingue-se por conferir papel central à comunicação distribuída. Diferentemente da mecatrônica industrial de tradição japonesa, mais orientada à integração local, a mecatrônica automotiva passa a estruturar-se em torno de redes embarcadas capazes de coordenar sistemas fisicamente dispersos no veículo.

3.7.1 SURGIMENTO DE UMA MECATRÔNICA AUTOMOTIVA E A COMUNICAÇÃO CAN

A consolidação da mecatrônica automotiva como domínio técnico e científico ocorre a partir de um processo histórico de crescente complexidade dos sistemas veiculares, no qual a introdução progressiva de sensores, atuadores e unidades eletrônicas de controle impôs novos desafios de integração, confiabilidade e escalabilidade. Diferentemente das primeiras aplicações eletrônicas pontuais, limitadas a funções isoladas, o automóvel da década de 1980 passa a ser configurado como um sistema distribuído, cuja operação depende da coordenação eficiente entre múltiplos subsistemas interdependentes (Kiencke *et. al.*, 1986).

Nesse contexto, a comunicação digital embarcada deixa de ocupar posição periférica e passa a desempenhar papel estrutural. A publicação do artigo '*Automotive Serial Controller Area Network (CAN)*' no *SAE International Congress* de 1986 marca um ponto de inflexão nesse processo ao propor uma rede de comunicação especificamente concebida para atender aos requisitos do ambiente automotivo (Kiencke *et. al.*, 1986). A rede CAN surge, assim, como elemento central da mecatrônica automotiva europeia, viabilizando a integração sistêmica entre componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais.

É possível ver, abaixo, a capa do artigo '*Automotive Serial Controller Area Network*', de 1986.

Figura 28 - Artigo 860391 do congresso SAE de 1986



Fonte: Kiencke *et. al.* (1986) tratada por técnica de *upscale* com uso de Inteligência Artificial.

3.7.2 CONCEITOS PRINCIPAIS APRESENTADOS NO ARTIGO

O artigo SAE 860391, de Kiencke, Dais e Litschel (1986) sistematiza um conjunto de conceitos fundamentais que distinguem o CAN de soluções de comunicação previamente existentes. Entre esses conceitos destacam-se a comunicação orientada a mensagens, a utilização de identificadores funcionais associados à prioridade das informações transmitidas, a arbitragem determinística não destrutiva de acesso ao meio e a ausência de endereçamento físico explícito entre nós. Esses princípios permitem que o

significado da informação seja dissociado da topologia física da rede, favorecendo arquiteturas distribuídas e flexíveis.

Adicionalmente, o artigo introduz mecanismos sofisticados de detecção e confinamento de falhas, garantindo que erros locais não se propaguem comprometendo o funcionamento global do sistema. Tal abordagem representa uma mudança de paradigma ao tratar a confiabilidade como propriedade emergente da arquitetura de comunicação, e não como atributo exclusivo de componentes individuais. Apresenta-se a seguir a Tabela 1 elencando os principais conceitos tratados no artigo SAE 860391 (Kiencke *et. al.*, 1986).

Tabela 1 - Conceitos principais apresentados no artigo 860391

Conceito	Descrição no artigo	Situação em 1986
Comunicação orientada a mensagem	Significado codificado no identificador	Inédito em redes industriais
Arbitragem não destrutiva	Wired-AND por bits dominantes	Rompe com CSMA/CD
Priorização por conteúdo	Identificador = prioridade	Extremamente inovador
Tempo real determinístico	Latência garantida	Raro fora de sistemas militares
Acceptance filtering	Multicast lógico via hardware	Muito à frente do seu tempo
Error confinement	Isolamento automático de nós	Inédito em barramentos seriais
Fail-safe sem redundância física	Sem segundo barramento	Essencial para custo automotivo

Fonte: elaborado pelo autor (2026)

3.7.3 CONTEXTO HISTÓRICO E INDUSTRIAL DA PUBLICAÇÃO

A publicação do artigo sobre CAN em 1986 ocorre em um contexto industrial caracterizado pela intensificação das exigências regulatórias relacionadas a emissões atmosféricas, consumo energético e segurança

veicular. Funções como injeção eletrônica de combustível, controle de ignição e sistemas antibloqueio de freios passaram a demandar estratégias de controle mais precisas e integradas, baseadas em sensores distribuídos (Watson *et. al.*, 1988; Haščič *et al.*, 2009).

As arquiteturas elétricas predominantes até então, baseadas em chicotes extensos e interligações ponto a ponto, tornaram-se rapidamente inviáveis. O aumento do número de condutores elevava o peso do veículo, reduzia a confiabilidade e dificultava a expansão funcional. Nesse cenário, a indústria automotiva europeia, em especial a Bosch, buscou soluções arquiteturais que permitissem a transição para sistemas distribuídos sem comprometer custo e robustez. No contexto da década de 1980, o CAN representou um avanço tecnológico decisivo ao permitir a cooperação entre múltiplos módulos eletrônicos embarcados nos veículos sem a necessidade de um controlador central dominante. Essa característica viabilizou a expansão incremental de funções veiculares e estabeleceu as bases para a integração funcional necessária a sistemas de segurança ativa e gerenciamento de energia.

3.7.4 ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DA REDE CAN NO BARRAMENTO

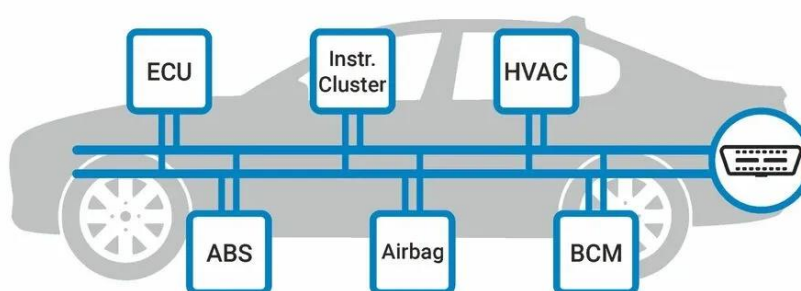
Conforme apresentado anteriormente, a rede CAN foi concebida para permitir a comunicação eficiente entre múltiplos módulos eletrônicos utilizando uma infraestrutura física reduzida e elevada confiabilidade operacional. Entretanto, para compreender como essa comunicação ocorre na prática, é necessário analisar não apenas os conceitos fundamentais do protocolo, mas também sua estrutura física e lógica de funcionamento (Kiencke *et. al.*, 1986; CAN In Automation, s.d.).

A arquitetura da rede CAN é baseada em um barramento compartilhado, no qual diferentes unidades eletrônicas de controle, denominadas Electronic Control Units (ECUs), utilizam o mesmo meio físico para transmitir e receber informações. Diferentemente dos sistemas convencionais de comunicação ponto a ponto, nos quais cada dispositivo necessita de conexões dedicadas, a rede CAN permite que diversos módulos compartilhem simultaneamente a

mesma infraestrutura de comunicação, reduzindo significativamente a complexidade do cabeamento veicular (Kiencke *et. al.*, 1986).

A Figura 29 apresenta uma representação simplificada dessa arquitetura, evidenciando a interligação de diferentes módulos eletrônicos através de um barramento comum. Nessa configuração, cada ECU monitora continuamente o tráfego de mensagens presente na rede e processa apenas as informações relevantes para sua aplicação específica.

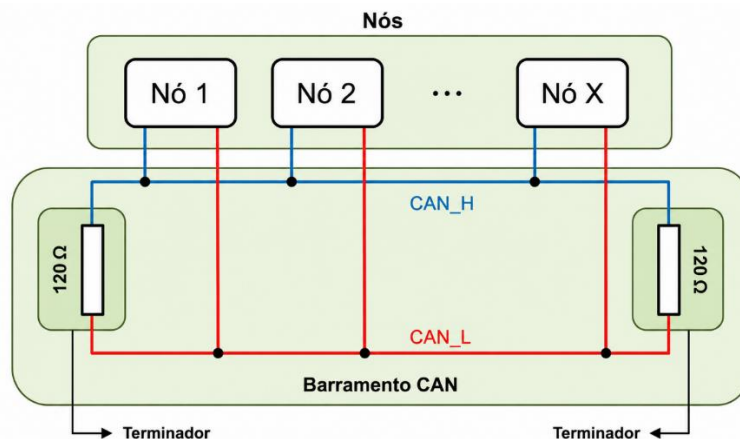
Figura 29 - Barramento CAN interligando unidades de controle automotivas



Fonte: Kalatec Automação (2023)

Do ponto de vista físico, a comunicação ocorre por meio de dois condutores denominados CAN High (CAN H) e CAN Low (CAN L), ilustrados na Figura 30. Esses condutores formam um par diferencial responsável pela transmissão dos sinais elétricos que representam as informações trafegadas na rede (ISO 11898-2, 2016).

Figura 30 - conexão de Nós, que podem ser módulos automotivos de controle, via barramento CAN



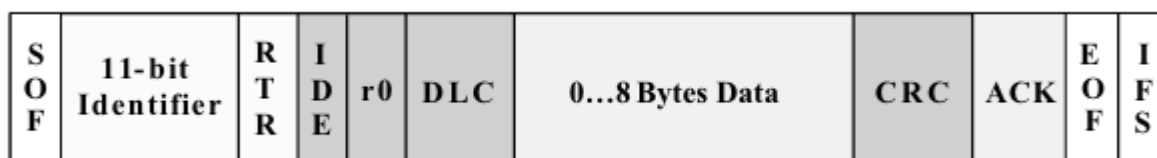
Fonte: Stevan Júnior (2016) tratada por técnica de *upscale* com uso de Inteligência Artificial.

Ainda segundo os editores da CAN In Automation (s.d.), a utilização de transmissão diferencial constitui uma das principais características responsáveis pela robustez da rede CAN. Em condições normais de operação, conhecidas como estado recessivo, ambas as linhas permanecem próximas de 2,5 V. Quando um nó transmite um bit dominante, ocorre uma variação complementar nas tensões do barramento, elevando o potencial da linha CAN H para aproximadamente 3,5 V e reduzindo o potencial da linha CAN L para aproximadamente 1,5 V. Dessa forma, a informação não é determinada pelo valor absoluto de tensão de cada condutor, mas pela diferença de potencial existente entre eles, característica que aumenta significativamente a imunidade do sistema a interferências eletromagnéticas presentes no ambiente automotivo (ISO 11898-2, 2016).

Além da robustez elétrica, a rede CAN apresenta um mecanismo eficiente de compartilhamento do meio físico. Como todos os módulos utilizam o mesmo barramento, podem ocorrer situações nas quais mais de uma ECU tente transmitir informações simultaneamente. Para resolver esse cenário, o protocolo emprega um processo denominado arbitragem não destrutiva, no qual a prioridade das mensagens é definida pelo identificador presente em cada quadro de comunicação (Kiencke *et. al.*, 1986).

Conforme estabelecido pela própria ISO 11898-1 (2024) estrutura básica desses quadros pode ser observada na Figura 31, que apresenta uma trama CAN padrão com identificador de 11 bits.

Figura 31 - Trama de dados da rede CAN



Fonte: Corrigan (2016)

De acordo com Kiencke *et. al.*, (1986), durante o processo de arbitragem, cada módulo compara continuamente o bit transmitido com o estado efetivamente observado no barramento. Como os bits dominantes possuem prioridade sobre os recessivos, a mensagem associada ao identificador de menor valor binário permanece em transmissão, enquanto os demais módulos

interrompem temporariamente seu envio e aguardam uma nova oportunidade de acesso ao meio. Esse mecanismo permite que mensagens críticas, relacionadas por exemplo ao gerenciamento do powertrain, sistemas de segurança ou controle dinâmico do veículo, tenham prioridade natural sobre informações menos sensíveis ao tempo.

A trama CAN também incorpora diversos campos destinados à sincronização, controle e verificação da integridade dos dados transmitidos. Entre eles destacam-se o Start of Frame (SOF), responsável por indicar o início da comunicação; o campo de identificação, utilizado para determinar a prioridade da mensagem; o Data Length Code (DLC), que informa a quantidade de dados transmitidos; o campo de dados propriamente dito; o Cyclic Redundancy Check (CRC), utilizado para detecção de erros; o Acknowledge (ACK), que confirma o recebimento da mensagem pelos demais nós; e o End of Frame (EOF), responsável por sinalizar o encerramento da transmissão (ISO 11898-1, 2016).

Complementando esses mecanismos, a rede CAN possui recursos avançados de detecção e confinamento de falhas. Caso uma inconsistência seja identificada durante a transmissão, os próprios controladores da rede são capazes de detectar o erro, sinalizar sua ocorrência e solicitar automaticamente a retransmissão da mensagem comprometida. Além disso, nós que apresentem comportamento inadequado de forma recorrente podem ser progressivamente isolados do barramento, reduzindo a propagação de falhas e preservando a operação dos demais sistemas eletrônicos do veículo (Kiencke *et. al.*, 1986; CAN In Automation, s.d.).

Dessa forma, a combinação entre transmissão diferencial, arbitragem não destrutiva, priorização por identificadores e mecanismos de tolerância a falhas tornou a rede CAN uma das soluções de comunicação mais robustas e amplamente empregadas na indústria automotiva. Essas características permitiram a integração eficiente de dezenas de módulos eletrônicos em uma mesma arquitetura veicular e constituem a base tecnológica dos sistemas embarcados estudados neste trabalho. No capítulo seguinte, tais conceitos serão observados em uma aplicação prática por meio da análise da comunicação presente em um sistema híbrido leve equipado com tecnologia iBSG e instrumentado para aquisição de dados via rede CAN.

3.7.5 MAPA BIOGRÁFICO DOS ENVOLVIDOS NA PUBLICAÇÃO DO ARTIGO SAE 860391 (CAN, 1986)

Os autores do artigo SAE 860391 apresentam trajetórias profissionais complementares, articulando formação acadêmica sólida e atuação direta na indústria. Uwe Kiencke possuía forte base em sistemas de controle e engenharia automotiva, Siegfried Dais estava associado à implementação de sistemas eletrônicos embarcados e Martin Litschel destacava-se no desenvolvimento de protocolos de comunicação e técnicas de confiabilidade. Essa diversidade explica o caráter híbrido do CAN, simultaneamente rigoroso do ponto de vista teórico e plenamente aplicável em escala industrial. O reconhecimento explícito de colaboradores citados nos agradecimentos (*Acknowledgement*) no artigo evidencia que o CAN é fruto de um esforço coletivo e institucionalizado. Destaca-se a influência de Wolfgang Borst e do Prof. Dr. Horst Wettstein, cujos trabalhos prévios em sistemas distribuídos, arquiteturas de computação e tolerância a falhas moldaram o horizonte conceitual no qual o CAN foi concebido.

Embora o reconhecimento formal do CAN tenha se intensificado após sua padronização internacional, diversos trabalhos contemporâneos dialogam conceitualmente com a proposta apresentada em 1986. Pesquisas desenvolvidas no âmbito da *GI-NTG* (refere-se a conferências conjuntas da *Gesellschaft für Informatik - GI* e da *Nachrichtentechnische Gesellschaft - NTG*, associações alemãs de informática e engenharia de telecomunicações, respectivamente) e posteriormente consolidadas na série *Architecture of Computing Systems (ARCS)* abordam problemas análogos de comunicação, sincronização e confiabilidade em sistemas distribuídos, estabelecendo um campo conceitual comum.

Conclui-se que o CAN não é meramente um protocolo de comunicação, mas um elemento estruturante da mecatrônica automotiva moderna. Sua gênese e evolução refletem a convergência entre demandas industriais concretas e um programa científico consolidado, cujo impacto se estende até as arquiteturas veiculares contemporâneas.

3.8 TECNOLOGIAS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO FINAL DO SÉCULO XX E INÍCIO DO SÉCULO XXI

Com o avanço das tecnologias – sejam elas específicas para o setor automotivo ou provenientes dos amplos campos da mecatrônica e eletrônica – e a crescente preocupação com o meio ambiente, o desenvolvimento de veículos elétricos tornou-se não mais uma questão de lucro ou de vantagens sobre os veículos à combustão interna, mas sim uma questão de qualidade de vida, principalmente nos grandes centros urbanos (Noce, 2009).

Ainda assim se faz necessária a evolução de tecnologias que desempenham papel crucial na evolução dos veículos elétricos.

3.8.1 A EVOLUÇÃO DAS BATERIAS AUTOMOTIVAS

Antes de analisar a evolução das diferentes tecnologias de baterias utilizadas em veículos elétricos e híbridos, é importante compreender o conceito de densidade energética, parâmetro frequentemente utilizado para avaliar sistemas de armazenamento de energia. Segundo Linden e Reddy (2002), de forma geral, a densidade energética corresponde à quantidade de energia que pode ser armazenada em uma determinada massa ou volume de material, sendo normalmente expressa em Wh/kg (Watt Hora por Quilograma) ou Wh/L (Watt Hora por Litro). Em aplicações automotivas, essa grandeza possui papel fundamental, pois influencia diretamente características como autonomia, massa total do veículo, aproveitamento do espaço interno e eficiência energética do sistema de tração.

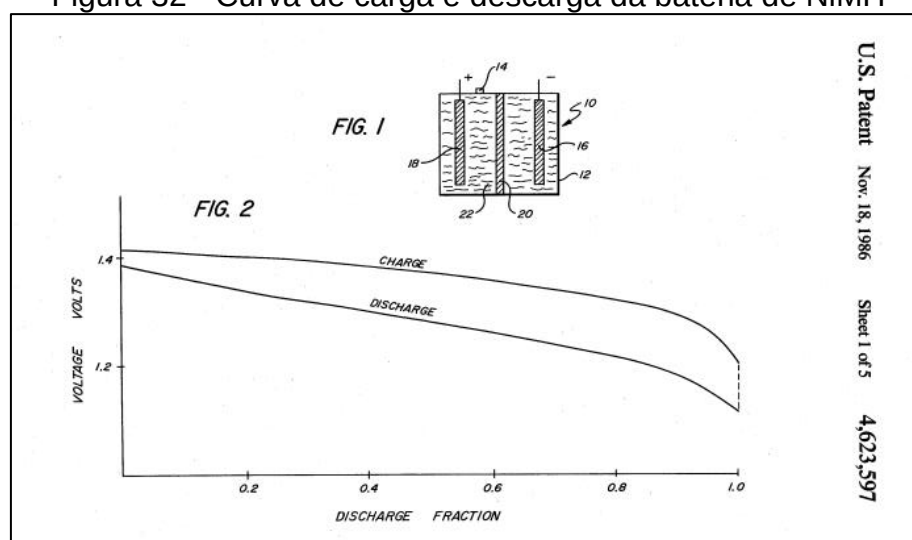
No contexto da mobilidade elétrica, a densidade energética tornou-se um dos principais indicadores de desempenho das baterias, uma vez que tecnologias capazes de armazenar maiores quantidades de energia em menores massas tendem a proporcionar veículos mais leves e com maior autonomia. Por esse motivo, grande parte da evolução observada nas baterias automotivas ao longo das últimas décadas esteve associada ao aumento gradual dessa característica, permitindo a transição de sistemas de armazenamento mais limitados, como as baterias de chumbo-ácido, para tecnologias mais avançadas, como as baterias de níquel-hidreto metálico e

íons de lítio, amplamente empregadas nos veículos eletrificados contemporâneos (Tarascon; Armand, 2001).

Segundo Noga e Juda (2019), a evolução das baterias automotivas esteve diretamente associada ao avanço dos veículos elétricos e híbridos, uma vez que o desempenho geral destes depende da capacidade de armazenamento, da massa do conjunto e da estabilidade operacional da bateria empregada. Nesse contexto, as baterias de chumbo-ácido constituíram, ao decorrer de muitas décadas, a base de diversas aplicações automotivas, sobretudo pela ampla disponibilidade, baixo custo e simplicidade construtiva. Porém, apesar de sua relevância histórica, essa tecnologia apresenta limitações evidentes, especialmente em relação à baixa densidade energética e ao número reduzido de ciclos de vida, o que restringe sua aplicação em veículos de maior exigência elétrica e dinâmica. Segundo Liu, Li e Li (2018), em uma revisão comparativa de tecnologias para veículos elétricos, essas baterias aparecem com tensão nominal de cerca de 2,0 V por célula, densidade energética na faixa de 30 a 50 Wh/kg e ciclo de vida típico entre 200 e 400 ciclos.

Embora as baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) fossem objeto de pesquisa desde o final dos anos 1960, segundo indícios, a patente deste tipo de acumulador foi solicitada em 1984 e aprovada em 1986, carregando como nome principal Stanford R. Ovshinsky, responsável pela invenção. A mesma pode ser vista nas figuras 32 e 33 abaixo.

Figura 32 - Curva de carga e descarga da bateria de NiMH



Fonte: Ovshinsky (1986)

Enquanto a imagem 32 é mais ilustrativa e apresenta a componente técnica da patente de Ovshinsky, a imagem 33 apresenta o registro oficial e o *Abstract* do projeto.

Figura 33 - Capa de rosto da patente 4623597 de Ovshinsky

United States Patent [19]		[11] Patent Number: 4,623,597
Sapru et al.		[45] Date of Patent: * Nov. 18, 1986
[54] RECHARGEABLE BATTERY AND ELECTRODE USED THEREIN	[56] References Cited	
	U.S. PATENT DOCUMENTS	
[75] Inventors: Krishna Sapru, Troy; Benjamin Reichman; Arie Reger, both of Birmingham; Stanford R. Ovshinsky, Bloomfield Hills, all of Mich.	3,669,745 6/1972 Beccu 429/218	
	3,824,131 7/1974 Beccu 429/223	
	3,874,928 4/1981 Will 429/57	
	3,980,501 9/1976 Feder et al. 429/218	
	4,107,405 8/1978 Buegen et al. 429/218	
	4,216,274 8/1980 Bruning et al. 429/101	
	4,430,391 2/1984 Ovshinsky et al. 429/40	
	4,431,561 2/1984 Ovshinsky et al. 429/900	
	4,487,818 12/1984 Ovshinsky et al. 429/44	
[73] Assignee: Energy Conversion Devices, Inc., Troy, Mich.	Primary Examiner —Donald L. Walton	
[*] Notice: The portion of the term of this patent subsequent to Dec. 11, 2000 has been disclaimed.	Attorney, Agent, or Firm —James D. Ryndak; Lawrence G. Norris; Richard M. Goldman	
[21] Appl. No.: 801,545	[57] ABSTRACT	
[22] Filed: Nov. 25, 1985	An improved battery utilizing a hydrogen rechargeable anode of a disordered non-equilibrium multicomponent material including one or more elements forming a host matrix and at least one modifier element incorporated therein. The anode is capable of electrochemically absorbing hydrogen from an electrolyte during application of a charging current thereto. The hydrogen is stored in the anode bulk until discharge is initiated, whereupon an electrical current is produced when the hydrogen is released. The superior battery of the invention has attained high density energy storage, efficient reversibility, high electrical efficiency, bulk hydrogen storage without structural change or poisoning and hence long cycle life and deep discharge capability.	
Related U.S. Application Data		
[63] Continuation of Ser. No. 614,273, May 25, 1984, abandoned, which is a continuation of Ser. No. 372,693, Apr. 28, 1982, abandoned.		
[51] Int. Cl. H01M 4/02; H01M 10/36		
[52] U.S. Cl. 429/101; 429/209; 429/218; 429/223; 429/900		
[58] Field of Search 429/209, 218, 101, 57, 429/40, 223; 429/900		
	32 Claims, 6 Drawing Figures	

Fonte: Ovshinsky (1986)

Com o forte crescimento dos veículos eletrificados, as baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) passaram a ocupar posição de destaque por oferecerem desempenho superior ao das baterias de chumbo-ácido. Na comparação apresentada pela revisão da *University of Sheffield*, a tecnologia NiMH opera

com tensão nominal aproximada de 1,2 V por célula, densidade energética entre 60 e 120 Wh/kg e ciclo de vida na faixa de 300 a 500 ciclos, além de apresentar melhor adaptação a aplicações com sucessivas cargas e descargas, como ocorre em sistemas híbridos com frenagem regenerativa – tecnologia que já estava em desenvolvimento (Liu; Li; Li, 2018).

A literatura também destaca que as baterias de NiMH se consolidaram como solução relevante na transição entre os sistemas convencionais e as arquiteturas eletrificadas mais avançadas. É possível ver um exemplar dessa bateria na imagem abaixo.

Figura 34 - Bateria de NiMH automotiva



Fonte: NeoCharge (2025)

A introdução das baterias de íons de lítio (Li-ion), do meio para o final dos anos 1990, representou um salto ainda mais expressivo nessa evolução. Em comparação com as tecnologias anteriores, a Li-ion apresenta tensão nominal mais elevada, em torno de 3,2 a 3,7 V por célula, densidade energética significativamente maior, entre 100 e 265 Wh/kg, e ciclo de vida que pode variar de 600 a 3000 ciclos, dependendo da química utilizada e das condições de operação. A revisão comparativa consultada também aponta maior eficiência de carga e menor taxa de autodescarga em relação às baterias de chumbo-ácido e NiMH, o que explica sua ampla adoção em veículos elétricos e híbridos modernos. No entanto, o próprio ganho de desempenho energético elevou a complexidade do sistema, tornando a bateria mais sensível ao

regime de carregamento, à temperatura e às condições de uso. A seguir, a figura 35 apresenta um pack de baterias de Li-ion de tecnologia atual.

Figura 35 - Pack de baterias de Li-ion



Fonte: Pimenta (2021)

Abaixo, a tabela 2 apresenta um comparativo mais nítido das baterias citadas. Embora os valores sejam levemente divergentes dos apresentados anteriormente, variações que surgem de literatura para literatura, os dados servem como referência para compreensão da diferença entre os objetos deste capítulo.

Tabela 2 - Comparação de baterias automotivas

	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico NiMH	Chumbo-ácido
Densidade energética (Wh / kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40
Densidade de potência (W / kg)	1.000 - 5.000	300 - 1.000	180
Ciclo de vida	500 - 15.000	500 - 1.000	500 - 800
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	~30% / mês	3 - 20% / mês
Tolerância a sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses
Tempo de carga rápida	1 hora ou menos	2 - 4 horas	8 - 16 horas

Fonte: NeoCharge (2025)

Esse avanço tecnológico não significou apenas maior autonomia, mas também a necessidade de um controle muito mais rigoroso sobre o comportamento eletroquímico e físico do conjunto. O time do *National Renewable Energy Laboratory* destaca que baterias de tração para veículos eletrificados precisam ser tolerantes a condições abusivas, como sobrecarga, curto-circuito, esmagamento, exposição ao fogo, descarga excessiva e vibração mecânica, e que respostas seguras devem ser previstas já no nível do sistema. O mesmo relatório reforça que a segurança das baterias de Li-ion é um dos objetivos centrais do Departamento de Energia dos Estados Unidos, justamente porque o aumento da densidade energética amplia o impacto de falhas locais, no próprio produto, e a possibilidade de propagação térmica entre células (Doughty, 2012).

Ainda de acordo com Doughty (2012), o crescimento da densidade energética das baterias trouxe desafios mais severos relacionados à segurança e ao gerenciamento térmico. Em baterias multicelulares, especialmente nas de íons de lítio, a literatura aponta a necessidade de proteção contra sobrecarga, subtensão, temperatura inadequada e desequilíbrio entre suas células, já que operações incorretas aceleram fortemente a degradação do sistema. Em um artigo de revisão sobre tecnologias de baterias em EVs, os autores observam que, para conjuntos com centenas de células, em série ou em paralelo, um sistema apropriado de gerenciamento é imprescindível para evitar danos ao produto e risco aos consumidores e garantir a operação segura do conjunto-bateria. Foi exatamente nesse contexto que surgiu a necessidade de sistemas eletrônicos dedicados ao monitoramento e à proteção das baterias, consolidando o *Battery Management System* (BMS) como componente essencial dos veículos eletrificados (Liu *et al.*, 2019).

3.8.2 BMS – GERENCIAMENTO DE BATERIAS

No final dos anos 1990 as baterias de Chumbo-Ácido ($\text{Pb}/\text{H}_2\text{SO}_4$) predominavam a mobilidade automotora, desde veículos a MCI – para sistemas de iluminação e similares – a veículos eletrificados, como fonte de

energia motriz. Essas sempre apresentaram baixa autonomia e curta vida útil e, por este motivo, a indústria voltou suas pesquisas para o desenvolvimento para baterias mais eficientes e de maior densidade energética, as baterias de íons de lítio (Li-ion) e de níquel metálico hidratado (NiMH) (Silva *et. al*, 2024).

Segundo os autores da Monolithic Power Systems (s.d.), a evolução da capacidade das baterias trouxe exigências e cuidados especiais, principalmente em quesitos de carregamento/descarregamento e controle térmico pois, até nos dias atuais, é comum – e menos frequente – casos de veículos eletrificados que sofreram com incêndios e pequenas explosões ocasionadas pela sensibilidade destes componentes. É possível ver um destes casos, ocorrido na China em 2022, apresentado na imagem abaixo.

