v7.n7.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

TECNOLOGIA DE BATERIAS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS E SUA INFLUÊNCIA NA PERFORMANCE E POTÊNCIA DE PROPULSÃO

BATTERY TECHNOLOGY IN ELECTRIC VEHICLES AND ITS INFLUENCE ON PROPULSION PERFORMANCE AND POWER

TECNOLOGÍA DE BATERÍAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SU INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y LA POTENCIA DE PROPULSIÓN

José Pedro de Jesus Burato Tramonte[1] , Valdecy Cardoso dos Santos[2] , Ronaldo Gomes Figueira[3]

e778631
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8631

PUBLICADO: 07/2026

RESUMO

Este estudo analisa a influência das tecnologias de baterias no desempenho e na potência de propulsão dos veículos elétricos. O objetivo consiste em identificar os principais fatores técnicos relacionados às baterias que impactam a eficiência energética, a autonomia e a entrega de potência desses veículos. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, baseada na análise de trinta documentos científicos publicados entre 2025 e 2026 na base de dados ScienceDirect, selecionados a partir de critérios de relevância e aderência ao tema. A análise dos estudos permitiu identificar que a densidade de energia exerce influência direta na autonomia dos veículos, enquanto a densidade de potência e a resistência interna afetam a capacidade de aceleração e resposta dinâmica do sistema de propulsão. Verificou-se também que o comportamento térmico das baterias interfere na eficiência energética e na taxa de degradação das células ao longo do tempo. Além disso, sistemas de gerenciamento de baterias contribuem para o monitoramento e controle de parâmetros operacionais, favorecendo maior estabilidade e segurança no funcionamento do sistema. Os resultados indicam que o desempenho dos veículos elétricos depende da interação entre fatores eletroquímicos, térmicos e eletrônicos associados às baterias, evidenciando a importância do avanço tecnológico nesse componente para a melhoria da eficiência e da performance dos sistemas de mobilidade elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Baterias de íons de lítio. Eficiência energética. Potência de propulsão. Desempenho veicular.

ABSTRACT

This study analyzes the influence of battery technologies on the performance and propulsion power of electric vehicles. The objective is to identify the main technical factors related to batteries that impact energy efficiency, driving range, and power delivery in these vehicles. To achieve this objective, exploratory bibliographic research was conducted based on the analysis of thirty scientific documents published between 2025 and 2026 in the ScienceDirect database, selected according to relevance and alignment with the research topic. The analysis of the studies showed that energy density has a direct influence on vehicle range, while power density and internal resistance affect acceleration capability and the dynamic response of the propulsion system. It was also observed that the thermal behavior of batteries interferes with energy efficiency and the degradation rate of electrochemical cells over time.

[1] Uniara, graduando.
[2] Unyleya Editora e Cursos S/A, especialista.
[3] Universidade Candido Mendes, especialista.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

In addition, battery management systems contribute to monitoring and controlling operational parameters, promoting greater stability and safety in system operation. The results indicate that the performance of electric vehicles depends on the interaction between electrochemical, thermal, and electronic factors associated with batteries, highlighting the importance of technological advances in this component for improving the efficiency and performance of electric mobility systems.

***KEYWORDS**: Lithium-ion batteries. Energy efficiency. Propulsion power. Vehicle performance.*

RESUMEN
La propulsión de los vehículos eléctricos. El objetivo consiste en identificar los principales factores técnicos relacionados con las baterías que inciden en la eficiencia energética, la autonomía y la entrega de potencia de estos vehículos. Para ello, se llevó a cabo una investigación bibliográfica de carácter exploratorio, basada en el análisis de treinta documentos científicos publicados entre 2025 y 2026 en la base de datos ScienceDirect, seleccionados de acuerdo con criterios de relevancia y pertinencia temática. El análisis de los estudios permitió identificar que la densidad energética ejerce una influencia directa sobre la autonomía de los vehículos, mientras que la densidad de potencia y la resistencia interna afectan la capacidad de aceleración y la respuesta dinámica del sistema de propulsión. Asimismo, se verificó que el comportamiento térmico de las baterías interfiere en la eficiencia energética y en la tasa de degradación de las celdas a lo largo del tiempo. Además, los sistemas de gestión de baterías contribuyen al monitoreo y control de los parámetros operativos, favoreciendo una mayor estabilidad y seguridad en el funcionamiento del sistema. Los resultados indican que el desempeño de los vehículos eléctricos depende de la interacción entre factores electroquímicos, térmicos y electrónicos asociados a las baterías, lo que pone de manifiesto la importancia del avance tecnológico de este componente para mejorar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de movilidad eléctrica.