Figura 36 - Mini EV chinês pega fogo durante carregamento

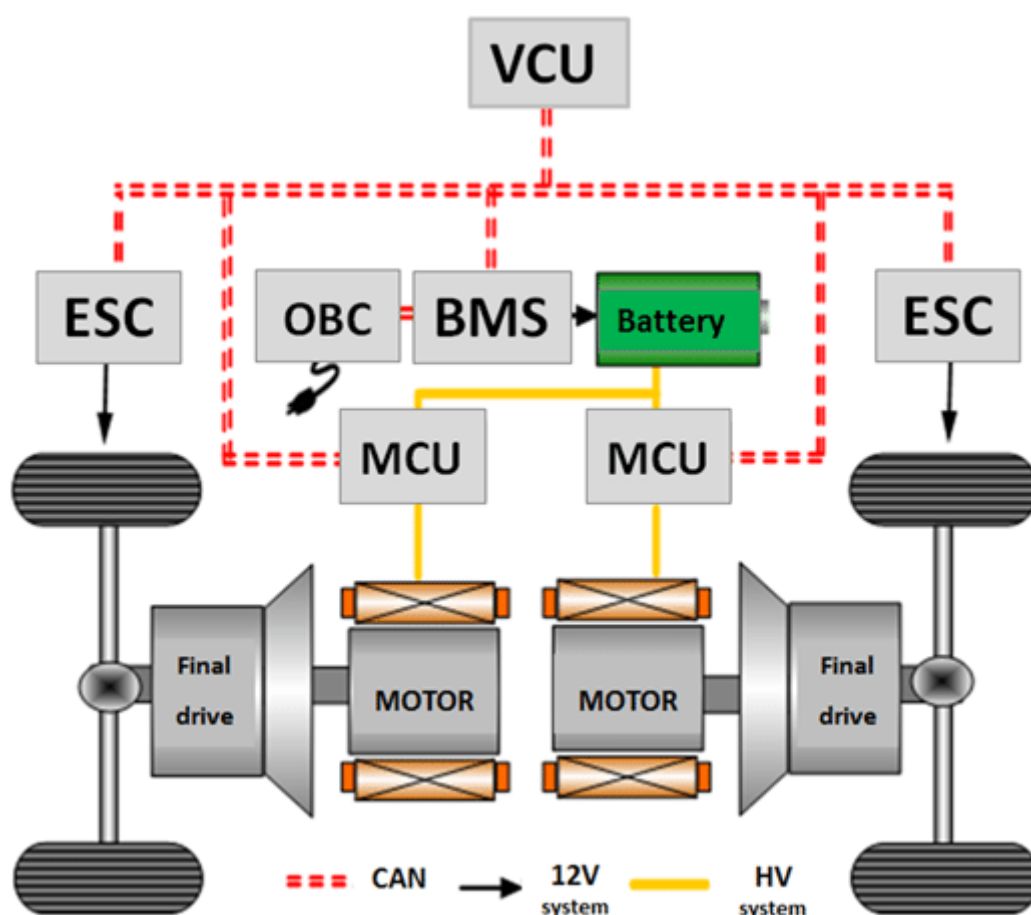


Fonte: Barros (2022)

De acordo com Andrea (2010), foi neste cenário que o *Battery Management System* (BMS), ou sistema de gerenciamento de baterias, surgiu para assumir um papel muitíssimo importante na arquitetura eletrônica embarcada dos veículos. Inicialmente desenvolvido para realizar funções básicas de proteção e monitoramento das células, o sistema evoluiu para arquiteturas mais complexas, capazes de supervisionar parâmetros como tensão individual das células, corrente do pack, temperatura, estado de carga

(*State of Charge* – SOC) e estado de saúde da bateria (*State of Health* – SOH). Com o aumento da complexidade dos sistemas eletrônicos automotivos, os sistemas de gerenciamento de baterias passaram a operar de maneira integrada aos demais módulos eletrônicos do veículo, compartilhando informações continuamente através da rede CAN. Essa comunicação permite a troca de dados entre o BMS, inversores, controladores de potência e demais ECUs, possibilitando estratégias mais avançadas de segurança, controle energético e gerenciamento de desempenho do veículo (Samanta; Williamson, 2021). Na imagem 37, abaixo, é possível visualizar como o módulo do sistema de gerenciamento de bateria se comunica com os outros módulos do carro via CAN.

Figura 37 - comunicação do BMS via rede CAN



Fonte: Zhang (2022)

Segundo SEE et al. (2022), a utilização da *Controller Area Network* tornou-se especialmente importante em arquiteturas distribuídas de BMS, nas quais

múltiplos módulos de monitoramento são responsáveis pela aquisição de dados de diferentes grupos de células da bateria. Nesse tipo de arquitetura, os módulos locais realizam medições individuais e transmitem as informações ao módulo mestre do sistema por meio da rede de comunicação embarcada, permitindo maior escalabilidade, confiabilidade e redundância operacional. Além disso, a integração entre BMS e rede CAN possibilitou a implementação de funções avançadas de diagnóstico, detecção de falhas e estratégias de segurança funcional, essenciais nos veículos eletrificados dos anos 2000 e principalmente nos mais modernos. Dessa forma, é possível afirmar que o gerenciamento das baterias é de extrema importância e que o BMS passou a ser fundamental para monitorar, proteger e controlar o conjunto de baterias, garantindo sua operação eficiente e a segurança, não somente do componente, mas para seus usuários.

3.9 VEÍCULOS ELÉTRICOS NOS ANOS 1990

Em meio a este cenário, na década de 1990 surgia um novo marco dos veículos elétricos, protagonizado nos Estados Unidos da América pela General Motors, com o GM EV1, de 1996 (vide figura 26 abaixo). Segundo o jornal Folha de Londrina (1998) e o jornal automotivo Autozine (1997), o projeto surgiu devido a altos investimentos da montadora norte-americana para atender regulamentações do estado da Califórnia, referente a veículos com zero emissão de gases poluentes. A primeira edição do EV1 contava com um conjunto de baterias chumbo-ácido de 500Kg que geravam aproximadamente 310V e alimentavam um motor trifásico AC, através de um inversor de frequência, de 102Kw, cerca de 137CV entre 7000 a 13000 RPM e 15Kgfm de torque, entre 0 e 7000 RPM, com autonomia próxima de 130Km com uma carga completa alcançada em aproximadamente 8 horas. Sua segunda versão, de 1998, recebeu um *upgrade* e agora contava com 26 módulos de baterias de níquel-hidreto metálicos, que estenderam sua autonomia para até 225Km e contava com recarga em 220V, encontrados em residências comuns – porém o tempo de recarga subiu para 8 horas (Paiola, 2022).

Embora o EV1, apresentado na figura 38 abaixo, tivesse problemas sérios, como superaquecimento das baterias e queda considerável da autonomia somente por usar utilizar recursos como faróis e ar-condicionado, ele representou um marco nos veículos eletrificados, apresentando a tecnologia de frenagem regenerativa, ou KERS (*Kinetic Energy Recovery System*), *powertrain* controlado por inversor de frequência e comunicação distribuída por diferentes módulos eletrônicos (Paiola, 2022).

Figura 38 - GM EV1: o primeiro carro elétrico da GM

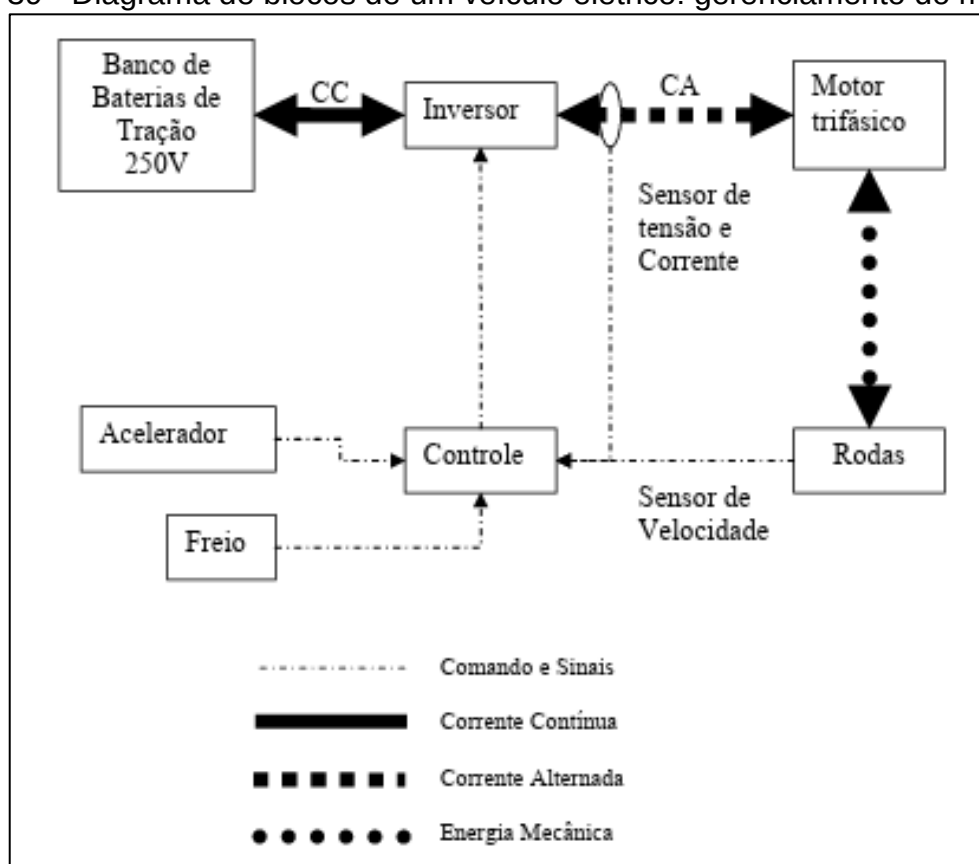


Fonte: ChevroletAbsoluta (2026)

A tecnologia apresentada no EV1, o controle de um motor AC trifásico com inversor de frequência, é amplamente utilizada até a atualidade. O sistema é composto por uma unidade de controle eletrônico (ECU) que recebe dados do acelerador, do freio, de sensores de velocidade e do próprio inversor de

frequência, gerenciando valores, referências e escolhas que parametrizam o próprio inversor com a finalidade de controlar o motor. O banco de baterias, que pode ter variação em sua capacidade, alimenta o inversor que converte eletricidade em corrente contínua para eletricidade em corrente alternada trifásica. É possível verificar esse comportamento no fluxograma abaixo, representado pela figura 39.

Figura 39 - Diagrama de blocos de um veículo elétrico: gerenciamento do motor AC



Fonte: Noce (2009)

É muito importante mencionar que a busca por eletrificação automotiva, devido as preocupações com o meio ambiente, não eram particularidade dos estadunidenses. Segundo Noce (2009), essa abordagem fica evidente pelos assuntos abordados na chamada Eco-92, uma conferência histórica da ONU realizada no Rio de Janeiro – Brasil em 1992, onde foram discutidas ações para minimizar a geração e impactos dos GEEs em todo o mundo. Em 1997 os frutos dessa conferência foram colhidos, com o Protocolo de Kyoto, assinado no Japão, com metas claras sobre as ações a serem todas pelos governos e iniciativas privadas para reduzir os níveis de poluentes, melhorar a qualidade de vida em

centros urbanos e frear o efeito estufa. Ainda no Japão, neste mesmo ano, a Toyota lançou o possivelmente mais importante carro para a popularização dos veículos elétricos, o Toyota Prius, apresentado na figura 40 a seguir (TOYOTA, 2016).

Figura 40 - Toyota Prius de 1997



Fonte: Noce (2009)

O Toyota Prius consolidou-se como um divisor de águas na história da mobilidade eletrificada, ao ser reconhecido pela própria Toyota como o primeiro veículo híbrido de passageiros produzido em massa, o Prius surgiu como resposta a duas limitações cada vez mais evidentes do setor: o elevado consumo energético e a necessidade de redução das emissões atmosféricas – que já eram pontos amplamente abordados naquele momento. Segundo a Toyota (2023), o projeto foi concebido como base para uma nova trajetória tecnológica voltada à eletrificação automotiva, influenciando diretamente o desenvolvimento posterior de outros veículos híbridos e elétricos.

O Toyota Prius de primeira geração (cuja plataforma carrega o código NHW10, interno da Toyota) utilizava um motor a gasolina VVT-i de 1,5 litros de quatro cilindros associado a um sistema híbrido THS (*Toyota Hybrid System*), composto por motores-geradores elétricos e transmissão planetária de divisão de potência (*power split device*) que detinha uma autonomia de aproximadamente 21 Km por litro de combustível. O motor térmico desenvolvia aproximadamente 58 cv

(43 kW) a 4.000 rpm, com torque próximo de 102 Nm, enquanto o motor elétrico fornecia potência complementar ao conjunto durante acelerações e partidas. O veículo utilizava uma bateria de Níquel-Metal Hidreto (NiMH) de aproximadamente 274V, responsável pelo armazenamento da energia recuperada durante frenagens regenerativas e desacelerações. Diferente dos veículos híbridos *plug-in* modernos, o Prius não necessitava de recarga externa – tornando-o assim um híbrido leve, uma vez que o carregamento da bateria ocorria automaticamente pelo sistema regenerativo e pelo funcionamento do próprio conjunto híbrido. O modelo possuía peso aproximado de 1240 kg, velocidade máxima próxima de 160 km/h e consumo significativamente inferior ao de sedãs compactos equivalentes da década de 1990, características que contribuíram diretamente para sua relevância histórica no processo de eletrificação automotiva. Além disso, a integração entre motores elétricos, inversor, bateria e unidade eletrônica de controle exigia elevado nível de gerenciamento eletrônico, tornando o Prius um dos primeiros veículos produzidos em larga escala a depender fortemente de eletrônica embarcada e comunicação entre módulos de controle (Ehsani et al., 2018; Farr, 2013; TOYOTA, 2023).

Sob o ponto de vista da engenharia automotiva, o Prius representou uma mudança significativa de referência no setor. Diferentemente dos veículos convencionais e dos eletrificados da época, nos quais toda a propulsão dependia exclusivamente de motores à combustão ou puramente elétricos, o modelo da Toyota passou a operar como um sistema motriz misto gerenciado eletronicamente. Essa arquitetura permitia que o veículo utilizasse o motor elétrico em condições de baixa velocidade e arrancadas, reservando o motor a combustão para faixas de maior eficiência energética, ou seja, regiões de operação caracterizadas por menor consumo específico de combustível e maior eficiência térmica do conjunto motopropulsor (TOYOTA, 2023). Além disso, o Prius introduziu a frenagem regenerativa em larga escala – já existente, como apresentada no EV1, mas não em massa – tecnologia responsável por converter parte da energia cinética dissipada nas frenagens em energia elétrica armazenada novamente na bateria. Segundo Ehsani et al. (2018), a regeneração de energia tornou-se um dos pilares fundamentais dos veículos híbridos modernos, contribuindo significativamente para o aumento da eficiência energética e para a redução do consumo de combustível.

Outro aspecto muito relevante do Prius, em 1997, foi a ampla utilização de eletrônica embarcada e gerenciamento inteligente de potência. O sistema híbrido exigia monitoramento contínuo de variáveis como torque, velocidade, corrente elétrica, tensão da bateria e demanda do motorista. Isso fez com que o veículo dependesse intensamente de unidades eletrônicas de controle (ECUs) e de sistemas multiplexados de comunicação interna. Nesse cenário, o avanço dos híbridos coincidiu diretamente com a consolidação das redes automotivas baseadas em comunicação serial, especialmente a Controller Area Network (CAN).

É possível visualizar mais detalhes da construção do Prius de primeira geração na imagem abaixo, com o conjunto motriz situado na dianteira do veículo, a configuração FWD, com o pack de baterias situado posteriormente ao banco traseiro de passageiros.

Figura 41 - Toyota Prius NHW10 cutaway



Fonte: Wikimedia Commons (2025)

Embora não tenham sido encontradas fontes técnicas confirmando explicitamente a utilização da tecnologia CAN na primeira geração do Prius de 1997, um estudo técnico realizado pelo ETH Zurich analisando um Toyota Prius NHW20 (segunda geração) descreve que o veículo utilizava três sistemas principais de comunicação: CAN, BEAN e AVC-LAN (MORI; SAMARASINGHE; EMMENEGGER, 2006). Os autores destacam ainda que o *Hybrid Synergy Drive* operava em arquitetura *drive-by-wire*, na qual os comandos do acelerador e da

transmissão eram convertidos em sinais eletrônicos processados pelas unidades de controle do veículo. Tal característica evidencia o elevado nível de integração eletrônica presente no modelo da Toyota e demonstra como os sistemas eletrificados passaram a depender fortemente de comunicação digital entre módulos eletrônicos.

O impacto do Toyota Prius de 1997 ultrapassou as questões puramente técnicas. O modelo tornou-se a base conceitual para a expansão global dos veículos eletrificados, especialmente os híbridos, e ajudou a consolidar a eletrificação automotiva como solução viável em larga escala. Conforme destacado pela Toyota (2023), o desenvolvimento do modelo em questão influenciou diretamente gerações posteriores de híbridos, híbridos plug-in e até mesmo veículos movidos a célula de combustível. Dessa forma, o Prius não apenas introduziu novas tecnologias, mas redefiniu a própria relação entre mecânica automotiva, eletrônica embarcada e gerenciamento inteligente de energia.

3.10 DUAS VISÕES PARA OS EVS NOS ANOS 2000

A evolução dos veículos elétricos e híbridos continuou marcando a década seguinte, os anos 2000, mas foi marcada por uma disrupção em dois lados diferentes do globo. Esse cenário é detalhado abaixo com dois veículos que representam a mobilidade eletrificada da época.

O Think City, veículo puramente elétrico da pequena montadora norueguesa Think Global, surgiu em 2008 como uma proposta focada na mobilidade elétrica urbana e sustentável, em um período no qual os veículos elétricos ainda eram amplamente associados a aplicações limitadas, de baixa autonomia e destinadas principalmente aos centros urbanos – esse era o paradigma da época. O modelo ganhou maior notoriedade durante os anos 2000, especialmente após investimentos da Ford Motor Company e políticas públicas de incentivo à redução de emissões em áreas urbanas. Seu conceito priorizava dimensões compactas, baixo consumo energético e facilidade de utilização no tráfego de grandes metrópoles, refletindo a visão predominante da época sobre a mobilidade elétrica. Além disso, o veículo tornou-se um dos principais representantes da tentativa

européia de consolidar pequenos EVs urbanos como alternativa prática aos automóveis convencionais movidos a combustão interna (Emadi; Williamson; Khaligh, 2009; Lane Motor Museum, 2011). É possível visualizar o modelo identificado na imagem 42, abaixo, em um ensaio de comemoração dos dez anos do EV.

Figura 42 - Think City EV



Fonte: Morris (2010)

Do ponto de vista da engenharia, o Think City empregava tecnologias e soluções relativamente avançadas para um veículo elétrico urbano do período. O modelo utilizava motor elétrico de indução trifásico com potência aproximada entre 30 kW e 34 kW, cerca de 43 CV, tração dianteira e transmissão de marcha única, além de velocidade máxima próxima de 105 km/h. Dependendo da versão e do ano de fabricação, o veículo utilizou baterias NiMH e posteriormente Li-ion, demonstrando a própria transição tecnológica das baterias automotivas ao longo dos anos 2000. Nas versões equipadas com baterias Li-ion, o pack possuía aproximadamente 28,3 kWh de capacidade energética e autonomia em torno de 160 km a 180 km, números considerados relevantes para aplicações urbanas naquele contexto histórico (Lane Motor Museum, 2011).

Outro aspecto importante, segundo Emadi, Williamson e Khaligh (2009), foi a integração de sistemas eletrônicos de monitoramento do conjunto de baterias, incluindo leitura de parâmetros via rede CAN e transmissão de dados por GSM/GPRS em determinadas versões experimentais, onde o condutor podia receber esses dados em seu smartphone, evidenciando a evolução gradual da eletrônica dos veículos elétricos. Além disso, a disposição das baterias sob os

bancos auxiliava na distribuição de massa e na redução do centro de gravidade do veículo. Um recorte da tecnologia empregada para comunicação com o usuário pode ser visualizado na figura 43, abaixo.

Figura 43 - Exemplo de informações disponíveis sobre a bateria do Think City para o condutor via smartphone



Fonte: Emadi, Williamson e Khaligh (2009)

Apesar de sua produção relativamente limitada, estimada em aproximadamente 2.500 unidades entre 2008 e 2012, o Think City consolidou-se como uma referência simbólica da primeira fase moderna da mobilidade eletrificada na Europa. O veículo ajudou a fortalecer a percepção dos EVs como soluções voltadas principalmente para deslocamentos urbanos de baixa quilometragem, estacionamentos reduzidos e uso cotidiano em centros metropolitanos. Sua imagem permaneceu associada à ideia de veículo elétrico compacto e simples, característica bastante presente na sociedade europeia durante a década de 2000. Dessa forma, o Think City pode ser compreendido como um dos principais representantes da ideia inicial moderna de veículo elétrico urbano (Lane Motor Museum, 2011).

Simultaneamente, na América do Norte, nascia um modelo que seria responsável por quebrar a visão de que os veículos elétricos deviam ser compactos e simples. O Tesla Roadster surgiu em um contexto bastante distinto do observado nos veículos elétricos urbanos da década de 2000, como o citado Think City. Enquanto grande parte da indústria ainda associava os carros elétricos a automóveis compactos, lentos e limitados ao uso urbano, a Tesla Motors apresentou, em 2008, uma proposta radicalmente diferente: desenvolver um

veículo elétrico esportivo de alto desempenho capaz de competir diretamente com modelos esportivos movidos a combustão interna. Na imagem 44, abaixo, é possível ver o compartimento traseiro do carro, onde ficam localizados o motor e o conjunto de baterias.

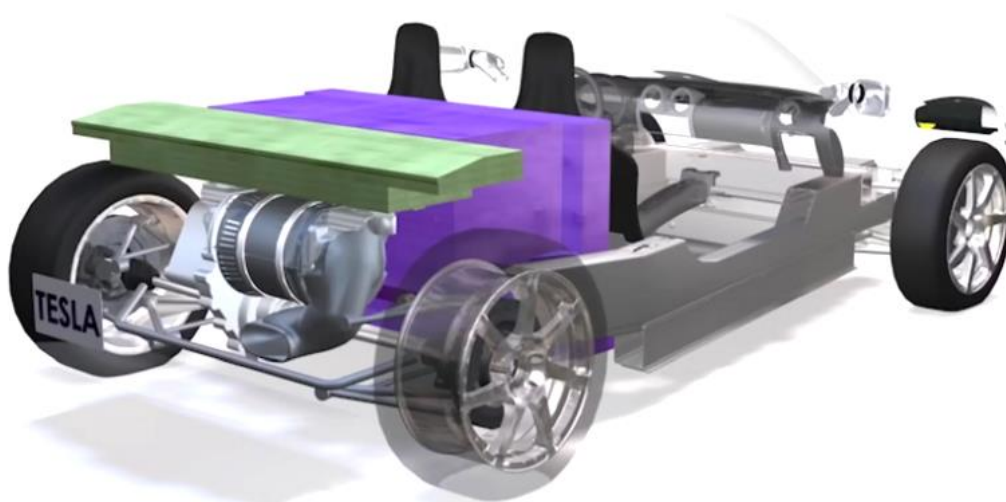
Figura 44 - Compartimento traseiro do Tesla Roadster



Fonte: Zhang *et. al* (2022)

Já na figura 45, a seguir, é possível ver uma representação do conjunto bateria e motor na parte traseira do veículo.

Figura 45 - Raio X do Tesla Roadster – bateria e motor



Fonte: Lacey (2022)

Segundo os editores da Enciclopédia Britannica (2026), seu conceito não estava centrado apenas na eficiência energética ou na redução de emissões de poluentes, mas principalmente na demonstração de que um veículo elétrico poderia oferecer aceleração muito elevada, desempenho de veículos ICE esportivos e autonomia significativamente superior à dos elétricos disponíveis naquele período. O Roadster foi concebido como um “*proof of concept*”, uma prova de conceito tecnológico da eletrificação automotiva moderna, buscando alterar a percepção da indústria e do público em relação aos veículos elétricos.

As premissas básicas do projeto eram consideradas altamente disruptivas para a época. O Roadster foi um dos primeiros veículos esportivos elétricos de produção seriada a utilizar baterias de íons de lítio em larga escala, contrariando parte da visão predominante da indústria automotiva naquele período. Além disso, o modelo apresentava aceleração de 0 a 100 km/h em aproximadamente 3,9 segundos, velocidade máxima superior a 200 km/h e autonomia próxima de 390 km por carga, números extremamente elevados de performance e autonomia para qualquer veículo elétrico dos anos 2000 (Orecchini *et al.*, 2014 apud Sciencedirect, s.d.). Na figura abaixo, é possível visualizar o modelo sendo utilizado em uma competição esportiva do tipo Arrancada/*Dragster*.

Figura 46 - Tom Saxton, Plug In America's Chief Science Officer, drag racing in his Roadster.



Fonte: Plug In America (2010)

Outro fator disruptivo foi a tentativa de romper a associação de imagem entre mobilidade elétrica e baixo desempenho, demonstrando que veículos elétricos

poderiam ser rápidos, desejáveis e avançados tecnologicamente. Evidentemente o modelo da Tesla também passou a destacar a importância crescente da integração eletrônica, do gerenciamento energético e do controle computacional avançado no desenvolvimento automotivo, principalmente se o objetivo fosse de desenvolver veículos eletrificados de alta performance. (Peterson *et al.*, 2009).

Do ponto de vista tecnológico, segundo Berdichevsky *et. al* (2006), o Roadster representou um avanço significativo em relação aos veículos elétricos anteriores e muitos da sua época. O modelo utilizava aproximadamente 6.800 células cilíndricas Li-ion do tipo 18650 organizadas em módulos eletronicamente monitorados, formando um pack de alta tensão com aproximadamente 375 V nominais e capacidade energética próxima de 56 kWh. O conjunto possuía massa aproximada de 450 kg e potência máxima da ordem de 200 kW, exigindo um sistema eletrônico muito sofisticado para monitoramento contínuo de tensão, corrente e temperatura.

A arquitetura do pack era dividida em módulos independentes, cada um equipado com placas de monitoramento próprias e comunicação via rede CAN com os demais sistemas do veículo, como demonstrado na figura 41 abaixo. Outro aspecto central do projeto foi o gerenciamento térmico ativo por refrigeração líquida utilizando mistura de água e glicol, solução necessária devido à elevada densidade energética das baterias Li-ion e aos riscos associados ao superaquecimento. Além disso, o modelo empregava controle eletrônico avançado do powertrain, gerenciamento integrado das baterias e intensa utilização de software embarcado, consolidando conceitos posteriormente adotados em grande parte dos EVs modernos (ZHANG *et. al* 2022).

É possível visualizar o pack de baterias do Tesla Roadster, real, na imagem 47 abaixo.

Figura 47 - Pack de Baterias Li-ion do Tesla Roadster



Fonte: Reddit (2023)

O impacto do Roadster ultrapassou seu volume relativamente limitado de produção. O modelo tornou-se um marco tecnológico e simbólico da eletrificação automotiva na atualidade, influenciando diretamente o desenvolvimento de veículos elétricos de alto desempenho ao longo da década seguinte. Seu principal legado foi demonstrar à indústria automotiva e a entusiastas que veículos elétricos poderiam combinar elevado desempenho dinâmico, autonomia relativamente alta e arquitetura eletrônica avançada, rompendo definitivamente com a imagem de que esses automóveis deveriam ser lentos e exclusivamente urbanos. Além disso, diversas soluções exploradas no Roadster – como gerenciamento avançado de baterias, utilização intensiva de células Li-ion, arquitetura eletrônica integrada e comunicação entre módulos eletrônicos – tornaram-se referências para fabricantes que posteriormente ingressaram no mercado de veículos elétricos modernos. Nesse sentido, o Roadster pode ser compreendido como um dos principais catalisadores da mudança de paradigma observada na indústria automotiva a partir do final dos anos 2000 (BRITANNICA, 2026). A mesma fabricante, a Tesla Motors, é a companhia responsável por aquele que é considerado por muitos como o veículo eletrificado mais importante da história automotiva.

3.11 O MARCO DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS NOS ANOS 2010

Nos anos 2010, o Tesla Model S consolidou-se como um marco na história da mobilidade eletrificada ao ser apresentado como o primeiro sedã elétrico *premium* de quatro portas da marca norte americana, com entregas iniciadas em junho de 2012. Naquele mesmo ano, a Tesla já informava ter produzido mais de 3.100 unidades e entregue cerca de 2.650 veículos, número que cresceu rapidamente nos anos seguintes. Ao final de 2015, a empresa declarava já ter entregue mais de 107 mil Model S, em escala global. A própria Tesla também destaca que o modelo passou a receber melhorias contínuas, incluindo versões de alto desempenho, tração integral – utilizando de dois motores - e opções de *Autopilot*, sua versão avançada de um piloto automático, e atualizações gratuitas de software via rede (TESLA MOTORS, 2013; TESLA, 2018).

Do ponto de vista de conceito, o Model S rompeu com a imagem do veículo elétrico limitado a usos urbanos ou de baixa expressão comercial, mas diferentemente de seu irmão, o Roadster, ele também não seria um esportivo de alto desempenho, mas sim um carro de uso cotidiano. Já em sua fase de desenvolvimento apresentada ao público, o carro apareceu como um carro conceito, com carroceria majoritariamente em alumínio e uma arquitetura que já tratava o pack de bateria como parte central do projeto estrutural. É possível visualizar o modelo em questão, já na versão comercial, em seu design de 2010 na imagem 48.

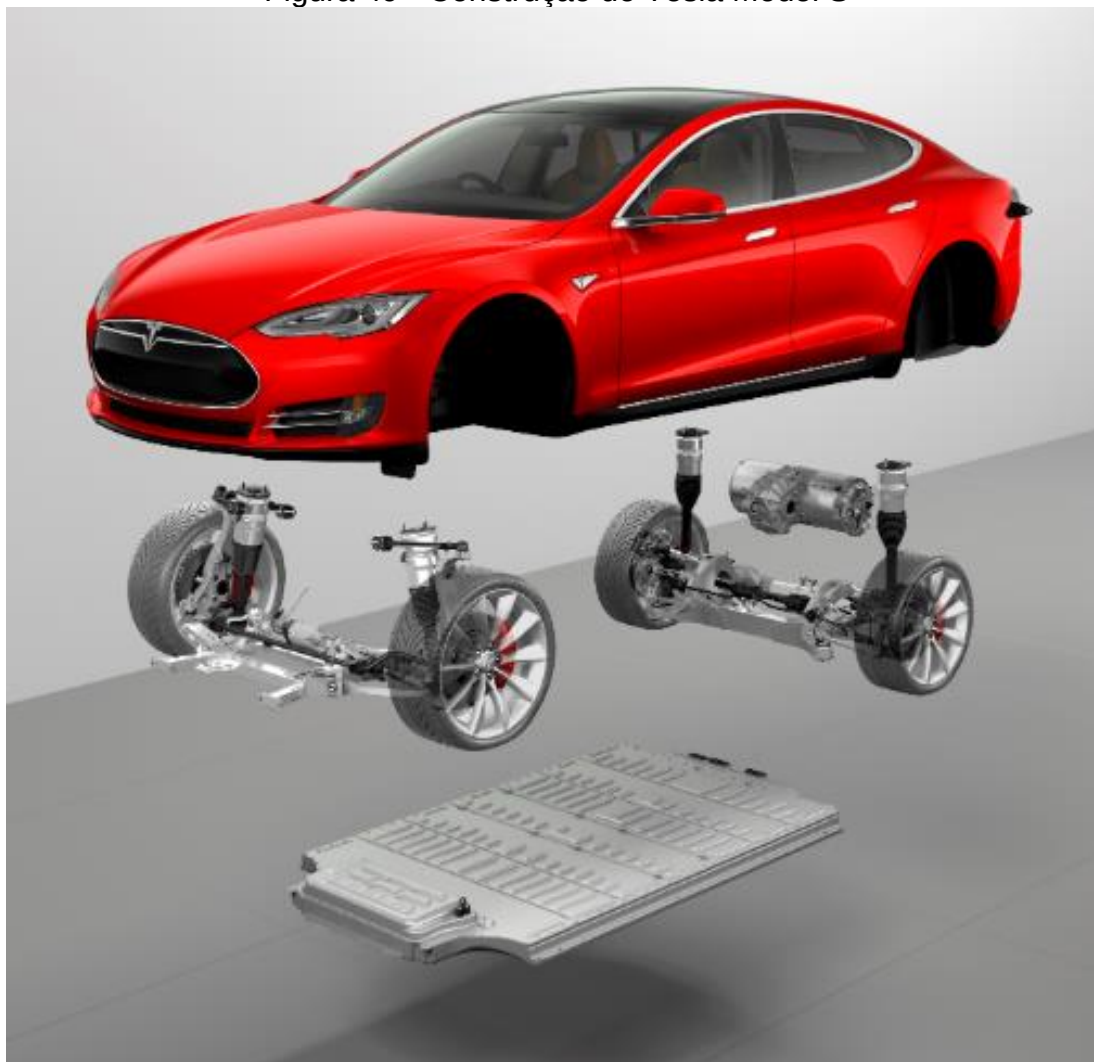
Figura 48 - Tesla Model S, design de 1º geração



Fonte: Monteiro (2013)

Na imagem 49 é possível visualizar sua construção, referente ao pack de baterias e motorização.

Figura 49 - Construção do Tesla Model S

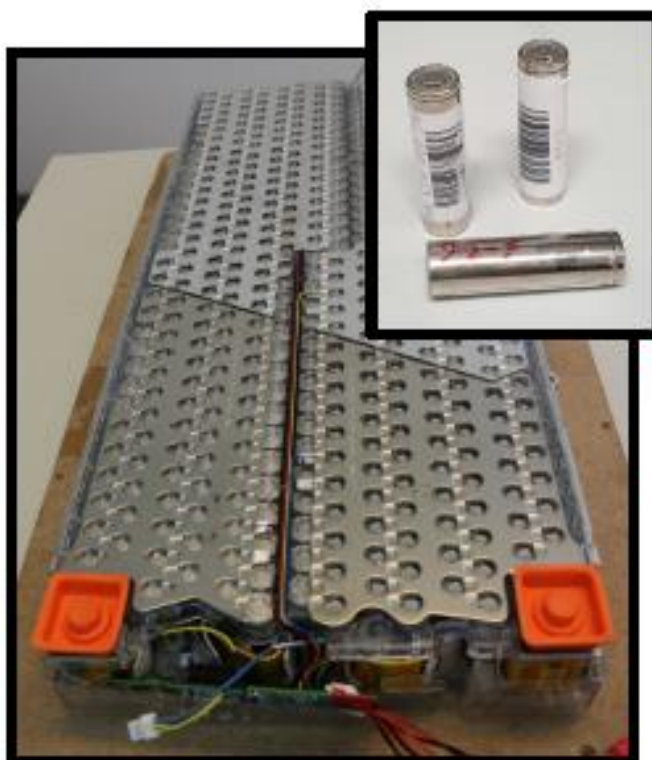


Fonte: Good Design Awards (s.d.)

A documentação institucional da Tesla também destaca que o conjunto motriz e o pack posicionados abaixo do assoalho contribuíam para reduzir o centro de gravidade, melhorar a dirigibilidade e aumentar a segurança dinâmica do veículo. Em paralelo, a própria Tesla informa que, desde o lançamento, a autonomia da versão *Long Range* (alta autonomia) evoluiu de 265 para 405 milhas, ou de 427 para 652 quilômetros, um ganho superior a 50%, o que mostra que o modelo não apenas inaugurou uma nova fase da autonomia de veículos elétricos, mas continuou sendo refinado ao longo do tempo (TESLA, 2020; TESLA MOTORS, 2016).

Na arquitetura eletroeletrônica, o Model S levou a eletrificação automotiva para um patamar muito mais complexo. Um estudo técnico do Forschungszentrum Jülich e da RWTH Aachen descreve o pack do Model S 85 kWh como formado por 16 módulos com 444 células cada, em uma configuração 74P 6S por módulo, totalizando aproximadamente 7.104 células 18650; o mesmo estudo indica energia nominal de cerca de 5,3 kWh por módulo e massa aproximada de 25,36 kg por módulo, um peso total de aproximados 406 Kg (Kuipers et al., 2017). É possível visualizar, na imagem abaixo, a construção do pack de baterias e as suas células individuais.

Figura 50 - Pack de baterias do Tesla Model S



Fonte: Kuipers et al. (2017)

Essa estrutura explica por que o modelo exigia monitoramento rigoroso de tensão, corrente, temperatura e balanceamento, além de uma gestão térmica avançada. Em *whitepapers* de engenharia do setor, como o da FutureBridge (2020), o Model S é associado a um sistema de gerenciamento térmico com circuitos dedicados para motores, eletrônica de potência e carregador, mantendo a bateria em faixa operacional ideal, em torno de 25 a 35 °C. A evolução do projeto também foi acompanhada por recursos como atualizações *Over The Air* – que é uma rede sem fio, usada para enviar atualizações de software, pacotes de

segurança ou configurações em dispositivos através conectados em nuvem – , *Autopilot* e refinamentos sucessivos na plataforma elétrica, reforçando que o carro passou a operar como um sistema embarcado altamente integrado, e não apenas como um automóvel com bateria.

A recepção pública do Model S foi excepcional e muito rápida. Em 2012, a Tesla anunciou que o veículo havia recebido a premiação *Motor Trend Car of the Year*, um dos prêmios automotivos mais antigos e prestigiados do mundo, por unanimidade, algo historicamente relevante para um automóvel elétrico (Good Design Awards, s.d.). Pouco depois, a *Consumer Reports* classificou o Model S como o melhor carro de 2014, destacando que ele havia alcançado a maior pontuação já registrada pela organização. Mais tarde, a Euro NCAP atribuiu ao Model S de 2022 a nota máxima de cinco estrelas e o selo *Best in Class*, com 98% em *Safety Assist*, 94% em proteção de ocupantes adultos e 91% em proteção infantil. Esse conjunto de reconhecimentos mostra que o veículo não foi apenas um marco tecnológico, mas também passou a ser visto como referência em desempenho, segurança e integração entre engenharia e software. Neste ponto, o emprego de tecnologias, como a CAN, não se resumia ao gerenciamento de baterias ou motor, mas a uma conectividade automotiva cada vez maior (EURO NCAP, 2022).

Em termos de impacto comercial, o Model S ajudou a transformar a Tesla, de fabricante emergente a referência global de veículos elétricos. Esse avanço teve como base um volume de entregas que cresceu rapidamente e por uma cobertura favorável da imprensa automotiva e generalista, em um cenário global de cada vez maior preocupação com o meio ambiente, e que passou a tratá-lo como um divisor de águas para a indústria. O modelo foi descrito pela mídia especializada como um dos carros mais influentes de sua geração, e sua presença em premiações e comparativos ajudou a consolidar a ideia de que EVs poderiam competir em nível superior com sedãs de luxo convencionais (FRIEZELL, 2014; TESLA MOTORS, 2016).

Mesmo sendo um marco gigantesco, o Model S não esteve livre de problemas técnicos. Já em 2013, episódios de incêndio após colisão com detritos de estrada levaram a empresa a reforçar a blindagem inferior da bateria – situação que gera incidentes e danos graves até os dias de hoje - e a aplicar uma atualização OTA para elevar a altura do carro. Ainda o modelo de 2013 acumulou 11 recalls da

Administração Nacional De Segurança No Trânsito Rodoviário dos Estados Unidos (NHTSA) segundo a própria base da organização.

O Escritório de Investigação de Defeitos (ODI) tem conhecimento de dois incidentes ocorridos em rodovias públicas dos EUA, nos quais os veículos envolvidos pegaram fogo após colidirem com detritos metálicos da pista. O impacto resultante da danificação da bandeja da bateria de propulsão (placa de base) iniciou uma reação térmica descontrolada. Em cada incidente, o sistema de monitoramento da bateria do veículo emitiu alertas visuais e sonoros progressivos, permitindo que o motorista realizasse uma parada controlada e saísse do veículo antes que a bateria emitisse fumaça e chamas. Com base nesses incidentes, a NHTSA está iniciando esta avaliação preliminar para examinar os riscos potenciais associados a colisões com detritos metálicos na parte inferior dos veículos Tesla Model S do ano-modelo 2013. (NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA, 2013, p. 1, tradução livre do autor).

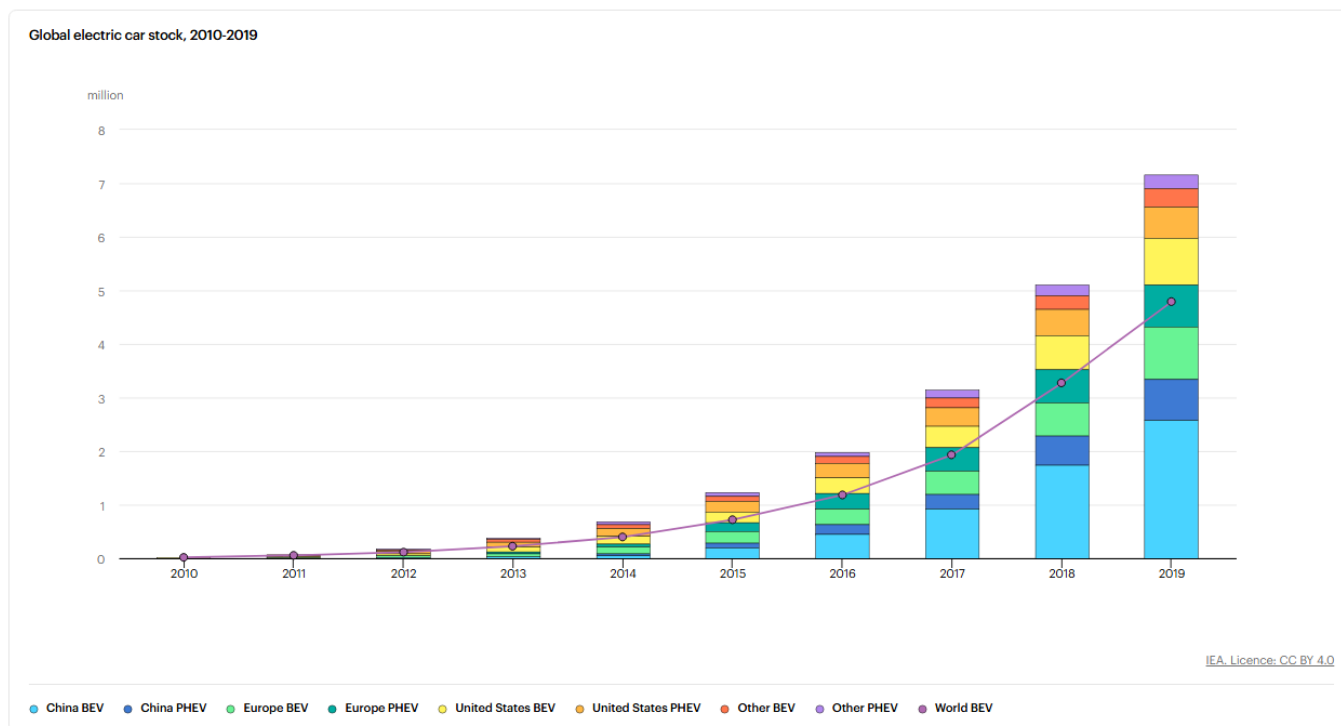
Em 2021, muito após seu lançamento, a Tesla ainda precisou recolher milhares de unidades de Model S por falhas no sistema do display central, afetando recursos como câmera de ré, climatização e acionamento de indicadores externos. Em outras palavras, o Model S mostrou, ao mesmo tempo, a vulnerabilidade técnica de uma arquitetura elétrica complexa e a maturidade de uma nova geração de veículos capazes de responder a falhas com engenharia, software e mitigação rápida (KOROSEC, 2021).

Assim, o Tesla Model S pode ser compreendido como o veículo que consolidou a transição do elétrico “promissor” para o elétrico “dominante em imagem tecnológica”. Se o Think City representava o EV urbano, de nicho específico e utilização limitada, e o Roadster simbolizava o esportivo elétrico disruptivo, o Model S passou a unir autonomia elevada, desempenho, segurança, conectividade e atualizações remotas de software em um único produto. Além disso, o modelo ajudou a popularizar conceitos posteriormente associados aos chamados *software-defined vehicles*, nos quais funções críticas do automóvel passam a depender intensamente de software, conectividade e integração eletrônica avançada. Nesse sentido, o sucesso comercial e tecnológico do Model S influenciou diretamente a forma como a indústria automotiva e o público passaram a enxergar a eletrificação veicular moderna (Barry, 2022; IEA, 2026).

3.12 BMS – A EVOLUÇÃO E A CONSOLIDAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA MOBILIDADE ELETRIFICADA NOS ANOS 2010

A década de 2010 foi, dentre toda sua história, o período de maior evolução para o carro elétrico, o qual deixou de ser apenas uma promessa tecnológica e passou a integrar, de forma mais concreta, o debate industrial, regulatório e ambiental. Em 2019, as vendas globais de veículos eletrificados ultrapassaram 2,1 milhões de unidades e a frota mundial chegou a 7,2 milhões, enquanto as vendas representaram 2,6% do mercado global de automóveis e cerca de 1% do estoque total (IEA, 2020). É possível visualizar esses números através do gráfico abaixo, elaborado pela IEA, em 2020.

Gráfico 2 - Vendas de veículos eletrificados até 2019



Fonte: IEA (2020)

Ao mesmo tempo, a política climática internacional ganhou ainda mais força com o Acordo de Paris, que a UNFCCC descreve como um “*historic turning point*” na cooperação global sobre mudança do clima. Nesse cenário, a *Electric Vehicles Initiative* – plataforma criada em 2010 através do *Clean Energy Ministerial*, um fórum global criado para impulsionar a transição energética mundial a um rumo mais ecológico e sustentável – consolidou a integração entre governos, indústria e política energética, enquanto a IEA

passou a tratar os EVs como tecnologia chave para descarbonizar o transporte rodoviário, setor responsável por mais de 15% das emissões globais ligadas à energia (UNFCCC, 2016).

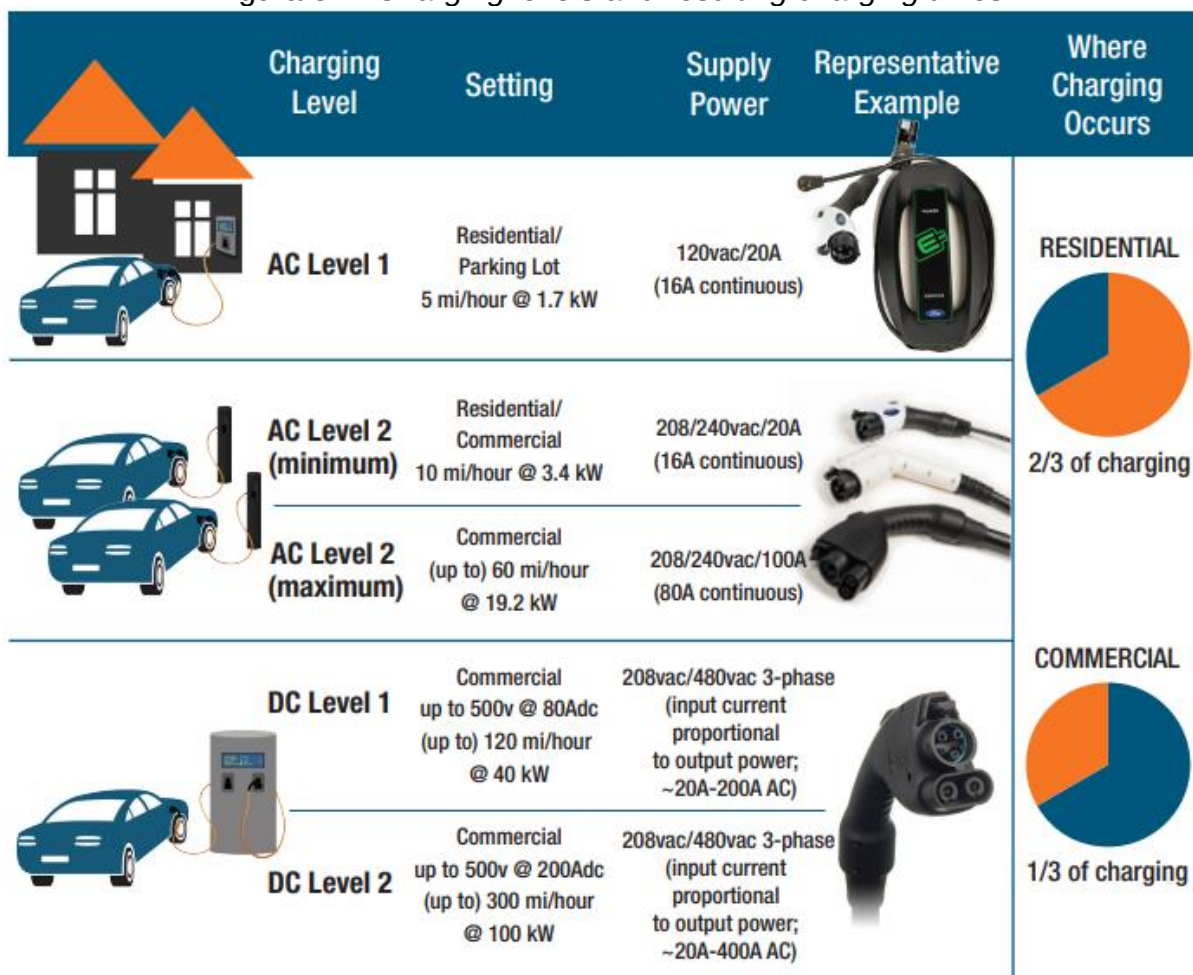
Do ponto de vista técnico, a bateria se consolidou como o componente mais crítico dos veículos elétricos e híbridos, pois passou a definir autonomia, desempenho, segurança e viabilidade comercial. A NREL já destacava que a bateria é a tecnologia central dos veículos eletrificados, por habilitar a hibridização, força motriz, energia móvel para garantir a autonomia elétrica e para os sistemas auxiliares, além de permitir armazenar a eletricidade da frenagem regenerativa. Em contrapartida, ela também acrescenta custo, massa/peso, volume e preocupações de segurança e durabilidade (Pesaran; San Thanh; Keyser, 2012).

Na mesma linha, a NREL observa que os parâmetros de gerenciamento de baterias envolvem energia elétrica, potencial elétrico e energia térmica, sendo o BMS responsável por controlar energia e potência por meio de sensores de tensão e corrente, enquanto a gestão térmica usa termopares, termistores e sensores similares posicionados externamente às células. Isso explica por que, ao longo dos anos 2010, os avanços em densidade energética vieram acompanhados de maior ênfase em gerenciamento térmico, proteção eletrônica e simplificação de packs, com meta explícita de aumento de densidade de potência para viabilizar recarga rápida e diferentes arquiteturas de veículos (Lamb *et al.*, 2021; Feng *et al.*, 2023).

Segundo o *United States Department of Energy* – DOE (2013), a infraestrutura de carregamento também evoluiu de forma decisiva durante a década de 2010. Nesse período, consolidaram-se os padrões de carregamento em corrente alternada de nível 1 e nível 2, normalmente associados a tensões residenciais de 120 V e 208/240 V, além da expansão do carregamento rápido em corrente contínua utilizando sistemas trifásicos de maior potência, frequentemente na faixa de centenas de volts.

Essa evolução reduziu significativamente os tempos de recarga e ampliou a viabilidade dos veículos elétricos para uso cotidiano e viagens de longa distância.

Figura 51 - *Charging levels and resulting charging times*



Fonte: DOE (2013)

O próprio DOE mostrou, em iniciativas com montadoras e concessionárias, que a expansão de pontos de recarga passou a fazer parte do ecossistema do veículo, e a NREL reforçou, nos anos seguintes, que o carregamento rápido se tornou importante para a adoção pelo consumidor. No mesmo período, os EVs passaram a ser descritos como veículos que podem ser plugados à rede, o que ajudou a tornar o uso diário mais flexível e a reduzir a dependência de soluções puramente urbanas (Wang *et al.*, 2018).

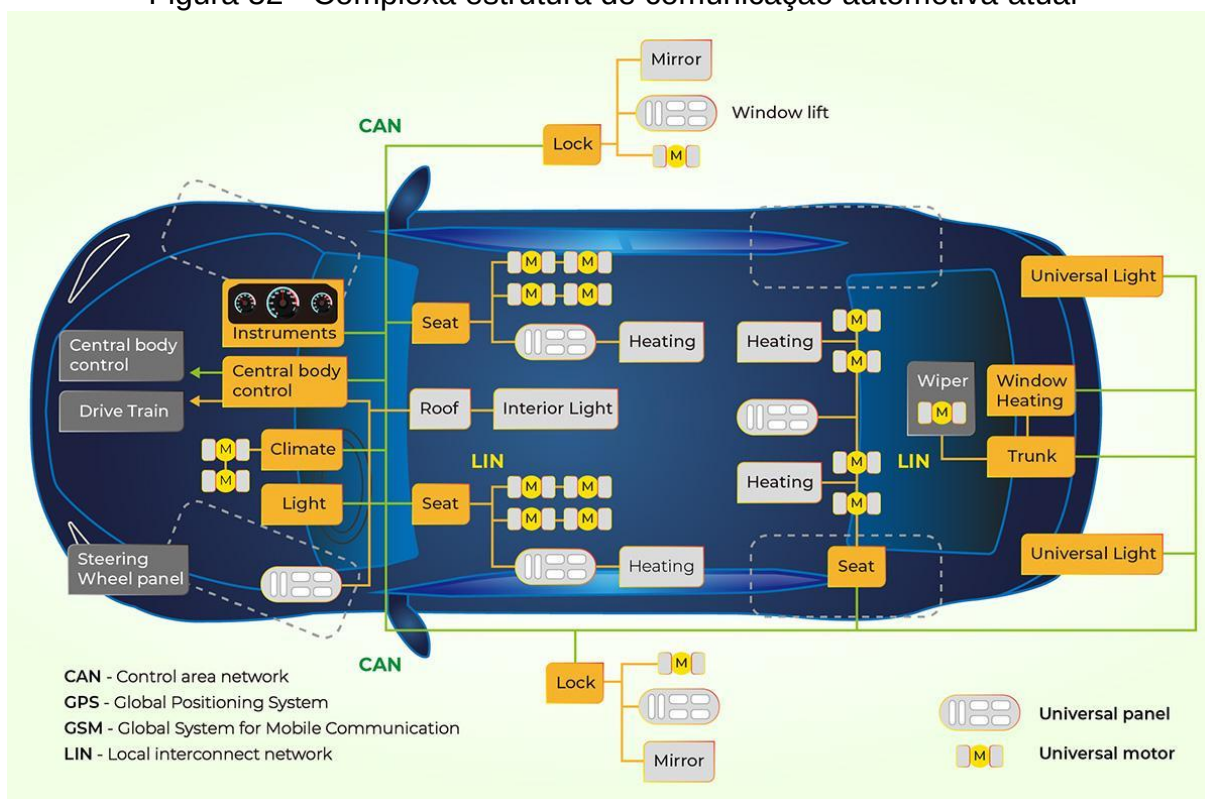
A eletrificação dos conjuntos de propulsão também amadureceu muito nos anos 2010. O *roadmap* da NREL para eletrônica de potência e máquinas elétricas já apontava, ainda em 2004, que os componentes centrais dos

veículos eletrificados incluem motores, inversores/conversores, sensores, sistemas de controle e eletrônica de interface, com foco em módulos integrados de conversão e controle, motores de alta densidade de potência e tecnologias avançadas de gerenciamento térmico. Na prática, isso indica que, durante a década de 2010, o gerenciamento de torque, o controle do inversor de frequência e a integração entre software e eletrônica de potência passaram a definir diretamente o comportamento dinâmico dos veículos elétricos. A utilização de motores elétricos associados a inversores permitiu elevada disponibilidade de torque já em baixas rotações, respostas rápidas de aceleração e maior eficiência energética, quando comparados aos conjuntos motrizes convencionais. É possível assim dizer que o veículo elétrico deixou de ser apenas uma solução eficiente, do ponto de vista energético, passando também a apresentar elevado refinamento dinâmico e desempenho competitivo (NREL, 2004).

Outro ponto decisivo da década foi a centralidade do software. A IEA registra que as atualizações OTA foram introduzidas pela Tesla em 2012 e permitem upgrades de software e firmware por conectividade sem necessidade de visita a concessionária ou oficina, enquanto a mesma agência descreve que os veículos estão se tornando plataformas de software, com funções premium e recursos continuamente atualizáveis. Isso muda profundamente a engenharia automotiva, porque manutenção, diagnóstico, evolução funcional e até parte da segurança passam a depender da arquitetura digital do carro. Dessa forma, durante os anos 2010, o EV deixou de ser apenas um sistema de bateria e motor elétrico para se tornar um sistema computacional embarcado, com redes internas, camadas de software e capacidade de atualização remota. Pode-se dizer que essa evolução não seria possível sem a pioneira rede CAN (IEA, 2023).

A Figura 52 ilustra o nível de complexidade da comunicação automotiva dos veículos pertencentes a década de 2010 e que seguiram na década de 2020. O sistema, apresentado por módulos, é composto de alto nível de software e hardware embarcados.

Figura 52 - Complexa estrutura de comunicação automotiva atual



Fonte: Winstar Display (s.d.)

No extremo de desempenho, a década de 2010 mostrou que a eletrificação já podia atingir patamares antes reservados a superesportivos a combustão. Em 2018, a Rimac apresentou o C_Two, um hiperesportivo elétrico com até 2.000 cv puramente elétricos, velocidade máxima superior aos impressionantes 400 Km/h e com alcance WLTP de 550 Km, recarga até 80% em menos de 30 minutos e sistema de gerenciamento térmico líquido capaz de sustentar duas voltas completas na pista de corridas alemã Nürburgring, com extensão de aproximadamente 20 km, em potência máxima e queda mínima de desempenho (Rimac Automobili, 2018).

É possível visualizar o modelo de altíssimo desempenho da montadora croata na imagem abaixo, em edição da Revista Quatro Rodas.

Figura 53 - Rimac C-Two



Fonte: Gomes (2018)

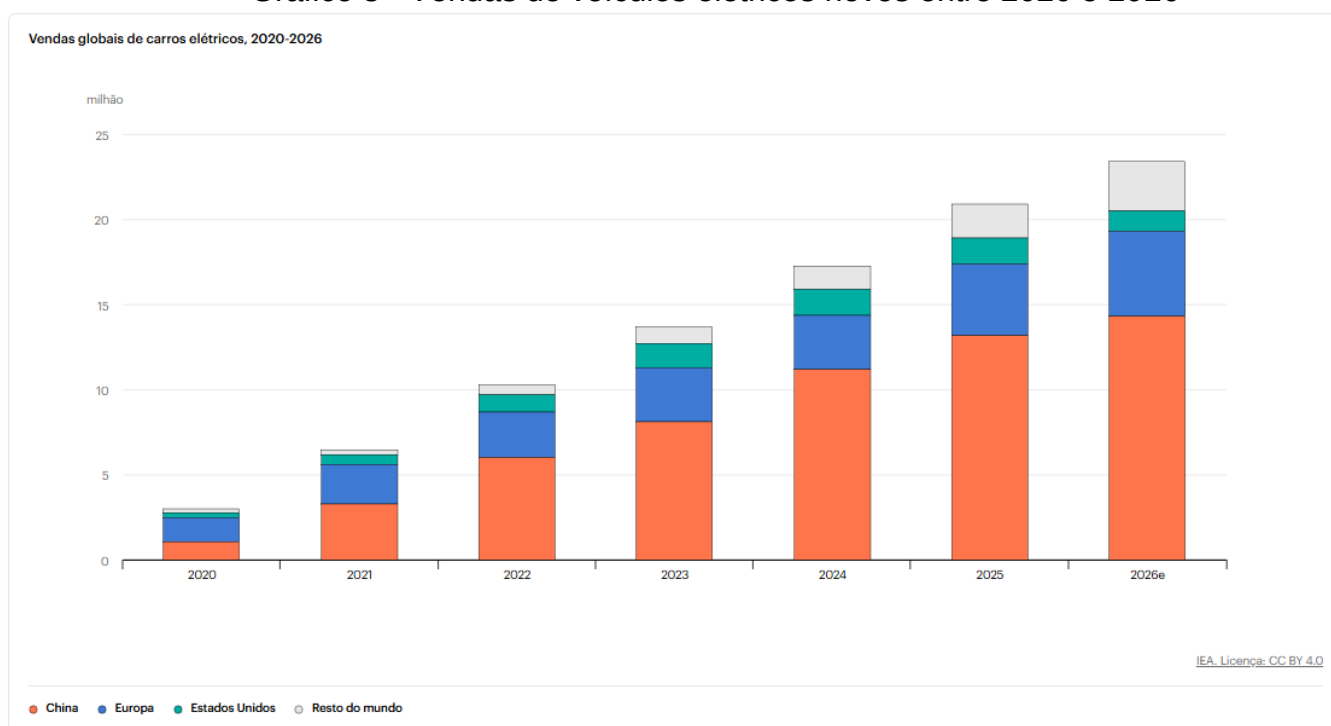
Esse tipo de veículo evidencia que, ao final da década, a eletrificação já não era apenas um caminho para redução de emissões ou mobilidade urbana, mas também uma plataforma para alto desempenho, recarga rápida, controle térmico preciso e densidade tecnológica elevada. A evolução técnica dos anos 2010, portanto, preparou simultaneamente o mercado de entrada, os sedãs *premium* e os hiperesportivos, abrindo espaço para o próximo estágio da mobilidade eletrificada. O C_Two é indicado como citação honrosa e abertura para falar dos hiperesportivos eletrificados dos anos 2020.

3.13 O ÁPICE DA ENGENHARIA DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS ATUAIS E UM RECORTE DE SEU SUCESSO COMERCIAL

Na década de 2020, a mobilidade elétrica deixou de ser apenas uma tendência tecnológica e, de certa forma, social e passou a ocupar posição praticamente central no mercado automotivo e nas políticas globais de

descarbonização. A Agência Internacional de Energia (IEA) registra que, em 2025, as vendas globais de carros elétricos ultrapassaram 20 milhões de unidades, equivalendo a 25% dos carros novos vendidos no mundo, enquanto o estoque global já representava cerca de 5% da frota total de automóveis (IEA, 2026).

Gráfico 3 - Vendas de veículos elétricos novos entre 2020 e 2026



Fonte: IEA (2026)

No Brasil, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) informa que o mercado de eletrificados leves encerrou 2025 com 223.912 unidades vendidas, evidenciando a consolidação do segmento no país. Em paralelo, o Acordo de Paris, que foi assinado por 195 países na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), em 12 de dezembro de 2015. Este que passou a vigorar em 4 de novembro de 2016 e que continua firme até os dias atuais, é descrito como um marco histórico na cooperação internacional para o combate às mudanças climáticas, reforçando o papel das políticas ambientais na consolidação dos veículos eletrificados.

No contexto brasileiro, a adaptação da indústria automotiva às transformações tecnológicas observadas mundialmente ocorreu por meio de políticas industriais voltadas ao desenvolvimento do setor. Entre elas, destaca-se o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística, instituído pela Lei nº 13.755, de 2018, como

sucessor do programa Inovar-Auto. O Rota 2030 foi concebido em um cenário de profundas mudanças na indústria automotiva global, marcado pelo avanço da eletrificação, da conectividade, da digitalização e da busca por maior eficiência energética. Seus objetivos incluíam o estímulo à inovação tecnológica, o aumento da competitividade da indústria nacional, a melhoria da segurança veicular, a redução dos impactos ambientais e o incentivo a investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D). Além disso, o programa estabeleceu metas relacionadas à eficiência energética e criou mecanismos de incentivo para empresas que investissem no desenvolvimento tecnológico de veículos, sistemas e autopeças produzidos no país, buscando alinhar a indústria brasileira às tendências observadas nos principais polos automotivos mundiais (Brasil, 2025).

Nesse mesmo contexto, o Programa MoVer (Mobilidade Verde e Inovação), sucessor direto do Rota 2030, foi instituído para ampliar exigências de sustentabilidade e descarbonização da frota automotiva brasileira, criando um ambiente regulatório muito favorável à inovação e investimento no setor (ABVE, 2026; UNFCCC, 2015; MDIC, 2023). Na figura 54, abaixo, é possível ver um registro da divulgação do programa MoVer pelo próprio Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, de 2024.

Figura 54 - Divulgação do programa Mobilidade Verde e Inovação pelo Ministério público



Fonte: MDIC (2025)

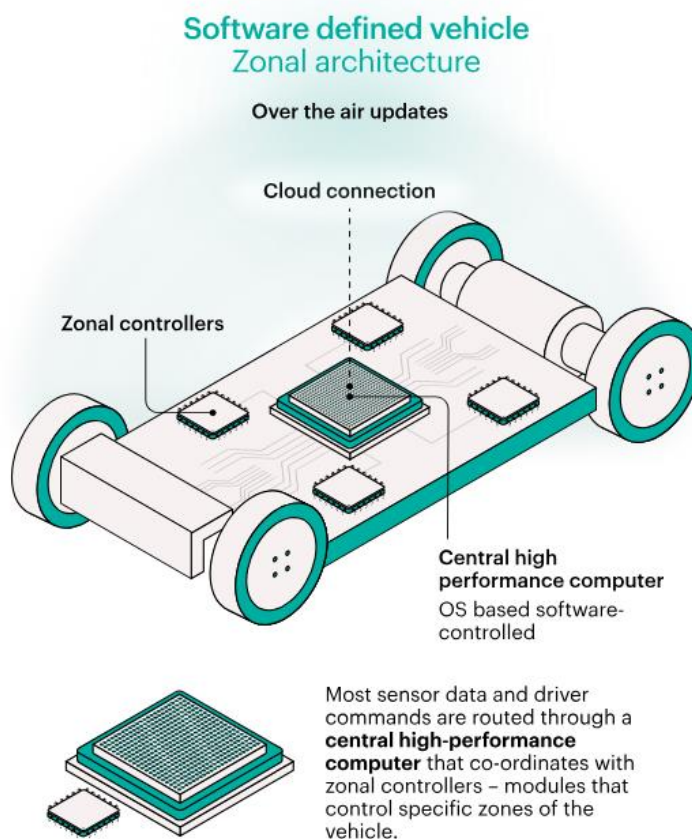
O incentivo fiscal para que as empresas invistam em descarbonização e se enquadrem nos requisitos obrigatórios do programa será de R\$ 3,5 bilhões em 2024, R\$ 3,8 bilhões em 2025, R\$ 3,9 bilhões em 2026, R\$ 4 bilhões em 2027 e R\$ 4,1 bilhões em 2028, valores que deverão ser convertidos em créditos financeiros. O programa alcançará, no final, mais de 19 bilhões em créditos concedidos. No Rota 2030, extinto, o incentivo médio anual, até 2022, foi de R\$ 1,7 bilhão. (MDIC, 2023)

O MoVer é a representação brasileira da movimentação global de incentivo a veículos eletrificados, movimento esse que ganhou muita força nos anos 2010. Outro aspecto decisivo da década foi a consolidação dos veículos como plataformas de software.

A IEA (2026) destaca que a transição do controle mecânico para o controle baseado em software vem ocorrendo há décadas, mas se acelerou fortemente com a expansão dos EVs. O órgão também observa que arquiteturas mais centralizadas e zonais vêm substituindo os arranjos distribuídos convencionais, reduzindo a complexidade de cabeamento e permitindo que funções como gerenciamento da bateria, assistência à condução (ADAS) e recursos premium sejam atualizados ao longo da vida útil do veículo por meio da tecnologia Over The Air. A agência acrescenta que as atualizações OTA foram introduzidas pela Tesla em 2012 e que a década de 2020 herda a eletrônica embarcada e eleva esse conceito à condição de arquitetura digital do automóvel (IEA, 2026).

A figura 55, abaixo, exemplifica graficamente a centralização de controle automotivo moderno.

Figura 55 - Arquitetura centralizada de controle automotivo e de comunicação via nuvem



Fonte: IEA (2026)

Nesse cenário, a BYD se tornou uma das empresas mais representativas da eletrificação moderna. A própria companhia informa ter sido fundada em 1994 na cidade de Shenzhen, define-se como uma empresa de alta tecnologia e afirma atuar em áreas ligadas a automóveis, energia renovável, armazenamento e eletrônica, em sua comunicação institucional, a empresa também afirma ser líder mundial em veículos elétricos e híbridos plug-in (BYD Company Ltda., 2026). Além disso, a BYD lista em seu portfólio tecnológico soluções como a *Blade Battery*, a *e-Platform 3.0*, a tecnologia *Cell-to-Body*, a plataforma e⁴ e o sistema DiSus, enquanto a submarca YANGWANG é posicionada como uma marca premium de veículos elétricos de alto desempenho. Isso mostra que a empresa não atua apenas como montadora, mas como integradora de bateria, eletrônica de potência, software, controle de chassi e arquitetura veicular, tornando-se assim

uma das mais importantes desenvolvedoras das principais tecnologias dos VEs. (BYD Company Ltda., 2026).

No topo da engenharia atual da montadora chinesa está o YANGWANG U9 Xtreme (U9X), que a própria BYD apresentou como o carro de produção mais rápido do mundo – título supostamente reivindicado de um modelo da montadora francesa Bugatti – com a impressionante velocidade máxima verificada de 496,22 km/h no circuito *Automotive Testing Papenburg*, na Alemanha, em setembro de 2025, valor esse amplamente repercutido pela mídia automotiva internacional, entretanto, parte das publicações especializadas destaca que o resultado ainda carece de homologação independente nos moldes tradicionais de recordes de velocidade. Ainda assim, a página oficial do modelo descreve uma arquitetura com quatro motores de alta rotação (até 30.000 RPM), cada um entregando 555 kW (aproximadamente 755 cv) de potência-pico, resultando em mais de 3.000 HP no conjunto. Em comunicado adicional, a BYD informa que o carro recebeu um sistema de refrigeração redesenhado, freios carbono-cerâmicos com liga de titânio e pneus *semis-slick* desenvolvidos para suportar a exigência extrema de velocidade e temperatura. O resultado é um veículo puramente elétrico que ultrapassa, e muito, o conceito de “carro rápido” e passa a representar um laboratório móvel de alta tensão, controle térmico, aerodinâmica, pneus e gerenciamento de potência em altíssimo nível. (BYD Company Ltda., 2025; YANGWANG Auto, 2025).

Na imagem abaixo, do próprio site da BYD Brasil, é possível visualizar o modelo hiperesportivo alcançando sua marca de veículo de produção mais rápido do mundo, em pista alemã.

Figura 56 - Velocidade máxima de 496,22 km/h: Yangwang U9 Xtreme é o carro de produção mais rápido do mundo



Fonte: BYD Brasil (2025)

Do ponto de vista de engenharia, o U9X é importante não apenas pelo recorde, mas pela combinação de tecnologias que tornaram este marco possível. A solução de múltiplos motores independentes aliada ao controle ativo de suspensão adaptativa, ao refinamento da refrigeração e à integração entre chassi e eletrônica de potência, mostra que o EV de altíssima performance depende tanto de software quanto de hardware e mecânica avançada. Em outras palavras, o recorde de velocidade não é um evento isolado, ele traduz a maturidade de um ecossistema tecnológico no qual bateria, inversor de frequência, motores, pneus, aerodinâmica e controle de carroceria dinâmica precisam trabalhar em conjunto para que o veículo opere com estabilidade em regimes muito acima do uso cotidiano. Essa leitura é condizente com a própria direção tecnológica da BYD, que hoje conceitua bateria, motor elétrico, controlador eletrônico e controle dinâmico do veículo como partes de uma mesma plataforma. (BYD Company Ltda., 2026; YANGWANG Auto, 2025).

Na outra ponta da engenharia está o BYD Dolphin Mini, o veículo de entrada da montadora chinesa que representa o EV urbano, que reforça o estereótipo de carros pequenos, de uso limitado e simples, mas que também mostra que a tecnologia da mobilidade eletrificada atual não se limita a hipercarros e

desempenhos absurdos. A BYD o apresenta como o elétrico subcompacto feito para a cidade, com autonomia de 280 km pelo padrão PBEV, bateria de 38 kWh, potência de 75 cv, torque de 135 Nm, tração dianteira e velocidade máxima de 130 km/h. Nas páginas oficiais da marca, o modelo aparece com carregamento rápido entre 22 e 30 minutos para a faixa de 30% a 80%, além de seis airbags, freios a disco nas quatro rodas, e-Platform 3.0, estrutura majoritariamente em aço e bateria *Blade* com mais de 5.000 ciclos de carga e descarga. A própria BYD também o destaca como o elétrico mais vendido e econômico do Brasil e como vencedor do título *World Urban Car of the Year 2025*, reforçando seu papel como veículo de entrada para a eletrificação em escala popular. (BYD Brasil, s.d.; BYD Brasil, 2025).

Figura 57 - BYD Dolphin Mini GL 2026

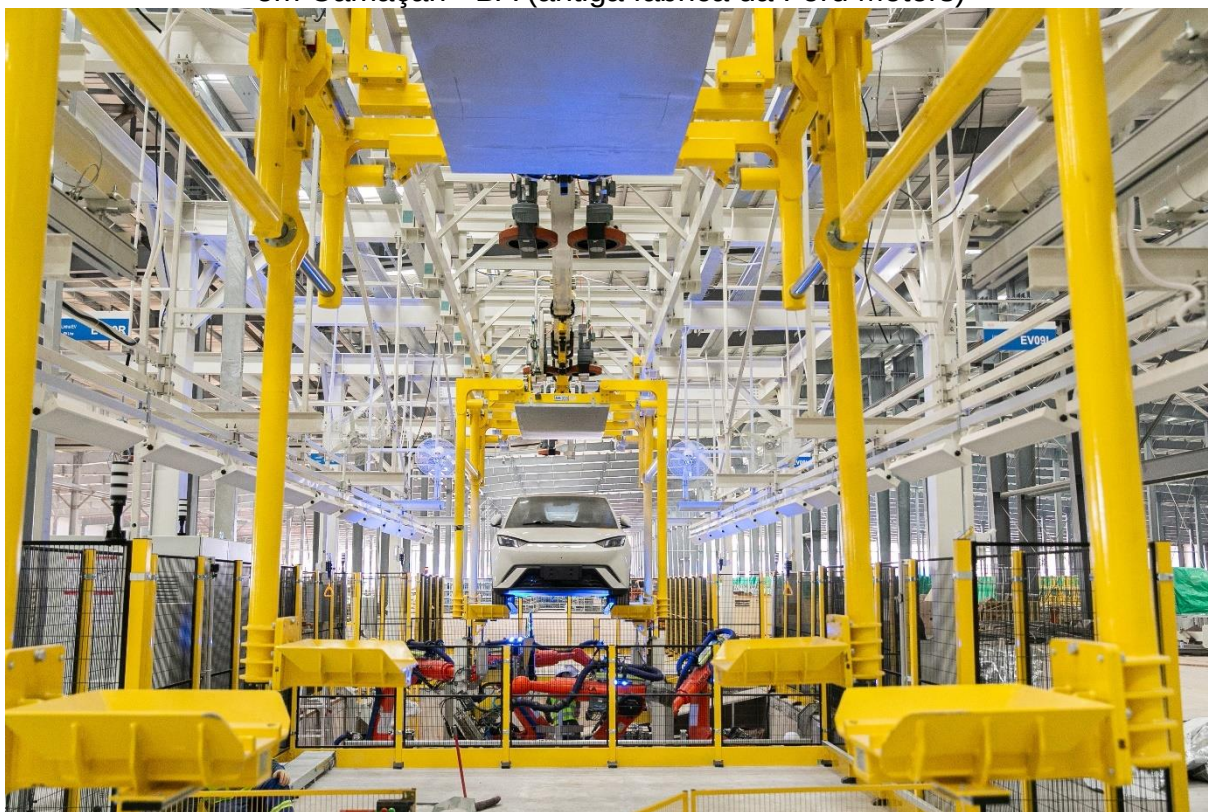


Fonte: Tavares (2025)

Esse modelo ganhou ainda mais relevância no cenário nacional quando a BYD anunciou, em julho de 2025, o início da produção do primeiro Dolphin Mini fabricado no Brasil, em Camaçari – na antiga fábrica da Ford Motors – situada na Bahia, visível na imagem abaixo. No mesmo comunicado, a empresa informou que o modelo já havia ultrapassado 1 milhão de unidades vendidas globalmente desde o lançamento internacional e que superava 34 mil unidades vendidas no Brasil, um dos resultados comerciais mais relevantes já registrados por um veículo

elétrico no mercado brasileiro. A BYD também destacou o investimento de R\$ 5,5 bilhões no complexo industrial baiano e a previsão de expansão da capacidade produtiva local, além de reforçar que a fábrica foi concebida com automação, rastreamento em tempo real e lógica de produção de alta eficiência. Esse movimento mostra que o Dolphin Mini não é apenas um veículo urbano acessível, mas também uma peça estratégica da consolidação da eletromobilidade no Brasil. (BYD US, 2025).

Figura 58 - Primeiro Dolphin Mini fabricado no Brasil, na linha de produção da BYD em Camaçari - BA (antiga fábrica da Ford Motors)



Fonte: BYD US (2025)

A implantação da fábrica da BYD, em Camaçari, também representa um marco importante para a nacionalização parcial da cadeia produtiva dos veículos eletrificados no Brasil. Além do impacto industrial e econômico, associado à geração de empregos e ao reaproveitamento da antiga estrutura fabril da Ford, a produção nacional tende a reduzir custos logísticos, ampliar a disponibilidade de componentes e fortalecer o desenvolvimento tecnológico local ligado à eletromobilidade. Esse movimento acompanha o crescimento acelerado do mercado brasileiro, que, segundo dados da Associação Brasileira do Veículo

Elétrico (ABVE), registrou mais de 285 mil veículos eletrificados vendidos em 2025 – conforme a tabela 3 abaixo – representando crescimento significativamente superior ao do mercado automotivo convencional. Dessa forma, a instalação de fabricantes de veículos elétricos e híbridos em território nacional pode ser entendida não apenas como expansão comercial, mas também como parte da consolidação industrial da mobilidade eletrificada no Brasil. (ABVE, 2026; BYD US, 2025).

Tabela 3 - Número de vendas de veículos eletrificados no Brasil de 2022 a 2025

PANORAMA DA ELETROMOBILIDADE (VEÍCULOS LEVES) (BEV+ PHEV+ HEV+ HEV FLEX+ MHEV 48V+ MHEV 12V) – Jan/22 a Dez/25														
ANO	TECNOLOGIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL TECNOLOGIA
2022	BEV	366	402	520	459	556	1.090	442	949	1.412	637	727	897	8.457
	PHEV	651	691	506	701	836	859	837	884	2.288	1.158	802	1.290	11.503
	HEV	191	212	38	76	257	198	157	184	287	66	142	191	1.999
	HEV FLEX	1.310	2.057	2.504	1.673	1.527	1.797	1.366	1.620	1.663	1.692	1.863	1.974	21.046
	MHEV	39	73	283	215	211	129	334	612	741	907	1.461	1.234	6.239
	TOTAL	2.557	3.435	3.851	3.124	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.586	49.244
2023	BEV	755	638	587	565	615	618	950	1.167	1.830	2.370	3.197	6.018	19.310
	PHEV	1.637	1.227	2.095	1.162	2.424	2.394	2.597	3.700	3.028	3.429	4.003	5.353	33.049
	HEV	108	296	346	233	482	523	836	1.028	794	1.006	1.010	1.478	8.140
	HEV FLEX	1.346	1.505	1.917	1.800	1.746	1.724	1.861	2.305	1.952	2.042	1.754	2.291	22.243
	MHEV	657	628	1.044	1.033	1.168	966	1.218	1.151	854	690	637	1.139	11.185
	TOTAL	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435	6.225	7.462	9.351	8.458	9.537	10.601	16.279	93.927
2024	BEV	4.358	3.639	6.137	6.705	5.175	5.190	4.703	5.115	4.699	6.109	5.417	4.368	61.615
	PHEV	3.910	3.594	3.128	3.735	3.882	5.047	6.659	5.781	4.869	5.961	6.922	10.521	64.009
	HEV	1.251	869	1.221	1.454	1.360	1.239	977	1.323	1.235	1.391	1.330	1.621	15.271
	HEV FLEX	1.593	1.504	2.020	2.082	2.052	1.736	1.707	1.604	1.540	1.457	1.556	1.427	20.278
	MHEV	914	845	1.107	1.230	1.143	1.184	1.266	844	922	1.115	1.918	3.697	16.185
	TOTAL	12.026	10.451	13.613	15.206	13.612	14.396	15.312	14.667	13.265	16.033	17.143	21.634	177.358
2025	BEV	3.700	4.492	4.801	4.702	6.969	5.912	7.010	7.624	8.169	7.986	7.263	11.550	80.178
	PHEV	6.701	5.884	6.944	7.913	7.581	7.347	8.644	8.057	8.194	9.458	9.680	14.961	101.364
	HEV	1.545	1.148	979	830	1.129	1.384	2.336	2.296	2.112	2.166	2.357	2.765	21.047
	HEV FLEX	610	1.464	1.656	1.314	962	882	1.026	2.245	2.867	1.759	1.909	4.629	21.323
	MHEV 48V	1.063	1.127	1.134	1.131	1.339	1.460	1.439	1.488	1.436	1.948	1.567	1.749	16.881
	MHEV 12V	2.883	2.122	2.395	3.933	4.299	4.348	4.690	3.587	4.341	4.433	3.339	4.089	44.459
	TOTAL	16.502	16.237	17.909	19.823	22.279	21.333	25.145	25.297	27.119	27.750	26.115	39.743	285.252
TOTAL GERAL (2022 A 2025)														605.781

*A partir de janeiro de 2025, a nova classificação da ABVE Data considera como eletrificados os veículos com tração elétrica autônoma e motorização acima de 60V (BEV, PHEV, HEV e HEV Flex), não incluindo os micro-híbridos (MHEV 12V ou 48V).

Fonte: ABVE (2026)

No campo regulatório brasileiro, o Programa MoVer reforça esse cenário ao vincular política social, inovação industrial e descarbonização. O governo federal brasileiro informa que o programa ampliou as exigências de sustentabilidade da frota automotiva, criou o chamado “IPI Verde” para favorecer veículos menos poluentes e estruturou um sistema de créditos financeiros para investimentos em eficiência energética, reciclagem e novas tecnologias. Os valores divulgados pelo próprio governo somam R\$ 19,3 bilhões entre 2024 e 2028, com créditos anuais escalonados, o que evidencia o peso da política pública na transição do mercado

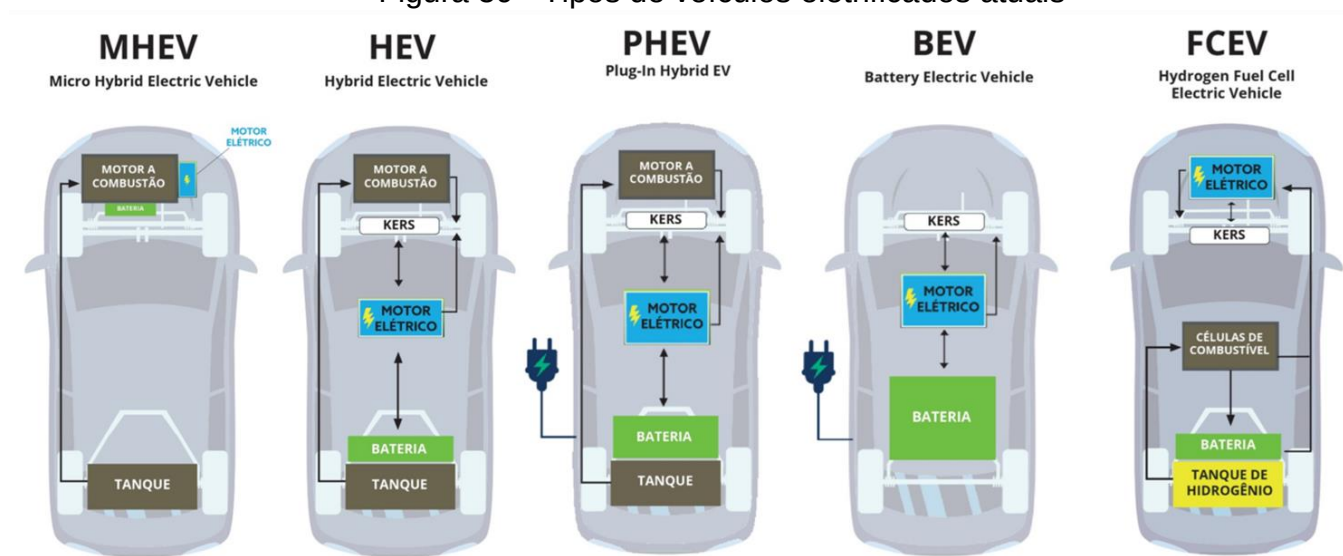
automotivo brasileiro. Em outras palavras, a evolução tecnológica dos EVs no Brasil não ocorre de forma isolada: ela é estimulada por instrumentos regulatórios e industriais que procuram alinhar competitividade, inovação e redução de emissões. (MDIC, 2024; Planalto, 2024).

Dessa forma, a presente seção mostra que o ápice dos veículos eletrificados atuais não está apenas no hiper carro de velocidade extrema, nem apenas no veículo urbano de grande escala, mas na coexistência desses dois extremos – e também de seus intermediários – dentro de um mesmo ecossistema tecnológico. O YANGWANG U9 Xtreme representa a fronteira superior da engenharia de desempenho, enquanto o BYD Dolphin Mini simboliza o sucesso comercial da mobilidade elétrica em ambiente urbano, com ênfase no mercado nacional. Somados ao crescimento global das vendas de eletrificados e à expansão brasileira sob influência do MOVER, esses exemplos demonstram que os anos 2020 consolidaram definitivamente o veículo elétrico como solução de engenharia, politicamente incentivada e industrialmente estratégica. (IEA, 2026; ABVE, 2026; MDIC, 2024; BYD, 2025).

3.14 ARQUITETURAS E TIPOS DE VEÍCULOS ELETRIFICADOS

A mobilidade eletrificada moderna não se organiza em torno de uma solução única de *powertrain*, mas em um conjunto de arquiteturas técnicas desenvolvidas para atender demandas distintas de projeto. Na prática, a engenharia automotiva passou a empregar configurações que variam desde sistemas de eletrificação leve, voltados ao apoio do motor a combustão, até veículos totalmente elétricos e modelos movidos a célula de combustível. Essa diversidade provém do fato de que cada solução responde de maneira diferente a fatores como autonomia, custo, infraestrutura de recarga, nível de emissões locais e complexidade do sistema embarcado. Dessa forma, compreender as principais arquiteturas de veículos eletrificados permite situar, em termos técnicos, as diferentes estratégias adotadas pela indústria automotiva contemporânea. Na imagem 59, abaixo, são apresentadas as principais arquiteturas de veículos eletrificados disponíveis no mercado, de forma global.

Figura 59 - Tipos de veículos eletrificados atuais



Fonte: YellotMob (2024)

O MHEV (*Mild Hybrid Electric Vehicle*) representa a forma mais simples de eletrificação veicular, pois utiliza um conjunto motor elétrico e bateria de 12 ou 48V para auxiliar o motor à combustão, melhorar a eficiência e recuperar energia em desacelerações, mas sem capacidade de tração puramente elétrica. Nesse grupo, podem ser citados, por exemplo, o Volvo XC40 mild hybrid, o Audi A6 family com tecnologia MHEV plus e o Audi Q7/SQ7 com sistema híbrido leve de 48V, além do Chery Tiggo 5X Pro Hybrid, objeto de estudo que será apresentado no decorrer do trabalho. Em termos de engenharia, esse arranjo busca reduzir consumo e emissões sem alterar de forma radical a arquitetura mecânica, o que explica sua ampla adoção em veículos de grande porte e em aplicações nas quais se deseja eletrificação parcial com baixo impacto estrutural (AFDC, s.d.; VOLVO CARS, s.d; AUDI AUSTRALIA, 2024).

O HEV (*Hybrid Electric Vehicle*) combina motor a combustão e motor elétrico, sem necessidade de recarga externa, sendo a bateria abastecida por frenagem regenerativa e pelo próprio motor térmico. Esse tipo de veículo ainda depende do combustível, mas já aproveita melhor a eletrificação para reduzir consumo, suavizar a condução e recuperar energia que seria desperdiçada. Exemplos clássicos dessa categoria incluem o Toyota Camry Hybrid, o Toyota Corolla Hybrid (AFDC, s.d.; Toyota Motor Sales s.d.). Em termos práticos, o HEV ocupa uma posição intermediária entre a motorização convencional e a eletrificação mais profunda, entregando um equilíbrio interessante entre eficiência, autonomia e

simplicidade de uso. Na imagem 60, abaixo, é possível visualizar os dois modelos da Toyota.

Figura 60 - 2024 Toyota Camry Hybrid vs. 2024 Toyota Corolla Hybrid

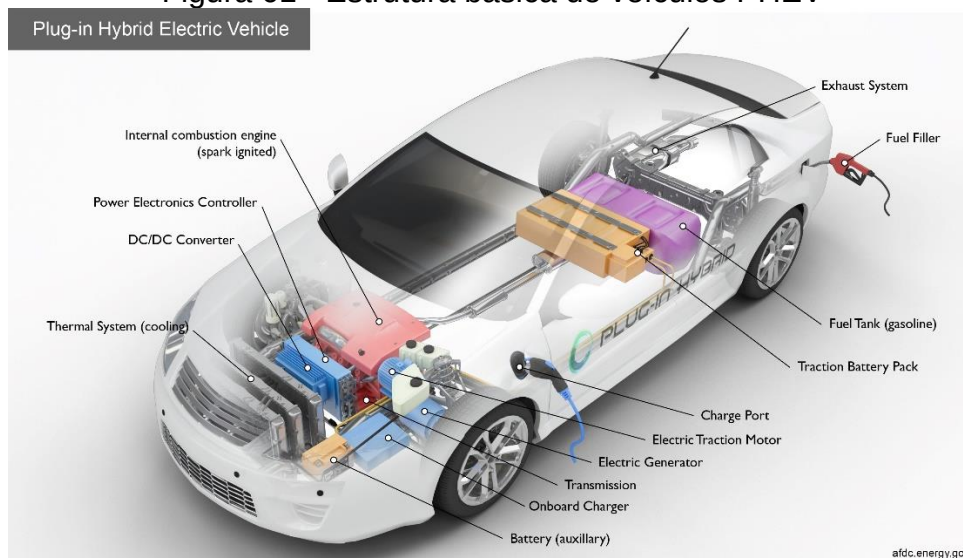


Fonte: Rick Hendrick Toyota Sandy Springs (s.d.)

O PHEV (*Plug-In Hybrid Electric Vehicle*) amplia esse conceito ao permitir recarga externa da bateria, o que dá ao veículo uma autonomia elétrica maior antes da transição para o motor à combustão. Essa arquitetura é particularmente útil para reduzir consumo em trajetos urbanos, sem eliminar a flexibilidade de longas viagens. Como exemplos, podem ser citados o Toyota Prius Plug-in Hybrid, o Toyota RAV4 Plug-in Hybrid e o BMW X5 xDrive50e. Esse tipo de solução costuma ser visto como uma etapa de transição tecnológica importante, porque combina a lógica da mobilidade elétrica com a praticidade operacional dos veículos híbridos tradicionais (AFDC, s.d.; BMW of North America, s.d.; Toyota Motor Sales, 2026).

Na figura abaixo é possível visualizar a estrutura dos Veículos Híbridos Plug-in, com componentes indicados em um modelo genérico.

Figura 61 - Estrutura básica de veículos PHEV



Fonte: AFDC (s.d.)

O BEV (*Battery Electric Vehicle*) é o veículo totalmente elétrico, movido exclusivamente por um ou mais motores elétricos, alimentados por bateria de tração recarregável externamente. Nesse caso, não há motor a combustão nem escapamento, o que elimina emissões locais durante a operação. Como exemplos atuais desse grupo, podem ser citados o Tesla Model 3, visível na figura 62 abaixo, e o Volvo EX30. Do ponto de vista de engenharia, o BEV representa a solução mais direta e completa de eletrificação, mas também aquela que mais depende da infraestrutura de recarga e da capacidade energética do conjunto de baterias (AFDC, s.d.; Tesla, s.d.; Volvo Cars, s.d.)

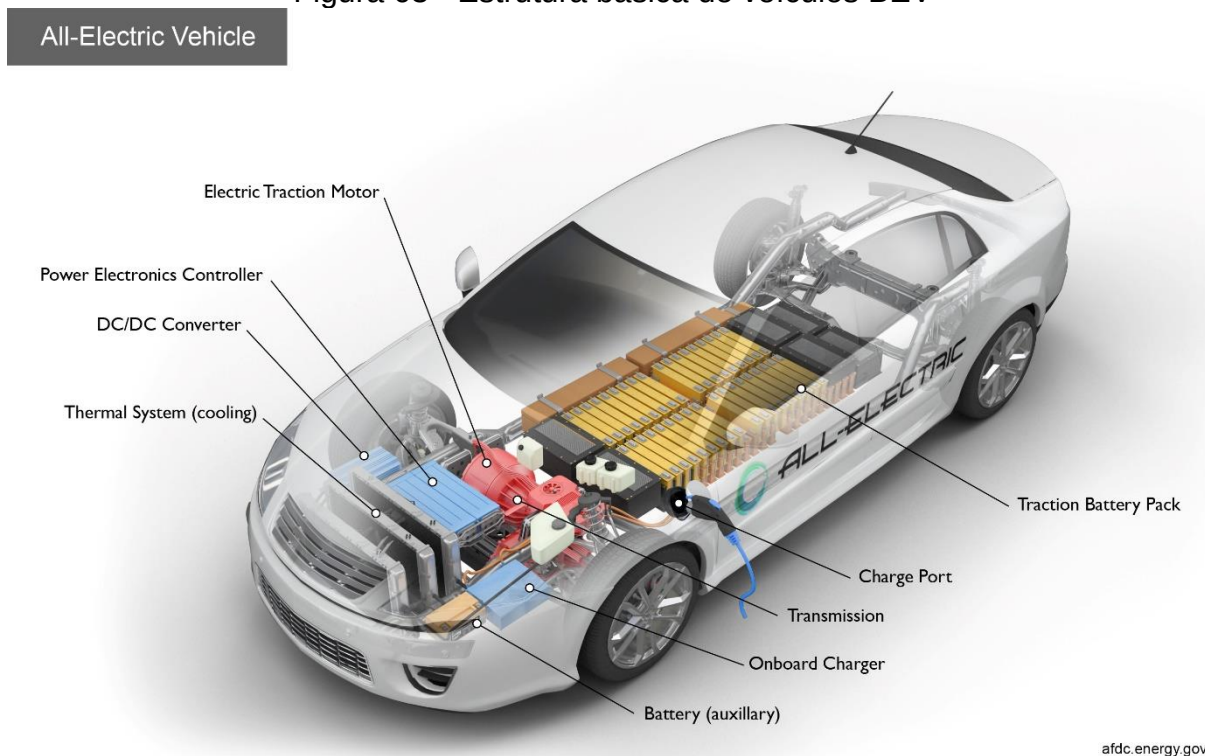
Figura 62 - Tesla Model 3 em carregamento



Fonte: Alaniz (2019)

Na imagem abaixo, também da *Alternative Fuels Data Center*, é apresentada a configuração básica de quaisquer veículos puramente elétricos, os BEV, indicando componentes do sistema.

Figura 63 - Estrutura básica de veículos BEV



Fonte: AFDC (s.d.)

Por fim, o FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*) também utiliza motor elétrico para tração, porém gera eletricidade por meio de uma célula de combustível alimentada por hidrogênio. Entre os exemplos mais conhecidos estão o Toyota Mirai, o Honda CR-V e:FCEV e o Hyundai NEXO. Essa arquitetura oferece reabastecimento rápido e operação sem emissões de poluentes locais, mas depende fortemente da infraestrutura de hidrogênio, ainda limitada em muitos mercados (Honda Automobiles USA, 2025; Toyota Motor Sales, 2026).

Na imagem 64, abaixo, é possível visualizar o modelo da Honda movido a tecnologia de célula de combustível, visíveis nas imagens como cilindros amarelos alocados na parte traseira do modelo.

Figura 64 - Projeção do Honda CR-V e:FCEV



Fonte: Fortunatti (2024)

Em suma, as diferentes configurações de eletrificação não devem ser compreendidas como etapas rígidas de uma evolução linear, mas como respostas técnicas desenvolvidas para atender requisitos distintos de projeto. O MHEV prioriza simplicidade e menor interferência sobre a arquitetura original, o HEV equilibra economia e autonomia sem depender de recarga externa, o PHEV amplia a condução elétrica com flexibilidade de abastecimento, o BEV maximiza o uso da propulsão elétrica e o FCEV propõe uma alternativa baseada em hidrogênio para aplicações específicas. Em termos de engenharia automotiva, cada configuração representa um compromisso diferente entre custo, autonomia, infraestrutura e complexidade.

A coexistência dessas arquiteturas evidencia que a eletrificação não consiste apenas na substituição de uma fonte de energia motriz por outra, mas em uma redefinição gradual da própria concepção do veículo. Nesse processo, elementos tradicionalmente mecânicos passam a dividir o protagonismo com sistemas eletrônicos, software embarcado, gerenciamento energético e redes de comunicação, ampliando significativamente a integração entre diferentes áreas da engenharia. Assim, a mobilidade eletrificada contemporânea deve ser entendida

não como a convergência para uma solução única, mas como a consolidação de um novo cenário tecnológico caracterizado pela coexistência de múltiplas arquiteturas e pela crescente integração entre eletrificação, eletrônica embarcada e conectividade.

3.15 A CONSOLIDAÇÃO DA MECATRÔNICA E DA REDE CAN NA MOBILIDADE ELETRIFICADA

Ao longo do desenvolvimento da mobilidade eletrificada, observou-se que a evolução dos veículos elétricos não ocorreu apenas pelo avanço isolado das baterias ou motores elétricos, mas principalmente pela integração entre a mecânica automotiva clássica e moderna, da eletroeletrônica de controle e de potência, da computação e sistemas embarcados avançados de comunicação.

Os primeiros veículos elétricos modernos, especialmente durante o final do século XX, ainda apresentavam limitações significativas relacionadas à autonomia, controle térmico, desempenho, gerenciamento energético e confiabilidade operacional. Além disso, grande parte dos sistemas eletroeletrônicos operavam de maneira relativamente limitada e descentralizada, dificultando estratégias mais avançadas de monitoramento e controle. Com a evolução dos sistemas embarcados, dos semicondutores de potência e da engenharia de software, os veículos eletrificados passaram gradativamente a incorporar arquiteturas eletrônicas mais sofisticadas, capazes de supervisionar e integrar diferentes subsistemas em tempo real.

Nesse contexto, a Mecatrônica assumiu papel fundamental na consolidação da mobilidade eletrificada moderna. A integração entre sensores, atuadores, unidades de controle eletrônico (ECUs), sistemas supervisórios e softwares embarcados tornou possível a implementação de estratégias avançadas de gerenciamento energético, controle dinâmico e adaptável, segurança funcional e eficiência operacional. Sistemas como o *Battery Management System* (BMS), os inversores de frequência, gerenciamento térmico e sistemas regenerativos passaram a operar de forma coordenada através de redes de comunicação automotiva, com destaque para a Controller Area Network (CAN).

Conforme discutido anteriormente neste trabalho, a rede CAN tornou-se elemento essencial para a troca contínua de informações entre módulos eletrônicos, permitindo que parâmetros como torque, corrente, tensão, temperatura, estado e limites de carga e descarga e desempenho do veículo fossem monitorados e processados em tempo real. Dessa forma, pode-se afirmar que a evolução dos veículos eletrificados está diretamente associada à evolução da própria arquitetura mecatrônica automotiva.

A década de 2020 evidencia a consolidação definitiva dessa transformação tecnológica. Veículos urbanos compactos – como o BYD Dolphin Mini e muitos outros que não foram citados – já incorporam arquiteturas avançadas de gerenciamento eletrônico, sistemas de carregamento rápido, baterias de elevada densidade energética e integração digital avançada, enquanto hipercarros elétricos, como o YANGWANG U9 Xtreme e o Rimac C_Two, demonstram níveis extremamente avançados de controle inteligente de seus sistemas, eletrônica potência muito avançada e integração entre software e hardware demasiada rápida e eficiente. Paralelamente, políticas públicas e programas de incentivo, como o Programa MOVER no Brasil, reforçam a importância estratégica da eletrificação automotiva para a indústria, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento tecnológico nacional.

Assim, a mobilidade eletrificada contemporânea pode ser compreendida não apenas como uma evolução dos sistemas de propulsão, mas como resultado direto da consolidação da Mecatrônica, da Eletrônica Embarcada e da Comunicação Digital como pilares fundamentais da engenharia automotiva moderna.

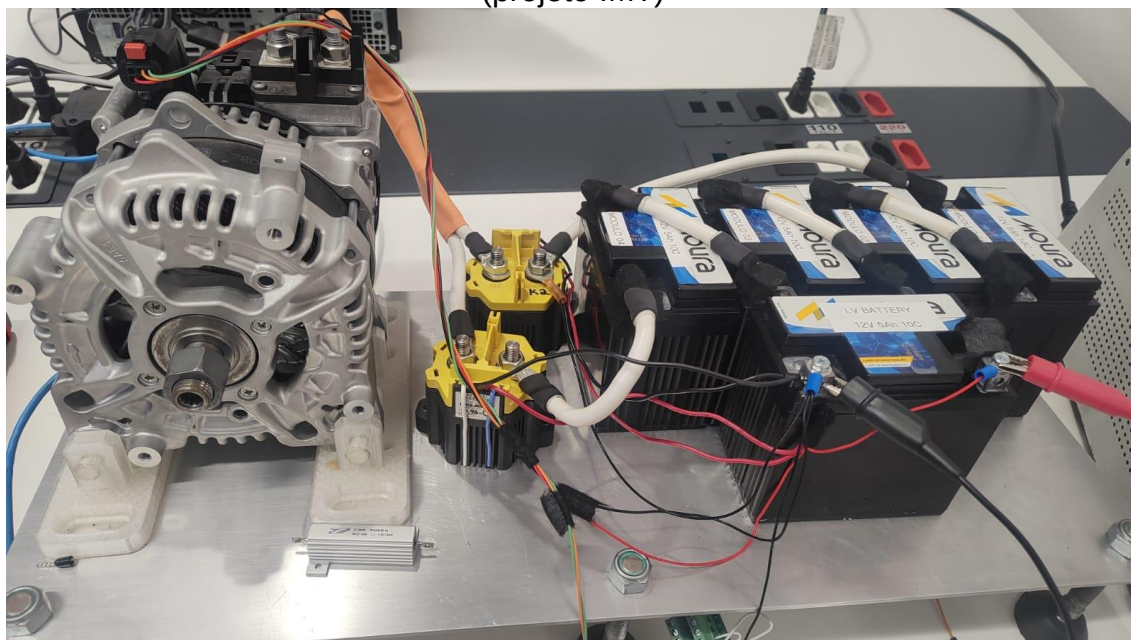
4 ESTUDO DE CASO – BANCADA DIDÁTICA E VEÍCULO HÍBRIDO (MBEV - BSG)

Durante a definição da pesquisa, constatou-se a viabilidade de elaborar uma bancada que conseguisse demonstrar de forma efetiva as capacidades técnicas da Rede CAN.

4.1 BANCADA DIDÁTICA DE REDE CAN

Após discussões com profissionais e docentes da área, decidiu-se utilizar um Gerador de Arranque Reversível controlado por um pedal de acelerador eletrônico, com comunicação e controle via rede CAN, utilizando ferramentas dedicadas. A inspiração surgiu por um modelo didático usado no laboratório de veículos elétricos do Instituto de Tecnologia Mauá, que consiste na arquitetura explicada anteriormente. A figura 65 apresenta do denominado BRM, utilizado na bancada didática citada, junto do conjunto de alimentação.

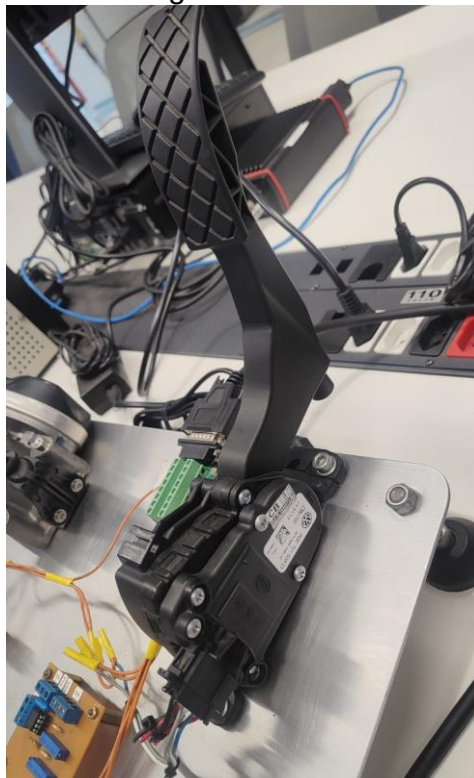
Figura 65 - Projeto com BRM da SEG Automotive e CANoe da Vector Informatik (projeto IMT)



Fonte: Próprio autor (2025)

A figura 66 apresenta o pedal de acelerador utilizado na bancada didática citada, montado em estação de controle da bancada.

Figura 66 - Pedal do Volkswagen UP utilizado como Input via CANoe.



Fonte: Próprio autor (2025)

4.2 INTEGRATED BELT START GENERATOR (iBSG)

O iBSG [*Integrated Belt Start Generator*, ou Gerador de Partida por Correia Integrado] de 48V é um Gerador de Arranque Reversível acionado por Correia, que é instalado no motor do carro em substituição do alternador e transforma o veículo em um MHEV (Veículo Elétrico Híbrido Leve).

Proporciona uma economia de combustível de até 6% no ciclo WLTP em comparação com um sistema *Start-Stop* convencional. [...] o gerador de partida por correia de 48V garante a frenagem regenerativa para recuperar energia durante as fases de desaceleração e frenagem. Essa energia é armazenada em uma bateria de 48V para ser reutilizada no auxílio do motor a combustão e reduzir seu consumo de combustível. (VALEO, 2024, s.p.)

O BSG escolhido é um modelo i-BSG4U035, aplicado nos veículos Chery Tiggo 5x Pro Hybrid e Tiggo 7 Pro a partir de 2022, assistindo o conjunto *powertrain* com entrega de torque em arrancadas e retomadas, start-stop inteligente e regeneração de energia elétrica – que posteriormente é utilizada pelo componente e pelo sistema 12V. A figura 67, a seguir, apresenta o componente iBSG, do lado esquerdo, e sua montagem junto aos demais componentes associados, do lado direito.

Figura 67 - iBSG da Valeo



Fonte: EV Tech News (2020)

O equipamento é composto de um inversor de frequência DC-AC, que recebe os 48V DC e converte para três fases defasadas em 120°, que alimentam e controlam o PMSM, um Motor Síncrono de Imãs Permanentes, por modulação de largura de pulso (PWM). Este motor gera até 13,2 KW, ou cerca de 18 CV, e torque nominal de 30 Nm, com picos superiores a 300 A em corrente contínua e eficiência superior a 90%, segundo a fabricante (Valeo, 2024). Esse componente, assim como seus similares, é aplicado em veículos híbridos leves e controlado pela mesma ECU que controla o ICE, através da rede CAN.

Este é o principal componente da bancada didática objetivada no projeto, o próprio i-BSG4U035, que pode ser visualizado e identificado nas imagens abaixo (figuras 68 e 69).

Figura 68 - iBSG, da Valeo, corpo e polia (2022)



Fonte: Próprio autor (2025)

Figura 69 - iBSG, da Valeo, Etiqueta de identificação



Fonte: Próprio autor (2025)

O iBSG, assim como seus similares, é controlado dentro do barramento CAN e necessita de um mapeamento de seus sinais elétricos, de seus valores digitais, para comunicar-se efetivamente com a ECU e ter pleno funcionamento. Esse documento funciona como um “manual de instruções” para interpretar os dados contidos no barramento. Trata-se do DBC. Segundo Verma et. al. (2021), sem o mapeamento que correlaciona os bits no barramento CAN com as grandezas físicas do iBSG, como torque, potência, velocidade - RPM, consumo de energia e afins, os dados seriam ininterpretáveis.

4.3 ENSAIOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

Para otimização da simulação em bancada, tomou-se a decisão de adquirir dados reais – de um veículo real transitando em situações reais de vias públicas – pois, sem ter o Mapa de endereçamento via rede CAN, o DBC mencionado anteriormente, acreditava-se ser o único modo de conseguir os dados necessários para a confecção da bancada, além da possibilidade de melhor compreensão das informações via bits e comportamento mais realista da própria bancada. Além da finalidade de aquisição de dados, não haveria possibilidade melhor de comprovar a atuação real da rede CAN em um veículo híbrido atual, extraindo um exemplo real da evolução dessa tecnologia.

Visando tal objetivo de ensaios, devido ao modelo já adquirido do iBSG da Valeo em parceria com a montadora Chery, a busca pelo veículo híbrido a ser instrumentado e utilizado em aquisição de dados foi o Chery Tiggo 5X Pro Hybrid, proveniente de uma parceria com uma concessionária da montadora, localizada no estado de São Paulo.

O modelo em questão pode ser visualizado nas imagens abaixo (70 e 71), versão idêntica a utilizada nos ensaios.

Figura 70 - Chery Tiggo 5X Pro Hybrid - traseira



Fonte: Revista Quatro Rodas (2023)

Figura 71 - Chery Tiggo 5X Pro Hybrid - dianteira

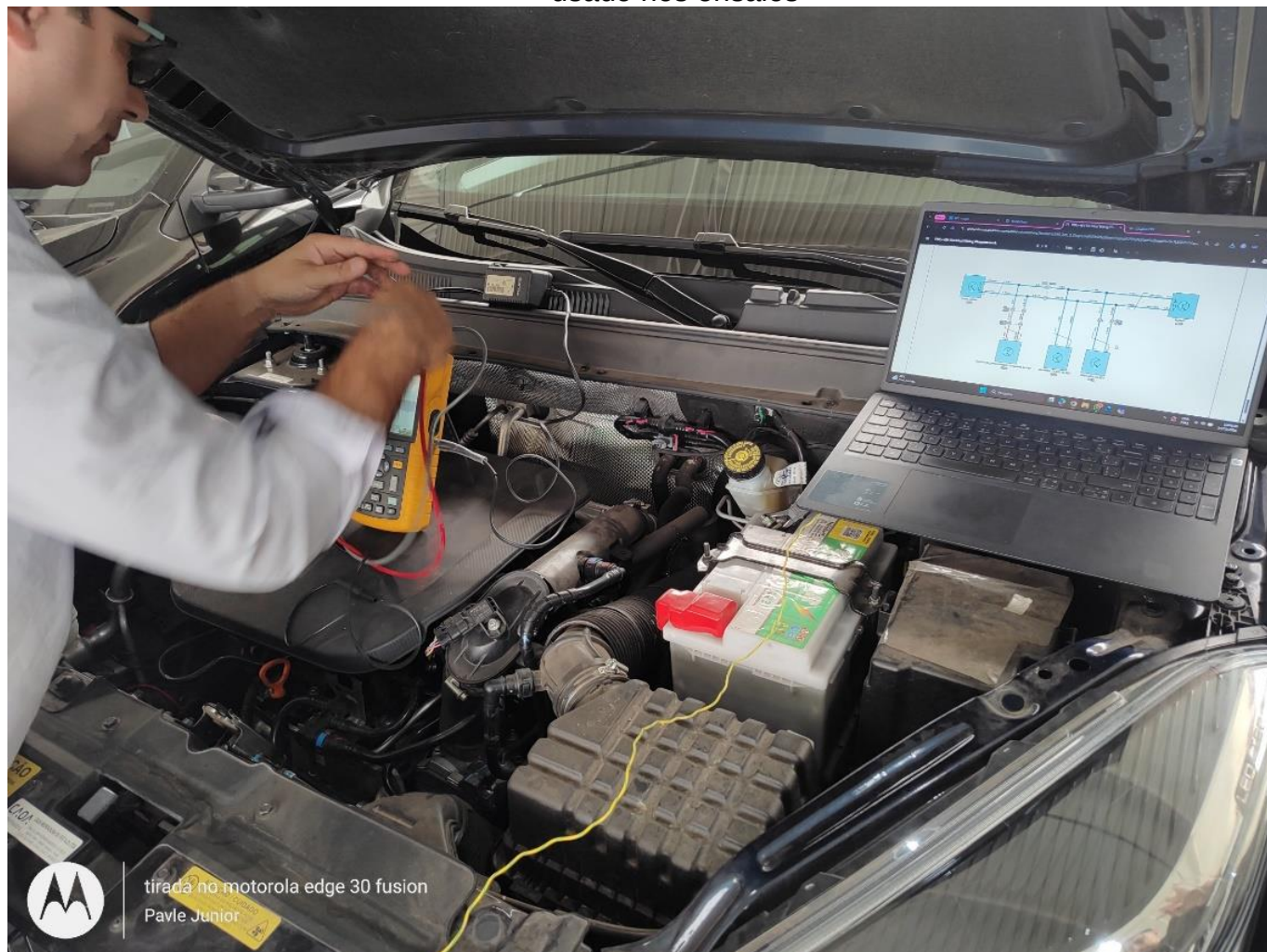


Fonte: Revista Quatro Rodas (2023)

Para a realização da aquisição e tratamento de dados com precisão, a realização dos ensaios com segurança e maestria, efetivou-se a parceria com nomes já citados anteriormente – representantes do time Caoa Chery e T Systems – a fim de ter domínio do veículo de testes, dos instrumentos e softwares utilizados. Nas imagens abaixo (72, 73 e 74) é possível visualizar fragmentos do estudo da ligação elétrica, do barramento CAN, do veículo híbrido utilizado, da

instrumentação realizada com instrumentos/ferramentas de nível profissional, a configuração do software CANape, da Vector Informatik juntamente do hardware que foi utilizado para essa comunicação.

Figura 72 - Instrumentação para rede CAN no veículo Chery Tiggo 5X Pro Hybrid usado nos ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

Figura 73 - Configuração de comunicação via rede CAN com módulo do iBSG no veículo Chery Tiggo 5X Pro Hybrid



Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

Figura 74 - Hardware de comunicação via CAN com sistema Vector CANape, cabo dedicado confeccionado para os ensaios e cabo Vector D-SUB9 (RS 232)



Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

A instrumentação e demais preparativos para os testes de rodagem seguiram a seguinte sequência:

Em paralelo a verificações de segurança, como validação de isolamento do sistema de alta tensão e alta corrente, estudou-se o diagrama elétrico do veículo com base em manuais técnicos da montadora, além dos conhecimentos do profissional do time Caoa Chery, para análise dos pontos possíveis de comunicação com o barramento CAN. Foi realizada a verificação de pontos com multímetro e a identificação do barramento CAN, para que se pudesse efetuar a instrumentação de acordo com a orientação do mapa do barramento, como é possível visualizar na imagem 66 acima, e também do hardware do veículo, atendido um par de fios, responsáveis pela transmissão de dados, e aterramento como referencial, na imagem 74.

Após a verificação da correta instrumentação do veículo, a comunicação com o computador utilizado foi feita via hardware dedicado, um cabo D-SUB9 (RS 232) da Vector, que garante comunicação para alimentação do Software da Vector, a CANape, visto na figura 73 acima. Esse software possibilitou a leitura do fluxo de dados presentes no barramento CAN, antes dos ensaios, para a verificação da comunicação e do sincronismo, etapa que foi feita com o veículo ligado – com ICE e BSG em funcionamento – mas estacionado no interior da concessionária, como é possível ver na imagem 75 abaixo. Logo em seguida deu-se início aos ensaios de rodagem, com monitoramento em tempo real via CANape, para aquisição dos dados relevantes do i-BSG4U035.

Foram realizados 3 ensaios em rodovia pública, representados pela imagem 76 a seguir, com critérios diferentes estabelecidos como: velocidade constante, RPM constante e variações abruptas dos dados, gerados por aceleração e frenagem. O primeiro critério teve o objetivo de identificar qual endereço hexadecimal no barramento referia-se a variável da velocidade do veículo, pois outras grandezas – como rotação – poderiam variar em aclives e declives, mas a velocidade deveria se manter fixa. O segundo critério teve como objetivo encontrar o endereço, no barramento, que se referia a variável rotações por minuto, do motor a combustão, independente de fatores como velocidade. Embora dados do motor a combustão pareçam menos relevantes que do iBSG, essa grandeza permite correlacionar o consumo de energia e aceleração, além do desenvolvimento de marchas, com a geração e consumo de energia do dispositivo elétrico. O critério

para o terceiro ensaio, que era a rápida variação de velocidade em aceleração e desaceleração, tem como base a mudança de estado abrupta de variáveis hexadecimais como velocidade, RPM e outras.

Após a realização dos ensaios, foram registradas mais de dezenove mil linhas de dados para confecção de banco de dados próprio, este que foi analisado previamente e semi tratado para a tentativa de mapeamento das grandezas, vide imagem 77, o que possibilitaria a criação de um DBC exclusivo para o iBGS usado neste projeto

Figura 75 - Verificação de comunicação e sincronismo em veículo já instrumentado



Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

Figura 76 - Teste de rodagem em rodovia



Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

Figura 77 - Banco de dados em hexadecimal, pré tratado após teste de rodagem

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	1ª Gravação			2ª Gravação			3ª Gravação			4ª Gravação			5ª Gravação		
	ID	Evento		ID	Evento		Color	Color		ID	Evento		ID	Evento	
	170	904		120	1182		1C1	904		1B1	904		1B1	904	
	15A	904		140	1182		170	903		1C1	904		1C1	904	
	1B1	904		15A	1182		120	903		15A	902		15A	903	
	1C1	904		170	1182		140	903		170	902		170	903	
	120	903		20B	591		1B1	903		120	902		120	903	
	140	903		222	591		15A	902		140	902		140	903	
	202	453		23A	591		202	452		21E	452		23A	903	
	282	453		24E	591		282	452		430	452		222	452	
	222	452		26F	591		222	452		202	452		202	452	
	430	452		430	591		23A	452		282	452		24E	452	
	20B	452		202	591		24E	452		222	452		26F	452	
	21E	452		282	591		26F	452		23A	452		202	452	
	23A	452		4D4	118		430	452		24E	452		282	452	
	24E	452		4D2	118		20B	451		26F	452		430	452	
	26F	452		4D6	118		21E	451		20B	451		21E	452	
	482	91		4D0	118		4D2	91		482	91		20B	451	
	4D2	91		453	24		4D6	91		4D2	91		4D4	91	
	4D4	91		31C	24		482	90		4D6	91		4D0	90	
	4D6	91		600	12		4D4	90		4D0	90		4D2	90	
	4D0	90		601	12		4D0	90		4D4	90		4D6	90	
	453	18					453	18		31C	18		482	90	
	31C	18					31C	18		453	18		31C	18	
	600	9					601	9		600	9		453	18	
	601	9					600	9		601	9		601	9	
							700000	5		700000	5		600	9	
							7ED	5		7ED	5		700000	4	
													7ED	4	

Fonte: Elaborado pelo autor durante ensaio experimental (2025)

4.4 EXECUÇÃO DA BANCADA iBSG – CAN

Por meio de prospecção tecnológica no mercado de sistemistas automotivas – especificamente com a Valeo Automotive, fabricante do iBSG – e com a aquisição de uma bancada para testes automotivos capaz de comportar o projeto, o desenvolvimento prático foi impulsionado para a confecção da bancada didática idealizada. Na imagem 78, a seguir, é possível visualizar a estrutura da bancada, do modelo ECB 120A da fabricante Kita, que idealmente é usada para testes e demonstração de alternadores automotivos tradicionais. No projeto original, o motor trifásico presente na parte traseira da bancada recebe energia de um inversor de frequência que é alimentado pela rede em 380 Volts, o motor converte essa em energia mecânica que, ligado por um sistema de polia-correia, movimenta o alternador que esteja preso a bancada. Este componente, por sua vez, gera energia elétrica em corrente contínua com 12 Volts, padrão automotivo,

que passa por um amperímetro analógico, para aferição de sua eficiência, e posteriormente carrega uma bateria automotiva, como a apresentada no lado direito da figura.

Figura 78 - Bancada de testes Kita ECB 120A



Fonte: Próprio autor (2026)

Para a adaptação do banco de provas, fora realizada a remoção do suporte original de alternadores e substituído por um feito exclusivamente para o iBSG da Valeo. Como o conjunto funcionará em rotações controladas e a única carga será o motor trifásico conectado por polia-correia, o suporte escolhido é de posição fixa e sem regulagens. Para confecção da nova base, foram realizadas medições de furações e encaixes na bancada Kita e, posteriormente, todas essas medidas serviram de alicerces para a confecção do novo dispositivo. Este passou por corte, furação e acabamento superficial visando segurança dos usuários da bancada.

Na imagem abaixo, é possível visualizar a base do componente ainda em fase de montagem. Foram verificadas as fixações na bancada e também do moto-alternador, o alinhamento de sua correia e o paralelismo com o eixo do motor trifásico, além de alguns outros ajustes mecânicos.

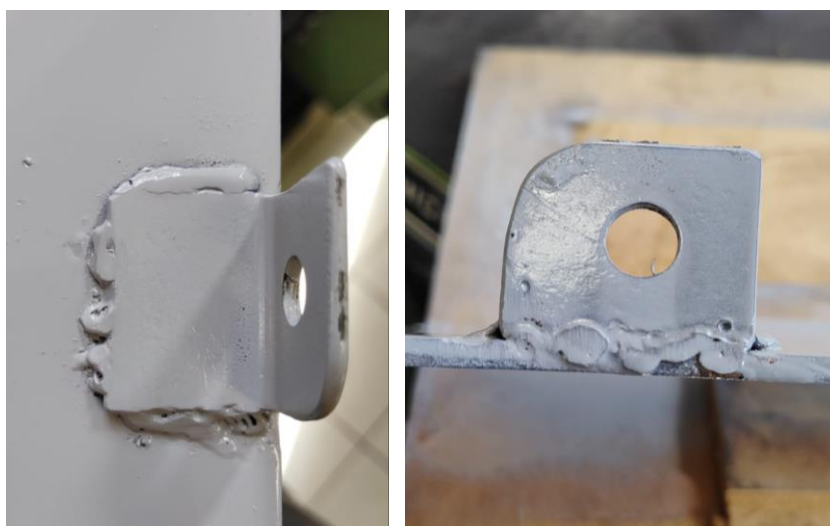
Figura 79 - Adaptação do iBSG na bancada Kita



Fonte: Próprio autor (2026)

Posteriormente a verificação da montagem do conjunto, os suportes de fixação do iBSG foram soldados a chapa-base e o conjunto foi pintado, principalmente por proteção a corrosão e estética, como é possível visualizar na figura 80, abaixo.

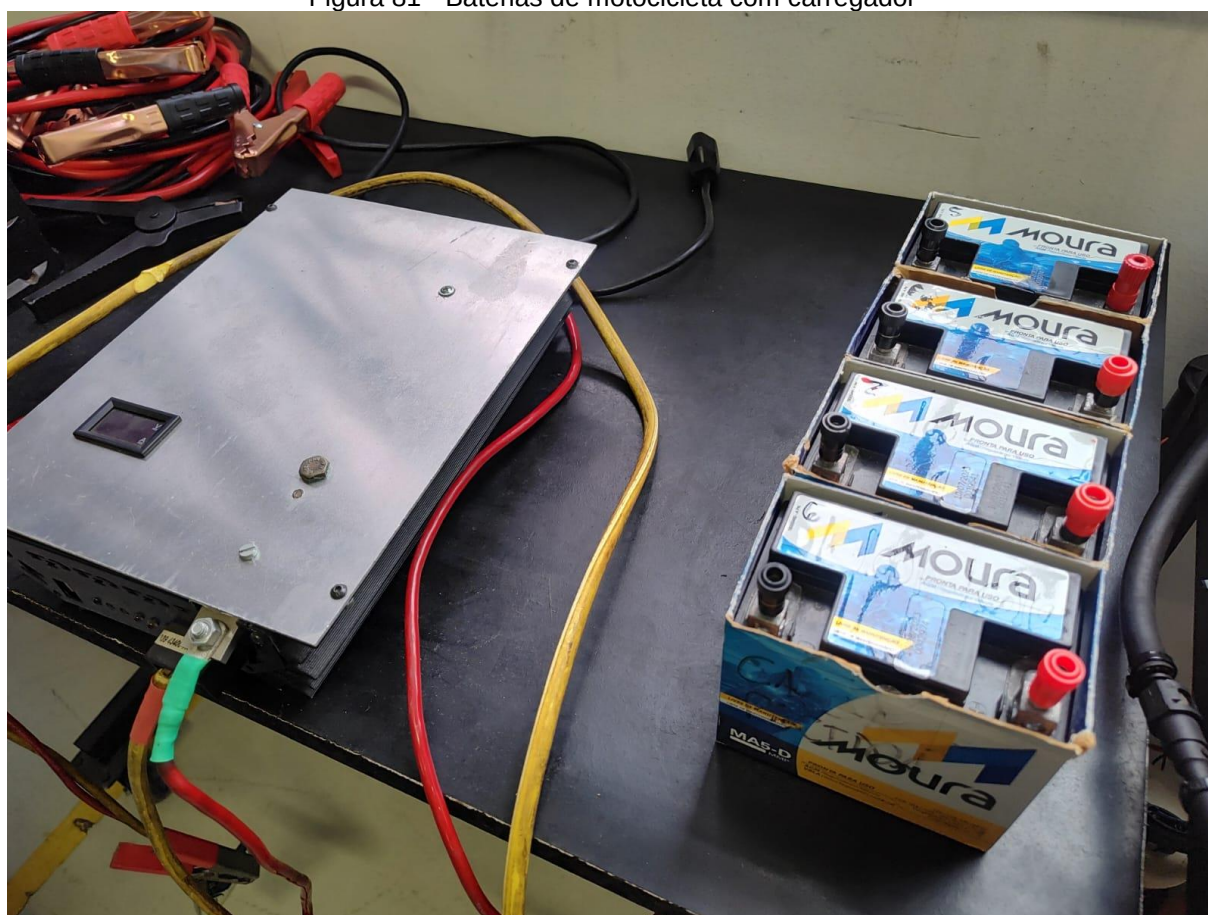
Figura 80 - Soldagem e pintura da base do iBSG



Fonte: Próprio autor (2026)

Para a alimentação do conjunto, após orientações do fabricante do principal componente, o iBSG, e do docente que já havia desenvolvido o projeto similar apresentado anteriormente, optou-se pela utilização de 4 baterias automotivas, mais especificamente de motocicletas, para obtenção dos 48 V (ligação em série de 12 V) e de capacidade de carga suficiente para realização dos ensaios e demonstrações. Na figura abaixo é possível visualizar as baterias – usadas de forma didática, anteriormente, com adaptações em seus terminais – prestes a serem verificadas e carregadas.

Figura 81 - Baterias de motocicleta com carregador



Fonte: Próprio autor (2026)

Para a correta utilização das baterias, os terminais do tipo *jumper* foram removidos, possibilitando assim a utilização de barras condutoras para a ligação em série do *pack*, feitas de alumínio comercial, confeccionadas com 4 mm de espessura, 12 mm de largura e 140 mm de comprimento, com furos de 8 mm distanciados em 115 mm, para fixação nos terminais.

O Mesmo tipo de fixação foi utilizado para os cabos condutores, de 16 mm² de seção transversal, presos com terminal do tipo olhal, configuração que pode ser visualizada na figura 82, abaixo.

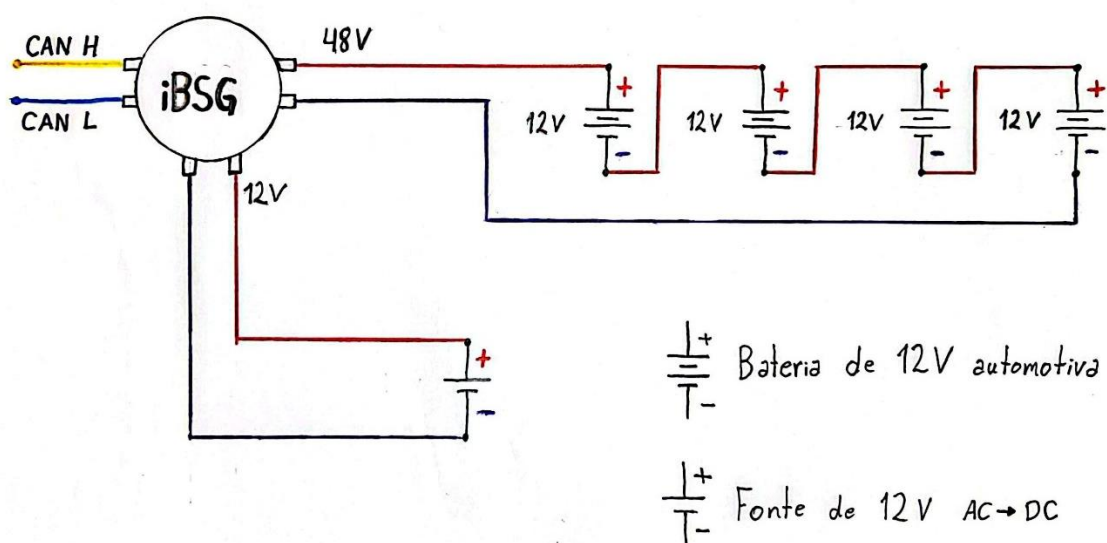
Figura 82 - Pack de baterias de 48 V, adaptado para bancada de ensaios



Fonte: Próprio autor (2026)

Para a formalização e melhor compreensão da ligação do pack de baterias apresentado acima, é representado abaixo o diagrama elétrico do projeto, na imagem 83. O diagrama representa, de forma simplificada, não somente a ligação elétrica do pack de baterias, mas também da fonte de 12 V que alimenta o inversor de frequência interno do iBSG e as cores dos fios CAN High e CAN Low. O esquema abaixo foi elaborado manualmente e passou por processo de digitalização com o aplicativo *CamScanner*, para smartphones

Figura 83 - Diagrama elétrico da alimentação do iBSG



Fonte: Próprio autor (2026)

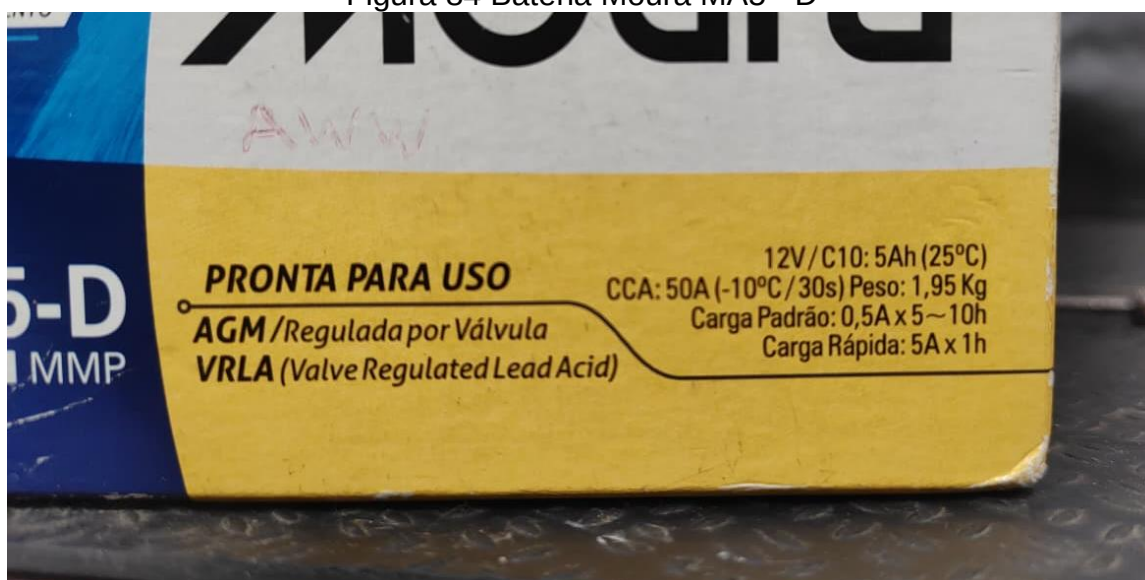
As baterias utilizadas, modelo MA5 – D da fabricante Moura apresentam as configurações listadas na tabela 4, que poderão ser verificadas na embalagem do produto, apresentado na imagem 84 a seguir:

Tabela 4 - Configurações da Bateria MA5 - D

Parâmetro	Valor
Tensão nominal	12 V (25°C)
Tensão carregada	~ 12,8 V a 13,5 V
Tensão descarregada	~ 11,5 V
Capacidade	5 A/h
Energia total	~ 60 W/h
Energia recomendada para uso	~ 30 W/h
Corrente ideal para uso	~ 1 a 5 A
Pico de corrente - curto	~ 10 a 20 A
Pico de corrente - extremo	~ 50 A
tecnologia	AMG VRLA (<i>Valve Regulated Lead Acid</i>)

Fonte: Próprio autor (2026)

Figura 84 Bateria Moura MA5 - D



Fonte: Próprio autor (2026)

Considerando que fora montado um *pack* de baterias, ligando 4 dessas em série, temos as seguintes configurações:

Tabela 5 - Configurações do pack de 4 baterias MA5 - D

Parâmetro do Pack	Valor
Tensão nominal	48 V (25°C)
Tensão carregada	~ 48,5 a 54,5 V
Tensão descarregada	~ 43 V
Capacidade	5 A/h
Energia total	~ 240 W/h
Energia recomendada para uso	~ 120 W/h
Corrente ideal para uso	~ 1 a 5 A
Pico de corrente - curto	~ 10 a 20 A
Pico de corrente - extremo	~ 50 A
tecnologia	AMG VRLA (<i>Valve Regulated Lead Acid</i>)

Fonte: Próprio autor (2026)

O sistema iBSG, da Valeo, que será alimentado pelo *pack* e controlado por meio do software CANoe, desenvolvido pela Vector Informatik, é o objeto deste estudo de caso, de forma a demonstrar – na prática – a capacidade da Mecatrônica Automotiva, utilizando comunicação via rede CAN.

A proposta busca evidenciar a capacidade de integração e controle proporcionada pela arquitetura da Bosch, na qual comandos e informações diversas podem ser transmitidos utilizando apenas os sinais CAN *High* (CAN H) e CAN *Low* (CAN L).

Por meio do ambiente CANoe, apresentado na imagem abaixo, será possível alterar parâmetros relacionados ao funcionamento do sistema, como torque, rotação e estratégias de carga e descarga elétrica, demonstrando na prática parte dos princípios de comunicação distribuída discutidos anteriormente neste trabalho.

Figura 85 - Vector's CANoe - Open Environment



Fonte: Vector Informatik GmbH (2025)

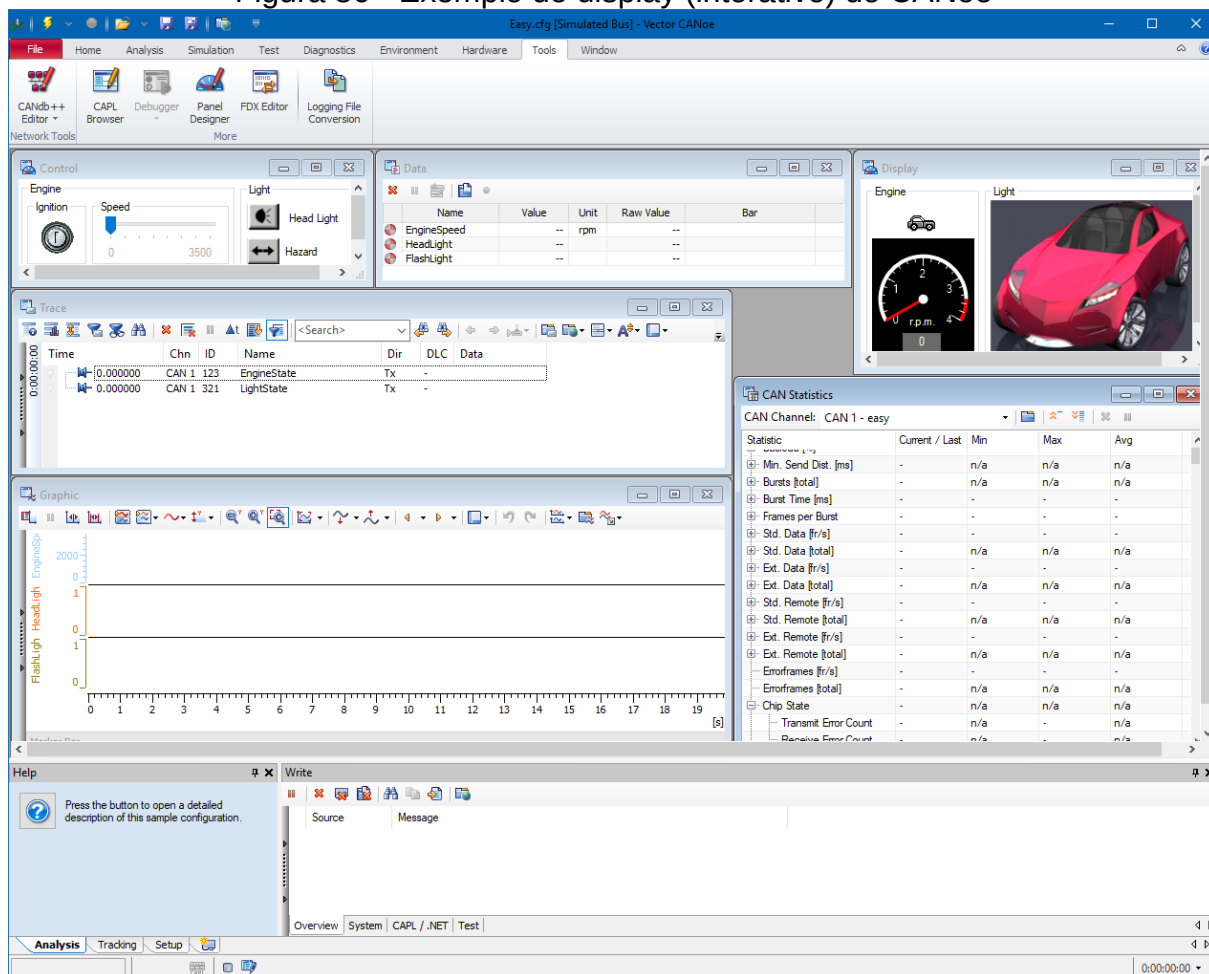
O CANoe é um software/ambiente profissional amplamente utilizado na indústria automotiva, por montadoras e desenvolvedores, para simulação, monitoramento, análise e desenvolvimento de redes veiculares baseadas em protocolos como CAN, LIN, CAN FD, FlexRay e Ethernet. Sua arquitetura permite não apenas a visualização do tráfego de mensagens no barramento, mas também a simulação de unidades eletrônicas de controle (ECUs), interpretação de sinais e desenvolvimento de estratégias de teste e validação para sistemas embarcados automotivos (Vector Informatik, 2025).

Uma das principais características do CANoe é a utilização de arquivos DBC (*Database CAN*), responsáveis por estruturar e interpretar as mensagens transmitidas no barramento CAN, funcionando como uma espécie de mapa para todos os dispositivos ligados à rede. O arquivo DBC define parâmetros como identificadores das mensagens (cabecinhos), unidades físicas e relações matemáticas entre os dados transmitidos e seus respectivos significados funcionais. Dessa forma, o software deixa de interpretar os dados apenas como sequências binárias ou hexadecimal e passa a tratá-los como variáveis de

engenharia compreensíveis ao operador, permitindo o monitoramento e controle de parâmetros como torque, rotação, tensão, corrente e temperatura.

Para exemplificar melhor o ambiente utilizado pelo operador do software, a figura 86 abaixo representa a interface gráfica – um exemplo padrão da própria desenvolvedora.

Figura 86 - Exemplo de display (interativo) do CANoe

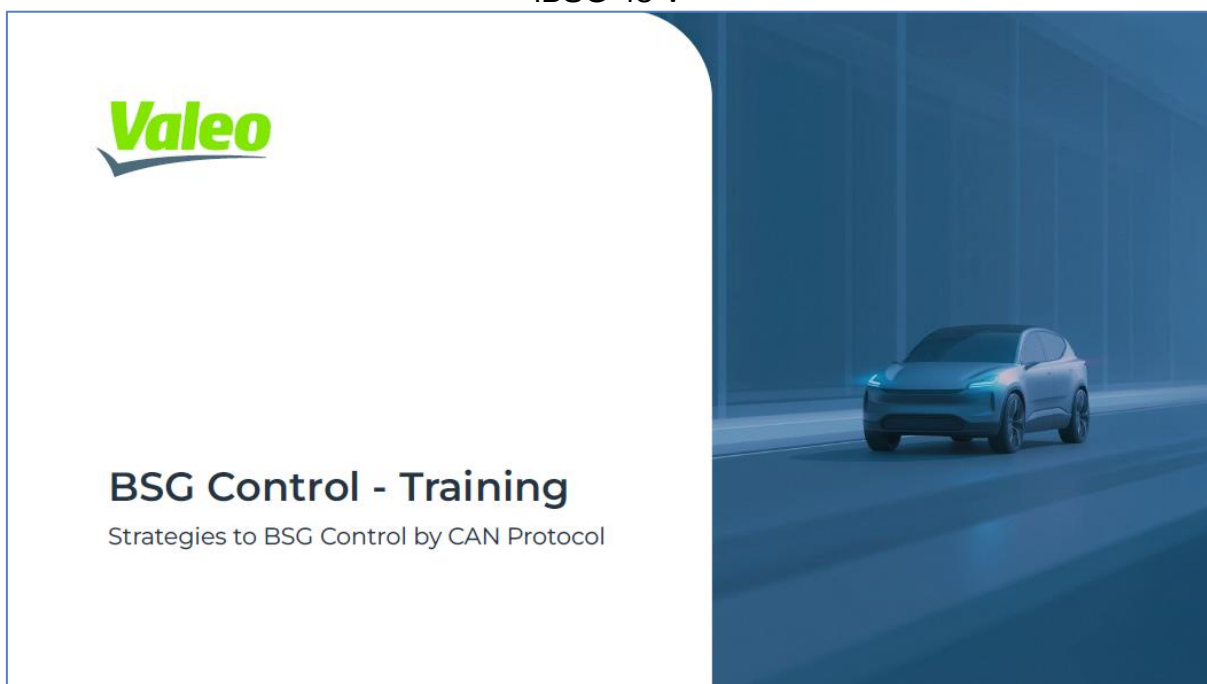


Fonte: Radimation Wiki (s.d.)

No projeto desenvolvido neste trabalho, o CANoe será utilizado como ferramenta de controle do iBSG da Valeo, permitindo o envio e recebimento de mensagens CAN em tempo real. A utilização do ambiente deixa muito evidente como ferramentas modernas de engenharia automotiva possibilitam a integração entre sistemas eletroeletrônicos embarcados e eletromecânicos complexos, tornando factível o controle funcional de módulos automotivos por meio de arquiteturas digitais distribuídas. Para a correta e segura operação do sistema de 48 V, a sistemista forneceu material didático utilizado em seus treinamentos como

apoio para desenvolvimento deste projeto, que é representado pela figura 87, abaixo, todavia por questões de confidencialidade comercial, nenhum conteúdo deste material ou dados do próprio iBSG, como DBC e parâmetros isolados, será apresentado neste trabalho.

Figura 87 - Material didático fornecido pela Valeo Automotive para operação do iBSG 48 V



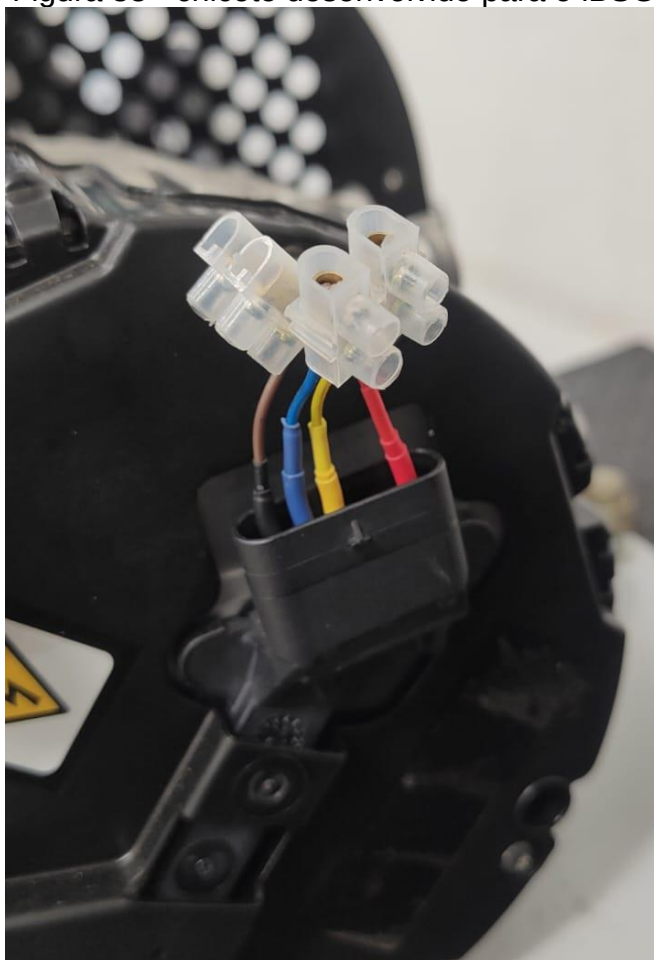
Fonte: Valeo (s.d.)

No decorrer do mês de maio de 2026 iniciaram-se as fases de comunicação e de testes do dispositivo da Valeo Automotive, através do CANoe disponibilizado pela instituição de ensino. O iBSG, pela sua construção, necessita somente de seis conexões, como apresentadas anteriormente na figura 83, sendo dois cabos para o suprimento de energia de 48 V, dois fios de alimentação em 12 V – para seu inversor de frequência interno – e outros dois fios para dados CAN, *high* e *low*.

Para o meio físico, foi elaborado um simples chicote elétrico de fácil conexão, visível na imagem 88 abaixo, composto por 4 condutores, seguindo as seguintes configurações:

- Vermelho: + 12 V;
- Azul: CAN L;
- Marrom/preto: 0 V / GND;
- Amarelo: CAN H;

Figura 88 - chicote desenvolvido para o iBSG



Fonte: Próprio autor (2026)

O CANoe se comunica com o barramento CAN, ou LIN, por meio de interfaces dedicadas de comunicação – como a VN1630A, amplamente empregada em aplicações de desenvolvimento, simulação e validação automotiva, utilizada neste projeto, vide imagem 89 abaixo – normalmente conectadas ao computador via USB ou Ethernet, permitindo a transmissão e interpretação de mensagens CAN em tempo real. Dos quatro fios em questão, o CAN H e o CAN L foram conectados

ao módulo Vector por um adaptador para cabo serial do tipo DB9/DE-9, vide imagem 90 a seguir.

Figura 89 - Módulo VN1630A da Vector Informatik



Fonte: Artisan Technology Group (s.d.)

Figura 90 - Conexões do cabo, tipo DB9/DE-9



Fonte: Amazon Brasil (s.d.)

Os outros dois fios, vermelho e marrom/preto, foram ligados a uma fonte universal (ajustável), de AC para alimentação em CC, regulada para 12 V e corrente máxima de 3A, similar à da figura 91 abaixo.

Figura 91 - Fonte Universal 3 – 12 V, Bivolt, 30 W Regulável



Fonte: Mercado Livre Brasil (s.d.)

Após todas as conexões realizadas, de alimentação e dados, com o auxílio de um dos docentes da FATEC de Santo André, e as informações fornecidas pela fabricante do dispositivo, deu-se início a etapa de comunicação, configuração e controle do iBSG, como é representado pela figura 92 a seguir. Até o presente momento desta redação, os ensaios estão sendo realizados e o controle pleno do *Integrated Belt Start Generator* está sendo desenvolvido em parceria com a empresa Valeo e docentes dedicados ao projeto.

Figura 92 - Primeiro ensaio realizado com o iBSG



Fonte: Próprio autor (2026)

Como proposta do desenvolvimento prático, a bancada proposta tem a finalidade de demonstrar, na prática, as capacidades de comunicação e controle de um Gerador de Arranque Reversível (iBSG), empregado em veículos híbridos (MHEV) como o apresentado anteriormente Chery Tiggo 5 Pro Hybrid, através do software CANoe conectado ao barramento CAN, este composto por dois condutores, e uma lógica de protocolo de comunicação avançada por trás da simplicidade do meio físico, controlando variáveis do conjunto, como torque, rotação e limites de carga e descarga elétrica.

Pode-se dizer que a arquitetura de comunicação CAN, desenvolvida inicialmente pela Bosch para aplicações automotivas, possibilitou avanços tecnológicos que revolucionaram o mercado automotivo, não apenas em veículos eletrificados, mas também em veículos a combustão interna e diversos outros sistemas embarcados.

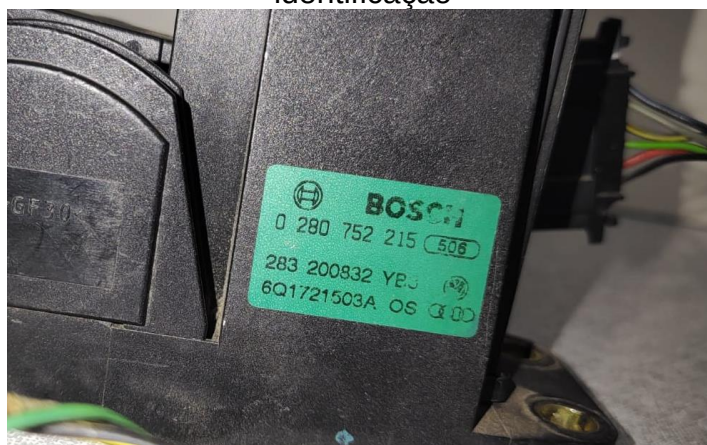
Como sugestão de melhoria e trabalho futuro, recomenda-se a integração de um pedal de acelerador eletrônico à bancada, este que pode ser visualizado nas imagens 93 e 94, abaixo, de modo a permitir o envio de comandos de entrada mais realistas, próximos da operação real do veículo, e ampliar a interação com o iBSG por meio do CANoe. Essa evolução de hardware acrescentaria uma camada superior de realismo ao experimento, aproximando ainda mais a resposta do sistema às solicitações do condutor e reforçando o caráter didático da bancada.

Figura 93 - Acelerador eletrônico Bosch, obtido para otimizar a bancada, vista geral



Fonte: Próprio autor (2026)

Figura 94 - Acelerador eletrônico Bosch, obtido para otimizar a bancada, etiqueta de identificação



Fonte: Próprio autor (2026)

Também se sugere, como melhoria futura da bancada, a utilização de baterias de maior capacidade energética. O *pack* de baterias atual dispõe de aproximadamente 240 Wh de capacidade, entretanto a adoção de um conjunto semelhante composto por baterias de 45 Ah ou 60 Ah permitiria elevar essa capacidade para valores entre aproximadamente 2,2 kWh e 2,8 kWh. Tal ampliação possibilitaria a realização de ensaios mais prolongados, a análise de diferentes perfis de carga e comportamento do sistema sob condições mais representativas de operação, além de proporcionar demonstrações acadêmicas mais completas e didáticas.

Para viabilizar futuras expansões da bancada, foram fornecidos à instituição os recursos necessários para a montagem de novos *packs* de baterias, incluindo cabos flexíveis de 25 mm², identificados nas cores vermelha e preta, bem como terminais de latão fundido destinados à conexão com baterias automotivas, conforme apresentado na Figura 95.

Figura 95 - Terminais e Cabos para melhorias futuras



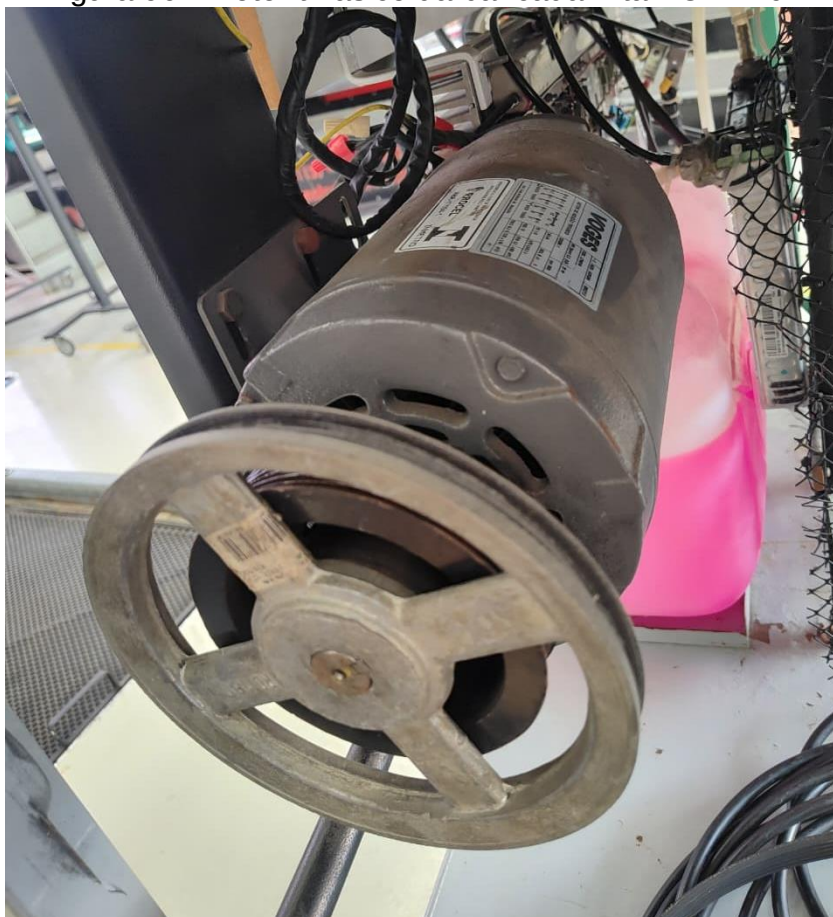
Fonte: Próprio autor (2026)

Como melhoria adicional, sugere-se a utilização dos recursos nativos da bancada para uma reprodução mais completa das funcionalidades do sistema iBSG. O conjunto didático Kita ECB 120A possui um motor trifásico de corrente alternada que pode ser empregado como fonte mecânica de acionamento, simulando a rotação normalmente fornecida pelo motor a combustão em uma aplicação automotiva convencional.

O motor trifásico, apresentado na Figura 96 abaixo, é controlado por um inversor de frequência modelo CFW 10 da WEG, permitindo a variação da velocidade aplicada ao conjunto. Essa rotação é transmitida ao sistema por meio de um mecanismo de polia e correia, alterando a velocidade de acionamento do alternador e, conseqüentemente, as condições de geração elétrica. A energia produzida pode ser monitorada por meio do amperímetro analógico integrado à bancada.

A incorporação desse recurso permite explorar uma das principais funções do sistema iBSG em arquiteturas híbridas leves: sua capacidade de operar tanto como motor elétrico auxiliar quanto como gerador elétrico. Dessa forma, a bancada passaria a representar não apenas a comunicação e o controle eletrônico do sistema, mas também o fluxo energético característico de um veículo MHEV, no qual a energia mecânica proveniente do motor é convertida em energia elétrica e direcionada ao sistema de armazenamento. Assim, seria possível analisar o comportamento do iBSG em diferentes condições de rotação e geração, aproximando a bancada das condições dinâmicas encontradas em um veículo real.

Figura 96 - Motor trifásico da bancada Kita ECB 120A



Fonte: Próprio autor (2026)

5 METODOLOGIA

5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois seu desenvolvimento não se limita à análise conceitual da mobilidade eletrificada, mas busca também materializar os conhecimentos estudados em uma bancada didática e em um estudo experimental com sistema real.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória, uma vez que procura ampliar a compreensão sobre a evolução dos veículos elétricos e híbridos, sobre a integração entre sistemas mecatrônicos e sobre a utilização das redes de comunicação automotiva como elemento central da arquitetura veicular contemporânea.

Em relação à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois privilegia a interpretação técnica dos fenômenos observados, a análise da interação entre os subsistemas e a compreensão do comportamento funcional do conjunto, sem recorrer a métodos de mensuração estatística como eixo principal da investigação.

5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia foi desenvolvida a partir da combinação de procedimentos complementares, organizados de modo a articular fundamentação teórica, observação documental, experimentação e análise de caso real. Essa estrutura permitiu estabelecer uma relação direta entre o conteúdo estudado e sua aplicação em um ambiente controlado e em um veículo em operação.

A pesquisa bibliográfica sustentou a base conceitual do trabalho, reunindo livros, artigos científicos, dissertações, documentos técnicos e publicações especializadas que abordam a evolução dos veículos eletrificados, os princípios do armazenamento de energia e a comunicação automotiva.

A pesquisa documental, por sua vez, permitiu ampliar essa base com materiais institucionais, páginas técnicas de fabricantes, relatórios de organizações internacionais e registros históricos, contribuindo para a compreensão da trajetória tecnológica dos sistemas analisados.

Em um segundo momento, foi adotado o estudo de caso como estratégia central de investigação. A partir dele, analisou-se um veículo híbrido leve (MHEV) equipado com sistema iBSG, com foco na compreensão da eletrificação parcial e da sua integração com os demais sistemas do veículo. Essa etapa possibilitou a observação do funcionamento do conjunto e a coleta de dados reais de operação.

Por fim, a pesquisa assumiu caráter experimental por meio da construção de uma bancada didática e da realização de ensaios práticos. Essa etapa foi essencial para aproximar os conceitos teóricos, discutidos anteriormente, de uma aplicação prática em ambiente controlado, permitindo a análise do comportamento do sistema e de seus princípios de comunicação e controle.

5.3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi desenvolvido a partir da análise de um veículo híbrido leve (MHEV) equipado com um *Integrated Belt Start Generator* de 48 V, da Valeo, com o propósito de observar como a eletrificação parcial se integra à arquitetura eletrônica do automóvel.

A primeira etapa consistiu na análise estrutural do sistema elétrico do veículo, com atenção especial à identificação do barramento CAN, dos módulos eletrônicos envolvidos e dos pontos de acesso disponíveis para instrumentação. Essa fase foi acompanhada do estudo de diagramas elétricos e da verificação das condições de medição, de modo a assegurar a integridade dos ensaios.

Na etapa seguinte, foram realizados testes de comunicação com o veículo estacionado, empregando ferramentas de aquisição de dados para validar a conexão com a rede CAN e mapear parâmetros relevantes para a análise.

Posteriormente, o veículo foi submetido a ensaios em condição real de operação, em via pública, permitindo a coleta de dados sob diferentes regimes de condução. A observação desses dados possibilitou compreender o comportamento dinâmico do sistema iBSG e a interação entre os módulos eletrônicos durante a operação.

A partir dessa análise, foi estruturada uma bancada didática capaz de reproduzir, em ambiente controlado, o comportamento observado no veículo real, o que favoreceu a transposição entre teoria, simulação e aplicação prática.

5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seção de materiais e métodos foi organizada de forma a tornar explícita a sequência lógica da pesquisa: coleta, procedimento experimental e análise dos dados. Essa divisão foi adotada para evidenciar o caminho percorrido entre a observação do sistema e a interpretação dos resultados.

Na etapa de coleta, foram utilizados recursos voltados à instrumentação e à aquisição de dados em sistemas automotivos. A coleta ocorreu em dois contextos complementares: na bancada didática desenvolvida para o estudo e em um veículo híbrido leve equipado com sistema de 48 V. A bancada foi concebida com base em um sistema iBSG, permitindo simular o funcionamento de uma arquitetura híbrida leve e observar o comportamento dos seus componentes em testes controlados.

Para a aquisição de dados da rede CAN do veículo, utilizou-se um módulo de comunicação automotiva da Vector em conjunto com o software CANape, o que possibilitou a leitura dos sinais trafegados no barramento e o registro das informações em tempo real.

O procedimento experimental consistiu na execução de ensaios na bancada e no veículo real, de modo a acompanhar o funcionamento do sistema em diferentes condições de operação. Essa etapa foi importante para verificar como as respostas do sistema se alteram conforme o contexto de uso e quais informações podem ser extraídas da rede de comunicação.

A etapa final correspondeu à análise dos dados. As informações coletadas foram organizadas e tratadas em ferramentas apropriadas para comunicação automotiva, com destaque para o CANoe, também da Vector. Com isso, tornou-se possível interpretar os sinais obtidos, relacioná-los ao comportamento funcional do sistema e compreender a atuação integrada dos módulos eletrônicos envolvidos.

Para complementar, foram utilizados documentos técnicos, diagramas elétricos e materiais de referência para assegurar a consistência da análise e a leitura correta dos dados obtidos.

6 PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O desenvolvimento deste trabalho foi organizado em etapas sequenciais, distribuídas ao longo de três semestres, de modo a acompanhar a evolução natural da pesquisa, desde a delimitação do tema até a finalização da monografia. Essa organização permitiu que cada fase fosse construída de maneira progressiva, com aprofundamento gradual da fundamentação teórica, desenvolvimento das análises e consolidação dos resultados obtidos.

Entre as atividades realizadas, as etapas de levantamento bibliográfico, pesquisa para fundamentação teórica e elaboração da própria monografia demandaram maior tempo de execução, por envolverem a construção conceitual do trabalho, a seleção e organização das fontes, além da redação e revisão contínua dos capítulos. Em paralelo, foram desenvolvidas as atividades práticas relacionadas ao estudo de caso, à análise do sistema iBSG, à preparação da instrumentação e à realização dos ensaios experimentais.

Após a coleta dos dados, procedeu-se à organização das informações obtidas, à interpretação dos resultados e à revisão final do conteúdo produzido. A Tabela 6, abaixo, apresenta o cronograma de execução das principais atividades desenvolvidas durante o período de realização do trabalho.

Tabela 6 - Cronograma do Projeto

ATIVIDADES	1º semestre - 2025					2º semestre - 2025					3º semestre - 2026				
	fev	mar	abr	mai	jun	ago	set	out	nov	dez	fev	mar	abr	mai	jun
Planejamento															
Adaptações do projeto															
Fundamentação teórica															
Monografia															
Idealização do protótipo															
Pesquisa de campo															
Ensaio e aquisição de dados															
Confecção do protótipo															
Apresentação final															

Fonte: Próprio autor (2026)

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE. **Eletrificados crescem dez vezes mais do que conjunto do mercado em 2025, com 224 mil veículos vendidos.** *Associação Brasileira do Veículo Elétrico* São Paulo, 6 jan. 2026. Disponível em: <https://abve.org.br/eletrificados-crescem-dez-vezes-mais-do-que-conjunto-do-mercado-em-2025-com-224-mil-veiculos-vendidos/>. Acesso em: 15 mar. 2026.

AFDC – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Electric vehicle basics: hybrid electric vehicles (HEV).** *Alternative Fuels Data Center*. Washington, DC, s.d. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-hev>. Acesso em: 18 abr. 2026.

AFDC – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **How do all-electric cars work?** *Alternative Fuels Data Center*. Washington, DC, s.d. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>. Acesso em: 18 abr. 2026.

AFDC – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **How do hybrid electric cars work?** *Alternative Fuels Data Center*. Washington, DC, s.d. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>. Acesso em: 18 abr. 2026.

AFDC – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **How do plug-in hybrid electric cars work?** *Alternative Fuels Data Center*. Washington, DC, s.d. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>. Acesso em: 18 abr. 2026.

ALANIZ, A. **Tesla Model 3 ganha potência com upgrade de US\$ 2 mil e sem sair de casa.** Tradução de Leo Fortunatti. *InsideEVs Brasil*, 21 dez. 2019. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/388918/tesla-model-3-acceleration-boost-atualizacao/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

ALMEIDA, L. M. P. **Flexibility and Timeliness in Fieldbus-based Real-Time Systems.** Tese (doutorado) - Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Almeida-19/publication/246202090_Flexibility_and_Timeliness_in_Fieldbus-based_Real-time_Systems/links/0deec536bf5e01183e000000/Flexibility-and-Timeliness-in-Fieldbus-based-Real-time-Systems.pdf. Acesso em: 21 fev. 2026

AMAZON BRASIL. **Cabo de extensão serial RS-232 DB9 C2G 52033 – 3 metros.** s.d. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/extens%C3%A3o-C2G-52033-Serial-metros/dp/B000JLLEW8>. Acesso em: 27 maio 2026.

ANDREA, D. **Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs.** Norwood: Artech House, 2010. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781608071050_A24132283/preview-9781608071050_A24132283.pdf. Acesso em: 08 fev. 2026.

ARTISAN TECHNOLOGY GROUP. **Vector VN1630A CAN/LIN interface**. Champaign, s.d. Disponível em: <https://www.artisanng.com/80845-2/Vector-VN1630A>. Acesso em: 27 maio 2026.

AUDI AUSTRALIA. **Audi Q7 and SQ7 specification guide MY24**. Sydney, 2024. Disponível em: https://media.audi.com/is/content/audi/nemo/australia/specification_guides/q7/q7/Audi_Q7_SQ7_Specification_Guide_MY24_V2.pdf. Acesso em: 18 abr. 2026.

BARASSA, E. **Trajetória tecnológica do veículo elétrico: Atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/952358>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, 2011. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%20adculos%20el%20e%20a9tricos%20-%20hist%20c%20b3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. COPPE UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/10634/1/Doutorado_Renato%20Baran_P_PO_BD.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025

BARBATO, A. G. **Estratégias ambientais na indústria automobilística: um estudo de caso na Volkswagen de São Carlos-SP**. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/00a43ca6-fdfe-4b96-b825-c8fe925f9087/content>. Acesso em: 13 abr. 2025.

BARROS, M. **Considerado livre de incêndios, carro elétrico chinês pega fogo durante carregamento**. Revista Olhar Digital, 2022. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2022/07/27/carros-e-tecnologia/considerado-livre-de-incendios-carro-eletrico-chines-pega-fogo-durante-carregamento/>. Acesso em: 08 fev. 2026.

BARRY, K. **How the Tesla Model S changed the world**. Consumer Reports, 22 jun. 2022. Disponível em: <https://www.consumerreports.org/cars/hybrids-evs/how-the-tesla-model-s-changed-the-world-a7291465820>. Acesso em: 28 fev. 2026.

BATISTA, V. F. M. **Comparação entre Motores Elétricos e Motores a Combustão para Veículos Automotores**. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia elétrica) - Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco 2024. Disponível em:

<http://dspace.doctum.edu.br:8080/bitstream/123456789/5221/1/Compara%20entre%20Motores%20EI%20e%20Motores%20a%20Combust%20.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BERDICHEVSKY, G.; KELTY, K.; STRAUBEL, J.B.; TOOMRE, E. **The Tesla Roadster battery system**. Tesla Motors, 2006. Disponível em: https://www.batterypoweronline.com/images/PDFs_articles_whitepaper_appros/TeslaRoadsterBatterySystem.pdf. Acesso em: 26 fev 2026.

BERMUDEZ, R. B. V. **Os desafios para implementação de veículos elétricos no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/29950>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BOISSONEAULT, L. **The Deadly Donora Smog of 1948 Spurred Environmental Protection—But Have We Forgotten the Lesson?** Smithsonian Magazine, 2018. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/history/deadly-donora-smog-1948-spurred-environmental-protection-have-we-forgotten-lesson-180970533/>. Acesso em: 31 mai. 2025.

BMW OF NORTH AMERICA, LLC. **BMW X5**. Woodcliff Lake, NJ, s.d. Disponível em: <https://www.bmwusa.com/vehicles/x-series/x5/bmw-x5.html>. Acesso em: 18 abr. 2026.

BRASIL. **Rota 2030 – Mobilidade e Logística**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica>. Acesso em: 9 jun. 2026.

BRYAN, Er. **An electrifying iowan: William Morrison, pioneer of battery technology and automobiles**. *Iowa History Journal*, 2017. Disponível em: <https://iowahistoryjournal.com/an-electrifying-iowan/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BUSINESS STANDARD. **Automakers to double spending on EVs, Batteries to \$1.2 trillion by 2030**. *Business Standard Magazine*, 2022. Disponível em: https://www.business-standard.com/article/automobile/automakers-to-double-spending-on-evs-batteries-to-1-2-trillion-by-2030-122102600065_1.html. Acesso em: 03 mai. 2025.

BYD BRASIL. **BYD Dolphin Mini: carro elétrico econômico e baixa manutenção**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://www.byd.com/br/car/dolphin-mini>. Acesso em: 15 mar. 2026.

BYD BRASIL. **BYD Yangwang U9 Xtreme é o carro de produção mais rápido do mundo**. São Paulo, 22 set. 2025. Disponível em: <https://www.byd.com/br/noticias-byd-brasil/byd-Yangwang-U9-Xtreme-e-o-carro-de-producao-mais-rapido-do-mundo>. Acesso em: 15 mar. 2026.

BYD BRASIL. **Ficha técnica – BYD Dolphin Mini**. São Paulo, 2025. Disponível em: https://www.byd.com/content/dam/byd-site/br/product/dolphin-mini/flyer/Ficha-tecnica-DolphinMini-DIGITAL_v2-2.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

BYD COMPANY LTD. **About BYD**. Shenzhen, 2026. Disponível em: <https://www.byd.com/en/about-byd>. Acesso em: 15 mar. 2026.

BYD US. **First BYD 100% Electric Vehicle Rolls of the Line in Brazil**. 2025. Disponível em: <https://www.byd.com/us/news-list/First-BYD-Electric-Vehicle-Rolls-off-the-Line-in-Brazil> Acesso em: 15 mar. 2026.

CAN IN AUTOMATION (CiA). **CAN Knowledge**. Nuremberg, Alemanha: CAN in Automation, [s.d.]. Disponível em: <https://www.can-cia.org/can-knowledge/>. Acesso em: 31 mai. 2026.

CARUSO, R. **O primeiro híbrido da história: Semper Vivus**. *Revista Auto & Técnica*, 2018. Disponível em: <http://autoetecnica.band.uol.com.br/o-primeiro-hibrido-da-historia-porsche-semper-vivus/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

CARTER, T. **China Spends at least \$230 billion trying to win the EV race, study finds**. *Business Insider*, 2024. Disponível em: https://www.businessinsider.com/china-electric-vehicles-government-subsidies-win-ev-race-byd-tesla-2024-6?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 03 mai. 2025.

CETESB. **Relatório: emissões veiculares no Estado de São Paulo – 2023**. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2024/11/Relatorio-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.

CORRIGAN, S. **Introduction to the Controller Area Network (CAN)**. Rev. B. Dallas: *Texas Instruments* (TI), 2016. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2026

CRETON, F. G. **Métodos de conversão de energia no cotidiano do aluno: motores de combustão interna e combustíveis como tema interdisciplinar para o professor**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil, 2011. Disponível em: <https://www.monografias.com/pt/trabalhos-pdf/metodos-conversao-energia-cotidiano-aluno/metodos-conversao-energia-cotidiano-aluno.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

DOUGHTY, D. H. **Vehicle battery safety roadmap guidance**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2012. (NREL/SR-5400-54404). Disponível em: <https://docs.nrl.gov/docs/fy13osti/54404.pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

DUTRA, C. M. M. **Pirâmide da automação**. LinkedIn, 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pir%C3%A2mide-da-automa%C3%A7%C3%A3o-claudia-mara-de-medeiros-dutra/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

EHSANI, M.; GAO, Y.; LONGO, S.; EBRAHIMI, K. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. Disponível em: <https://nibmehub.com/opac-service/pdf/read/Modern%20Electric-%20Hybrid%20Electric-%20and%20Fuel%20Cell%20Vehicles-%203rd%20Edition.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2026

EISLER, M.N. **Age of Auto Electric: Environment, Energy, and the Quest for the Sustainable Car**. Cambridge: MIT Press, 2022. Disponível em: <https://direct.mit.edu/books/oa-monograph/5508/Age-of-Auto-ElectricEnvironment-Energy-and-the>. Acesso em: 28 abr. 2025.

EKKO GREEN. **Gurgel Itaipu: o primeiro carro elétrico brasileiro**. s.l., 2026. Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/gurgel-itaipu-primeiro-carro-eletrico-brasileiro/>. Acesso em: 28 mai. 2026.

Electrobat: Preparing the way for the Columbia cars, and the formation of the Electric Vehicle Company. *KC Studio* – Estados Unidos. [s.d.]. Disponível em: <https://www.kcstudio.com/electrobat.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

EMADI, A.; WILLIAMSON, S. S.; KHALIGH, A. **Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems**. In: 24th International Electric Vehicle Symposium (EVS24), 2009, Stavanger, Noruega. Proceedings [...]. Stavanger: World Electric Vehicle Association, 2009. Disponível em: <https://www.citelec.org/EVS24/files/proceedings/EVS-24-5210425.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2026.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Gaston Planté**. Britannica, 2025 Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Gaston-Plante>. Acesso em: 25 abr. 2026.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Tesla Roadster**. 2026. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/Tesla-Roadster>. Acesso em: 24 fev 2026.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Thomas Davenport**. Britannica, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Thomas-Davenport>. Acesso em: 08 mai. 2025.

EURO NCAP. **Tesla Model S. Brussels**, 2022. Disponível em: <https://www.euroncap.com/assessments/tesla/model%2Bs/0990>. Acesso em: 28 fev. 2026.

EV TECH NEWS. **Valeo launches 48V electric powertrain for 2Ws, 3Ws in India**. 2020. Disponível em: <https://evtechnews.in/valeo-launches-48v-electric-powertrain-for-2ws-3ws-in-india/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

EV1 é o primeiro elétrico da GM. *Folha de Londrina*, Londrina, 20 jun. 1998. Caderno Carro & Cia. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/carro-e-cia/ev1-e-o-primeiro-eletrico-da-gm-82338.html>. Acesso em: 09 fev. 2026.

EXACT3D. **Stratingh Electric Vehicle Early (c.1835)**. TurboSquid, 2020. Disponível em: <https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-stratingh-electric-vehicle-early-1566031>. Acesso em: 25 abr. 2026.

FALCONER, D. **Gasoline shortage hit the state of Oregon in the fall of 1973**. 1973. National Archives and Records Administration. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GASOLINE_SHORTAGE_HIT_THE_STATE_OF_OREGON_IN_THE_FALL_OF_1973_BY_MIDDAY_GASOLINE_WAS_BECOMING_UNAVAILABLE_ALONG..._-_NARA_-_555405.jpg. Acesso em: 25 abr. 2026.

FARR, E. **A short history of hybrid**. Toyota UK Magazine, 2013. Disponível em: <https://mag.toyota.co.uk/a-short-history-of-hybrid/>. Acesso em: 13 fev. 2026

FENG, X. *et al.* **Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: a review**. *Journal of Energy Storage*, v. 74, 2023. DOI: 10.1016/j.est.2023.109312. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723007217>. Acesso em: 29 fev. 2026.

FERREIRA, J. P.; DIAS, M. J. **Veículos Elétricos e Híbridos: História e Perspectivas para o Brasil**. *ETIS – Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 40-54, 2022. Disponível em: <https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3861>. Acesso em: 25 set. 2025.

FERREIRA, T. M.; SILVA, F. de S. **The Paradox Of The Search For Sustainable Development: A Critical Look At The Issue Of Public Transport**. *LUMEN ET VIRTUS*, [S. l.], v. 16, n. 45. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/3609>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FORTUNATTI, L. **Honda CR-V híbrido plug-in movido a hidrogênio estreia nos EUA**. *InsideEVs Brasil*, 28 fev. 2024. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/710354/honda-crv-hibrido-plugin-hidrogenio/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

FRIEZELL, S. **Consumer Reports Calls Tesla Model S the best car of 2014**. *TIME Magazine*, 25 fevereiro, 2014. Disponível em: <https://time.com/9697/tesla-model-s-consumer-reports>. Acesso em: 28 fev. 2026.

FUTUREBRIDGE. **Battery thermal management system**. White paper. 2020. Disponível em: https://www.futurebridge.com/wp-content/uploads/2020/04/Whitepaper_Battery-Thermal-Management-System.pdf. Acesso em: 28 fev. 2026.

GAGE, A. **Electric vehicles; a history of innovation**. IET Archives Blog, 2018. Disponível em: <https://ietarchivesblog.org/2018/11/09/electric-vehicles-a-history-of-innovation/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

GOOD DESIGN AWARDS. **Tesla Motors**. Disponível em: <https://good-design.org/projects/tesla-motors/>. Acesso em: 28 fev. 2026.

GOMES, R. **Rimac C_Two é o carro mais rápido do mundo mesmo com potência reduzida**. Quatro Rodas, 9 mar. 2018. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/rimac-c-two-e-o-carro-mais-rapido-do-mundo-mesmo-com-potencia-reduzida/>. Acesso em: 29 fev. 2026.

GÜNTHER, S. M. **Metodologias ativas no ensino da engenharia no Brasil: desafios e oportunidades**. In: *congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – contecc, 2024*. Brasil, 2024. Disponível em: https://www.confex.org.br/midias/uploads-imce/contecc%202024/EXP/METODOLOGIAS_ATIVAS_NO_ENSINO_DA_ENGENHARIA_NO_BRASIL__DESAFIOS_E_OPORTUNIDADES.pdf. Acesso em: 8 jun. 2026.

HAŠČIČ, I. et al. **Effects of environmental policy on the type of innovation: the case of automotive emission-control technologies**. OECD Journal: Economic Studies, v. 2009, n. 1. Paris: OECD Publishing, 2009. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2010/01/oecd-journal-economic-studies-volume-2009_g1gh991c/eco_studies-v2009-1-en.pdf. Acesso em: 16 fev. 2026

HIRSCHLAG, A. **A bateria revolucionária inventada 120 anos antes do tempo**. Terra Portal, 2021. Disponível em: https://www.terra.com.br/byte/a-bateria-revolucionaria-inventada-120-anos-antes-do-tempo%2C6306bf73b4d00a5386581b503648640304618lk.html?utm_source=chatgpt.com#google_vignette. Acesso em: 20 abr. 2025.

HONEYWELL INTERNACIONAL INC. **Celebrating 50 Years of Honeywell DCS Innovation**. Estados Unidos da América, 2025. Disponível em: <https://process.honeywell.com/us/en/services/control-system-services/performance-optimization/honeywell-50-years-of-dcs>. Acesso em: 21 fev. 2026.

HURLEY, S. **The energy revolution we need to see**. Science Museum Blog, 2013. Disponível em: <https://blog.sciencemuseum.org.uk/the-energy-revolution-we-need-to-see/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

HURLEY, S. **The surprisingly old story of London's first ever electric taxi**. Science Museum Blog, 2012. Disponível em: <https://blog.sciencemuseum.org.uk/the-surprisingly-old-story-of-londons-first-ever-electric-taxi/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

IEA. **Global EV Outlook 2024**. International Energy Agency. Paris – França, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. Acesso em: 04 mai. 2025

IEA. **Global EV outlook 2026: trends in electric cars**. International Energy Agency. Paris, 2026. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2026/trends-in-electric-cars>. Acesso em: 25 mar. 2026.

IEA. **Road transport - Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach.** *International Energy Agency*. Paris – França, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/road-transport>. Acesso em: 12 abr. 2025.

IEA. **Vehicle software and software-defined vehicles.** *International Energy Agency* França, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/vehicle-software-and-software-defined-vehicles>. Acesso em: 28 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11898-1:2024: Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical coding sublayer.** 3. ed. Genebra: ISO, 2024. 82 p. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/86384/ca6e28c79b6b4388a5104dfda2332666/ISO-11898-1-2024.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11898-2:2016: Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 2: High-speed medium access unit.** 2. ed. Genebra: ISO, 2016. 30 p. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/67244/18b0eee04bdc4346be0a57be0b418d8a/ISO-11898-2-2016.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2026.

JOHNSON, K. Y. **The forgotten fight to ban gas-powered cars in the 1960s.** Grist, 2023. Disponível em: <https://grist.org/transportation/the-forgotten-fight-to-ban-gas-powered-cars-in-the-1960s/>. Acesso em: 01 jun. 2025.

KALATEC AUTOMAÇÃO. **CAN Bus: o que é e como funciona esse protocolo de comunicação?** s.l., 2023. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/canbus/>. Acesso em: 26 abr. 2026.

KIENCKE, U.; DAIS, S.; LITSCHER, M. **Automotive Serial Controller Area Network.** SAE International Technical Paper 860391, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.4271/860391>. Acesso em: 26 abr. 2026.

KOROSEC, Kirsten. **Tesla recalls Model S and Model X vehicles over touchscreen failures.** Car and Driver, 2 fev. 2021. Disponível em: <https://www.caranddriver.com/news/a35395201/tesla-model-x-model-s-recalled-screens>. Acesso em: 28 fev. 2026.

KUIPERS, M.; HUST, F.; MEIER, S.; SAUER, D. U. **An in-depth view into the Tesla Model S module part two: module characterization and comparison to other state of the art EV battery systems.** In: KRAFTWERK BATTERIE 2017, 2017, Aachen, Alemanha. Poster técnico. Disponível em: https://juser.fz-juelich.de/record/844988/files/MKU_Kraftwerk_Batterie_2017_Tesla_Modul_Part2_Poster_final_v2.pdf. Acesso em: 28 fev. 2026.

KUNZE, S. **Erstes Elektroauto von 1881 fährt wieder (O primeiro carro elétrico de 1881 está circulando novamente).** *Elektro Technik Automatisierung* – Alemanha. 2011. Disponível em: <https://www.elektrotechnik.vogel.de/erstes-elektroauto-von-1881-faehrt-wieder-a-340562/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

LACEY, J. **What happens when Tesla Roadster batteries reach end of life?** HotCars. 13 maio 2022. Disponível em: <https://www.hotcars.com/what-happens-when-tesla-roadster-batteries-reach-end-of-life/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

LAMB, J.; ORTIZ, L.; SAN THANH, M.; PESARAN, A. A. **Lithium-ion battery thermal runaway propagation testing**. Golden, Colorado: *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, 2021. (NREL/TP-5400-78128). Disponível em: <https://docs.nrl.gov/docs/fy21osti/78128.pdf>. Acesso em: 24 maio 2026.

LANE MOTOR MUSEUM. **Think City 2011**. Nashville, 2011. Disponível em: <https://www.lanemotormuseum.org/collection/cars/item/think-city-2011/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2002. Disponível em: <http://www.inexess.com/files/ecar/Akkus/Handbook%20Of%20Batteries%203rd%20Edition.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2026.

LIU, K.; LI, K.; PENG, Q.; ZHANG, C. **A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles**. *Frontiers of Mechanical Engineering*, Pequim, v. 14, n. 1, p. 47–64, 2019. Disponível em: https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/files/148842468/10.1007_2Fs11465_018_0516_8.pdf. Acesso em: 19 fev. 2026.

LIU, X.; LI, K.; LI, X. **The electrochemical performance and applications of several popular lithium-ion batteries for electric vehicles – a review**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND INTERNET OF THINGS; INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING FOR SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENT, 2018, Chongqing, China. *Advances in Green Energy Systems and Smart Grid*. Singapore: Springer, 2018. p. 201–213. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/134354/1/The%20Electrochemical%20Performance%20and%20Applications%20of%20Several%20Popular%20Lithium-ion%20Batteries%20for%20Electric%20Vehicles%20-%20A%20Review.pdf>. Acesso em: 18 fev 2026.

MATULKA, R. **The History of the Electric Car**. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 15 Set. 2014. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>. Acesso em: 01 out. 2025.

MCFADDEN, C. **Here is the very brief history and evolution of electric cars**. *Interesting Engineering Portal*, 2023. Disponível em: <https://interestingengineering.com/transportation/a-brief-history-and-evolution-of-electric-cars>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MDIC. **O que é o Mover – Programa de Mobilidade Verde e Inovação | MDIC Explica**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, YouTube, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=v8fnazB-6e0>. Acesso em: 15 mar. 2026.

MDIC. **Programa de mobilidade verde é lançado.** *Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços.* Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/rograma-de-mobilidade-verde-e-lancado>. Acesso em: 15 mar. 2026.

MEDEIROS, E. A.; SANTOS, L. F. dos. **Motor elétrico de Faraday – Um marco no desenvolvimento da física e um experimento para remontar em sala de aula.** Universidade Federal de Santa Catarina para a *Revista do Professor de Física*, Brasília - Brasil, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/231240548.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.

MONOLITHIC POWER SYSTEMS. **Role and Importance of BMS.** [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/battery-management-systems/bms-basics/role-and-importance-of-bms>. Acesso em: 12 fev 2026.

MONTEIRO, M. **Tesla Model S.** Quatro Rodas, 2013. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/testes/tesla-model-s/>. Acesso em: 28 fev. 2026.

MORI, M.; SAMARASINGHE, T.; EMMENEGGER, M. **Communication with a Toyota Prius.** Zurich: ETH Zurich, 2006. Disponível em: https://attachments.priuschat.com/attachment-files/2017/04/122809_Communication_with_a_Toyota_Prius.pdf. Acesso em: 14 fev. 2026.

MORRIS, N. **Test drive: Think City EV.** GreenMotor.co.uk, out. 2010. Disponível em: <https://www.greenmotor.co.uk/2010/10/test-drive-think-city-ev.html>. Acesso em: 24 fev. 2026.

NASCIMENTO, P. T. S. et al. **Electric Vehicles: Struggles in Creating a Market.** *Portland International Center for Management of Engineering and Technology – PICMET 2011*, São Paulo - Brasil, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261152795_Electric_vehicles_Struggles_in_creating_a_market. Acesso em: 20 abr. 2025.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **EE tech team roadmap: draft.** Golden, Colorado, 2004. Disponível em: https://www.nrel.gov/media/docs/libraries/tsdc/roadmap_draft_042104.pdf?sfvrsn=e363c0d7_1. Acesso em: 29 fev. 2026.

NEAVES, S. **Planté Battery – 1859.** *Magnet Academy – National MAGLAB* – Estados Unidos, 2025. Disponível em: <https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery-1859/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

NEOCHARGE. **Bateria de veículo elétrico: tudo o que você precisa saber.** 2025. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>. Acesso em: 18 fev. 2026.

NOCE, T. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: https://bib.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf. Acesso em: 09 fev. 2026.

NOGA, M.; JUDA, Z. **The application of NiMH batteries in a light-duty electric vehicle**. Technical Transactions, Kraków, v. 1, p. 197–221, 2019. Disponível em: <https://reference-global.com/download/article/10.4467/2353737XCT.19.014.10054.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

OVSHINSKY, S. R. *et. Al.* **Rechargeable battery and electrode used therein**. Inventores: Krishna Sapru, Benjamin Reichman, Arie Reger e Stanford R. Ovshinsky. Depositante: Energy Conversion Devices, Inc. US4623597A. Depósito: 25 nov. 1985. Concessão: 18 nov. 1986. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/4a/c6/26/b3de08b3ed31a6/US4623597.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PAGE, G. **Brandon man invented first electric motor, printing press, railway**. Vermont Daily Chronicle, 2022. Disponível em: <https://vermontdailychronicle.com/brandon-man-invented-first-electric-motor-printing-press-railway/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

PAIOLA, A. **GM EV1: conheça o primeiro carro elétrico da marca americana**. *InsideEVs Brasil*, 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/584761/gm-ev1-primeiro-carro-eletrico>. Acesso em: 09 fev. 2026.

PEREIRA, D. **All about mechatronics | Here's everything you should know!**. iSCHOOLCONNECT Massachusetts, EUA. 2023. Disponível em: <https://ischoolconnect.com/blog/all-about-mechatronics-heres-everything-you-should-know/>. Acesso em: 01 jun. 2025.

PESARAN, A. A.; SAN THANH, M.; KEYSER, M. **Electrical and thermal abuse performance of lithium-ion cells and modules for electric-drive vehicles**. Golden, Colorado: *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, 2012. (NREL/PR-5400-52818). Disponível em: <https://docs.nrl.gov/docs/fy13osti/52818.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2026.

PETERSON, D; et al. **Tesla Roadster battery system**. Battery Power Online, 2009. Disponível em: https://www.batterypoweronline.com/images/PDFs_articles_whitepaper_appros/TeslaRoadsterBatterySystem.pdf. Acesso em: 26 fev. 2026.

PLANALTO. **Lei nº 14.902, de 27 de junho de 2024. Institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover)**. Brasil. Presidência da República. Brasília, DF, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14902.htm. Acesso em: 15 mar. 2026.

PLANETCARSZ. **Lohner-Porsche Semper Vivus 1900**. (s.d.) Disponível em: <https://www.planetcarsz.com/carros/lohner-porsche-semper-vivus-1900>. Acesso em: 25 abr. 2026.

PLUG IN AMERICA. **Plug In America research shows that Tesla Roadster battery performance bests Tesla Motors' own projections**. 2010. Disponível em: <https://pluginamerica.org/press-release/plug-in-america-research-shows-that-tesla-roadster-battery-performance-bests-tesla-motors-own-projections/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

PIMENTA, G. **Dá para reciclar as baterias de íons de lítio que equipam os carros elétricos?** Autoesporte, 20 abr. 2021. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/04/da-para-reciclar-as-baterias-de-ions-de-litio-que-equipam-os-motores-de-carros-eletricos.ghtml>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PINHO, G. B. **ESTADO DA ARTE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, LOGÍSTICA E ECONÔMICA**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2831/1/GuilhermeBertechinPinho.pdf>. Acesso em: 27 maio 2026.

POKER_3070 on REDDIT. **Old Tesla Roadsters may give us a glimpse of what end-of-life battery packs look like**. Reddit, r/electricvehicles, 24 mar. 2023. Disponível em: https://www.reddit.com/r/electricvehicles/comments/120g1pr/old_tesla_roadsters_may_give_us_a_glimpse_of_what/. Acesso em: 26 fev. 2026.

QUATRO RODAS. **Raio X: como é manter o Caoa Chery Tiggo 5x Pro Hybrid de R\$ 162.490?**. 2023. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/auto-servico/raio-x-como-e-manter-o-caoa-chery-tiggo-5x-pro-hybrid-de-r-162-490/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

RADIMATION WIKI. **CANoe**. s.d. Disponível em: <https://wiki.radimation.com/wiki/index.php/CANoe>. Acesso em: 27 mai. 2026.

REDDIT. **O Gurgel Itaipu E150. O primeiro carro elétrico brasileiro. É tão estranho que chega a ser fofo**. *OriginalPapaya8 em r/CuteWheels*, 23 maio 2024. Disponível em: https://www.reddit.com/r/CuteWheels/comments/1cyao9l/the_gurgel_itaipu_e150_the_first_brazilian_ev_its/. Acesso em: 28 mai. 2026.

RICK HENDRICK TOYOTA SANDY SPRINGS. **2024 Toyota Camry Hybrid vs. 2024 Toyota Corolla Hybrid**. Atlanta, s.d. Disponível em: <https://www.rickhendricktoyotasandysprings.com/2024-toyota-camry-hybrid-vs-corolla-hybrid/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

RIDDEN, P. **German Museum team recreates and rides world's first electric car.** *International New Atlas Portal*, 2011. Disponível em: <https://newatlas.com/autovision-museum-recreates-ayrton-and-perry-electric-car/20528/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

RIMAC AUTOMOBILI. **88th Geneva International Motor Show: Rimac unveils the C_Two.** Sveta Nedelja, 6 mar. 2018. Disponível em: https://www.rimac-automobili.com/media/press-releases/88th-geneva-international-motor-show-rimac-unveils-the-c_two. Acesso em: 29 fev. 2026.

SAMANTA, A.; WILLIAMSON, S. S. **A Survey of Wireless Battery Management System: Topology, Emerging Trends, and Challenges.** *Electronics*, Basel, v. 10, n. 18, p. 2193, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/18/2193>. Acesso em: 08 fev 2026.

SEE, K. W. et al. **Critical review and functional safety of a battery management system for large-scale lithium-ion battery packs.** *International Journal of Coal Science & Technology*, v. 9, n. 36, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00494-0>. Acesso em: 15 maio 2026.

SCHAUN, A. **Gurgel Itaipu foi o primeiro carro elétrico nacional, mas morreu por problemas que existem até hoje.** *Autoesporte*, 02 abr. 2021. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/04/gurgel-itaipu-foi-o-primeiro-carro-eletrico-nacional-mas-morreu-por-problemas-que-existem-ate-hoje.ghtml>. Acesso em: 28 mai. 2026.

SCIENCEDIRECT. **Tesla Roadster.** ScienceDirect Topics. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tesla-roadster>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SCIENCE MUSEUM GROUP. **Bersey Electric Taxi Cab.** Obj nº 1922-170 – *Science Museum Group Collection Online*, Reino Unido. Disponível em: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co24902/bersey-electric-taxi-cab-taxis>. Acesso em: 16 abr. 2025.

SCIENCE PHOTO LIBRARY. **PLANTÉ accumulator battery. Historical illustration of the accumulator (storage lead-acid battery) designed by Gaston Planté.** Alamy. Disponível em: <https://www.alamy.com/plante-accumulator-battery-historical-illustration-of-the-accumulator-storage-lead-acid-battery-designed-by-french-physicist-gaston-plante-1834-18-image335016803.html>. Acesso em: 25 abr. 2026.

SHUKMAN, D. **A bateria revolucionária inventada 120 anos antes do tempo.** *BBC News Brasil*, 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-56499912>. Acesso em: 25 abr. 2026.

SILVA, D.; FONSECA, T; SOUSA, L. **Análise do ciclo de vida das baterias íon-lítio e seu impacto no meio ambiente.** Curitiba: Instituto Federal do Paraná (IFPR), 2024. Disponível em: <https://ifpr.edu.br/curitiba/wp-content/uploads/sites/11/2025/04/Douglas-e-Thiago-TCC-2024.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

SILVA, F. de P. F. et al. **Políticas públicas para o transporte rodoviário de cargas no Brasil: impactos sobre a demanda energética e a emissão de poluentes atmosféricos**. *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2020 – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://icongresso.ibp.itarget.com.br/arquivos/trabalhos_completos/ibp/3/final.IBP0735_20_26112020_203017.pdf. Acesso em: 13 abr. 2025.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E. **Uma versão compacta do motor elétrico de Faraday para demonstração em sala de aula**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 385–395, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n2p385>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SLADE, J. W. **The Electrobat**. KC Studio. (s. d.) Disponível em: <http://www.kcstudio.com/electrobat.html>. Acesso em: 25 abr. 2026.

SOUZA, J. N. A. **Escrita científica**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2025. Disponível em: https://bkpsitecpsnew.blob.core.windows.net/uploadsitecps/sites/198/2025/05/ALVES_Juliana_Escrita_Cientifica.pdf. Acesso em: 26 jul. 2025.

STEVAN JÚNIOR, S. L. **Exemplo comum de barramento CAN**. In: **Decodificação e Análise dos dados de um Sensor Comercial de Esterçamento de Volante (SAS) com comunicação CAN**. ResearchGate, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Exemplo-comum-de-barramento-CAN-10_fig13_312545617. Acesso em: 27 maio 2026

TARASCON, J.-M.; ARMAND, M. **Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries**. *Nature*, v. 414, n. 6861, p. 359–367, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/11640856_Issues_and_Challenges_Facing_Rechargeable_Lithium_Batteries. Acesso em: 9 jun. 2026.

TAVARES, N. **BYD Dolphin Mini GL 2026 é a versão para taxistas e PcD por R\$ 98.590**. *Quatro Rodas*. 2025. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/byd-dolphin-mini-gl-2026-e-a-versao-para-taxistas-e-pcd-por-r-98-590/>. Acesso em: 15 mar. 2026

TERRA, R. T. **Avaliação do desempenho dinâmico de veículo, devido ao incremento de massa não suspensa, decorrente de sistema de propulsão elétrica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-20102017-084438/publico/RafaelTedimTerraCorr17.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2026

TESLA, INC. **Annual report pursuant to Section 13 or 15(d) of the Securities Exchange Act of 1934 (Form 10-K)**. Palo Alto, 2018. Disponível em: https://ir.tesla.com/_flysystem/s3/sec/000156459018002956/tsla-10k_20171231-gen_0.pdf. Acesso em: 28 fev. 2026.

TESLA, INC. **Model 3**. Austin, TX, s.d. Disponível em: <https://www.tesla.com/model3>. Acesso em: 18 abr. 2026.

TESLA, INC. **Tesla impact report 2019**. Palo Alto, 2020. Disponível em: https://www.tesla.com/ns_videos/tesla-impact-report-2019.pdf. Acesso em: 28 fev. 2026.

TESLA MOTORS. **Tesla Model S: premium electric sedan**. Palo Alto, 2016. Disponível em: <https://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2026.

TESLA MOTORS, INC. **Annual report pursuant to Section 13 or 15(d) of the Securities Exchange Act of 1934 (Form 10-K)**. Palo Alto, 2013. Disponível em: https://ir.tesla.com/_flysystem/s3/sec/000119312513096241/d452995d10k.html. Acesso em: 28 fev. 2026.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. **Como tudo começou: O bicentenário da invenção da pilha elétrica**. *Revista Química Nova na Escola*, v. 11, editora UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em: <https://www.cabecadepapel.com/sites/colecaoaiq2011/QNEsc11/v11a08.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

UNIVERSITÄT KARLSRUHE. **In memoriam Prof. em. Dr.-Ing. Horst Wettstein (1933–2006)**. Karlsruhe, 2006.

TOYOTA Prius NHW10 cutaway 01. Wikimedia Commons, [s.l.], 2025. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toyota_Prius_NHW10_cutaway_01.jpg. Acesso em: 14 fev. 2026.

TOYOTA. **The New Toyota Prius**. Sala de Imprensa da Toyota Europa, 2016. Disponível em: <https://newsroom.toyota.eu/the-new-toyota-prius/>. Acesso em: 13 fev. 2026.

TOYOTA MOTOR CORPORATION. **The Toyota Prius, the World's First Mass-Produced Hybrid Vehicle**. Toyota Technical Review, v. 70, n. 2, 2023. Disponível em: https://global.toyota/pages/global_toyota/mobility/technology/toyota-technical-review/TTR_Vol70-2_E.pdf. Acesso em: 13 fev 2026.

TOYOTA MOTOR SALES, U.S.A., INC. **Mirai**. Plano, TX, 2026. Disponível em: <https://www.toyota.com/mirai/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

TOYOTA MOTOR SALES, U.S.A., INC. **Prius Plug-in Hybrid**. Plano, TX, 2026. Disponível em: <https://www.toyota.com/priuspluginhybrid/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

UNFCCC. **Climate action now: summary for policymakers 2016**. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Bonn, 2016. Disponível em: https://unfccc.int/resource/climateaction2020/media/1281/unfccc_spm_2016.pdf. Acesso em: 29 fev. 2026.

UNFCCC. **The Paris Agreement**. *United Nations Framework Convention on Climate Change* Bonn, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 15 mar. 2026.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **EV everywhere grand challenge blueprint**. Washington, DC, 2013. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/everywhere_blueprint.pdf. Acesso em: 29 fev. 2026.

UNIVERSITY OF MICHIGAN. **Reforming the Auto Industry. Michigan in the World – Environmentalism in the 20th Century**. Ann Arbor, EUA. [s.d.]. Disponível em: https://michiganintheworld.history.lsa.umich.edu/environmentalism/exhibits/show/main_exhibit/pollution_politics/national--air-quality/reforming-the-auto-industry. Acesso em: 25 mai. 2025.

VALEO. **48V Belt Starter Generator (iBSG)**. Valeo Group, 2024. Disponível em: <https://www.valeo.com/en/catalogue/pts/48v-belt-starter-generator-ibsg/>. Acesso em: 8 out. 2025.

VALENS, C. **Alessandro Volta Discovered Methane - a Short Biography**. Elektor Magazine, 2019. Disponível em: <https://www.elektormagazine.com/news/alessandro-volta>. Acesso em: 25 abr. 2026.

VECTOR INFORMATIK GMBH. **CAN – Know-how**. Stuttgart, Alemanha, [s.d.]. Disponível em: <https://www.vector.com/int/en/known-how/can/>. Acesso em: 31 mai. 2026.

VECTOR INFORMATIK GMBH. **CANoe**. Stuttgart, Alemanha, [s.d.]. Disponível em: <https://www.vector.com/int/en/products/products-a-z/software/canoe>. Acesso em: 16 mai. 2026.

VERMA, M. E. *et. al.* **CAN-D: A Modular Four-Step Pipeline for Comprehensively Decoding Controller Area Network Data**. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2006.05993>. Acesso em: 11 jan. 2026.

VIEIRA, E. **Michael Faraday, o pai do eletromagnetismo**. IFBA – Instituto Federal da Bahia, 2023. Disponível em: <https://inq.conquista.ifba.edu.br/v1/michael-faraday-o-pai-do-eletromagnetismo/>. Acesso em: 25 abr. 2026.

VOGEL, J. **Gurgel Itaipu: elétrico nacional esbarrou na tecnologia da época**. Motor1 Brasil, 16 fev. 2025. Disponível em: https://motor1.uol.com.br/photos/899713/gurgel-itaipu---historia-automotiva/#8035873_o-e400-tinha-80-km-de-autonomia. Acesso em: 28 mai. 2026.

VOLVO CARS. **Mild hybrids**. s.l., s.d. Disponível em: <https://www.volvocars.com/mt/cars/mild-hybrids>. Acesso em: 18 abr. 2026.

WADE, A. **August 1897: The London Electrical Cab**. *Revista "The Engineer"*, Londres - Inglaterra, ago. 2018. Disponível em: <https://www.theengineer.co.uk/content/archive/august-1897-the-london-electrical-cab>. Acesso em: 18 abr. 2025.

WAN, M. **GM EV1**. (1997). Autozine, [s.l.], 1997. Disponível em: <https://www.autozine.org/Archive/GM/classic/EV1.html>. Acesso em: 09 fev. 2026

WANG, Q. *et. al*. **Thermal runaway and fire behaviors of lithium-ion batteries following mechanical abuse**. *Journal of Power Sources*, v. 377, p. 1–11, 2018. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.11.095. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775317309898>. Acesso em: 24 maio 2026.

WATSON, A. Y.; BATES, R. R.; KENNEDY, D.. **Air pollution, the automobile, and public health**. Washington, DC: National Academies Press, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/1033>. Acesso em: 17 fev. 2026.

WESCHENFELDER, F. **Eletrodos porosos obtidos através de metalurgia do pó para aplicação em baterias**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/103717/000937559.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2025.

WETTSTEIN, H. **Aufbau und Struktur von Betriebssystemen**. München; Wien: Carl Hanser Verlag, 1978.

WETTSTEIN, H. (Hrsg.). **Architektur und Betrieb von Rechensystemen**. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

WICKS, F *et. al*. **Thomas Davenport**. Edison Tech Center, Nova York, 2014. Disponível em: <https://edisontechcenter.org/about.html>. Acesso em: 08 mai. 2025

WILSON, K. A. **Worth the watt: a brief history of the electric car, 1830 to present**. *Car and Driver Magazine*, 2023. Disponível em: <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

WINSTAR DISPLAY CO. LTD. **CAN bus interface communication**. Taichung, s.d. Disponível em: <https://www.winstar.com.tw/es/can-bus-interface-communication.html>. Acesso em: 29 fev. 2026.

YANGWANG AUTO. **U9 Xtreme**. Shenzhen, 2025. Disponível em: <https://www.yangwangauto.com/en/car/u9-xtreme>. Acesso em: 15 mar. 2026.

YASKAWA ELECTRIC CORPORATION. **Company history**. 2003. Disponível em: <https://www.yaskawa-global.com/company/profile/history>. Acesso em: 25 abr. 2026.

YELLOTMOB. **BEV, PHEV, HEV, MHEV: qual é a diferença entre os tipos de veículos elétricos?** s.l., s.d. Disponível em:

<https://yellotmob.com.br/mobilidade-eletrica/bev-phev-hev-mhev-qual-e-a-diferenca-entre-os-tipos-de-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

ZEMANEK, H. **Über die Grenzen der Einsicht im Computerwesen**. In: WETTSTEIN, H. (Hrsg.). Architektur und Betrieb von Rechensystemen. Berlin: Springer, 1984.

ZHANG, C.; LI, K.; MCLOONE, S.; YANG, Z. **Battery management systems and state-of-charge estimation techniques**. Encyclopedia. 2022. Disponível em: <https://encyclopedia.pub/entry/34001>. Acesso em: 26 fev. 2026.