***PALABRAS CLAVE**: Baterías de iones de litio. Eficiencia energética. Potencia de propulsión. Desempeño vehicular.*

INTRODUÇÃO

Nos veículos elétricos (VEs), o desempenho dinâmico e a potência de propulsão dependem diretamente das características físico-químicas e eletroquímicas do sistema de armazenamento de energia. Diferentemente dos veículos com motor de combustão interna, nos quais a energia química do combustível é convertida em energia mecânica por processos termoquímicos, nos VEs a conversão ocorre por meio de reações eletroquímicas controladas no interior das células da bateria (Winter; Brodd, 2004). Assim, a bateria deixa de ser apenas um componente de suporte e passa a constituir o elemento central de fornecimento de energia e potência ao sistema de tração elétrica, sendo considerada um dos principais elementos tecnológicos que condicionam o desempenho e a eficiência dos veículos elétricos (Mehmood *et al*., 2024).

Em uma análise de ciclo de vida, Pipitone, Caltabellotta e Occhipinti (2021), demonstram que VEs apresentam vantagens ambientais significativas quando comparados a veículos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

tradicionais e híbridos, especialmente no contexto europeu. Diferentemente dos veículos com motor a combustão interna, que dependem da queima de combustíveis fósseis para gerar energia mecânica, os veículos elétricos utilizam baterias como principal fonte de armazenamento energético. Essa mudança de paradigma posiciona as baterias no centro das pesquisas científicas, uma vez que parâmetros como densidade de energia, potência específica, eficiência de carregamento e durabilidade influenciam diretamente o desempenho, a autonomia e a viabilidade econômica dos VEs (Braun, 2023).

Atualmente, as baterias de íons de lítio predominam no mercado devido à sua elevada densidade de energia, boa eficiência e relativa estabilidade operacional (Koech; Mwandila; Mulolani, 2024). Contudo, essa tecnologia ainda apresenta desafios relevantes, especialmente no que se refere à segurança. Um dos principais riscos associados às baterias de íon-lítio é a possibilidade de incêndio em situações de sobrecarga, falhas no sistema de gerenciamento ou danos estruturais decorrentes de colisões. Em resposta, a indústria automotiva tem investido no aprimoramento de mecanismos de proteção, sistemas de gerenciamento térmico e protocolos de segurança, além da adoção de normas técnicas internacionais para padronização de ensaios de desempenho e confiabilidade, como a norma NBR IEC 62660 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2022).

Pesquisas em tecnologia de baterias têm avançado no desenvolvimento de novos materiais e arquiteturas para superar limitações de desempenho, segurança e custo das baterias de íon-lítio, com ênfase em eletrodos, eletrólitos sólidos ou semi-sólidos e configurações estruturais que aumentem a densidade energética e a estabilidade térmica (Goodenough; Park, 2013; Khan *et al*., 2025; Kaushik *et al*., 2024; Monika *et al*., 2024). Paralelamente, a investigação de métodos de gerenciamento térmico e eletrônico é reconhecida como essencial para otimizar o desempenho global, a eficiência energética e a segurança operacional desses sistemas (Sanguesa *et al*., 2021; Alawi *et al.,* 2025; Xu *et al*., 2024).

Além disso, a relação entre a bateria e a potência elétrica entregue ao sistema de propulsão constitui elemento determinante para o desempenho dinâmico dos veículos elétricos. Estudos demonstram que elevadas taxas de descarga durante acelerações podem intensificar a degradação das células, afetando tanto a performance quanto a durabilidade do sistema de armazenamento (Liu; Zhang; Zhang, 2024). Nesse sentido, avanços no gerenciamento eletrônico de baterias (*Battery Management System* – BMS) e na previsão do estado de saúde (*State of Health* – SoH) têm sido apontados como fatores críticos para a manutenção da potência e da eficiência ao longo do ciclo de vida do veículo. Métodos baseados em inteligência artificial, especialmente técnicas de *deep learning*, têm sido amplamente estudados para estimar com

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

maior precisão a perda de capacidade das baterias, contribuindo para a confiabilidade operacional e o desempenho energético dos VEs (Alhazmi, 2024; De La Iglesia *et al.,* 2025; Liu *et al*., 2025; Rahman *et al*., 2026).

Diante desse cenário, emerge o seguinte problema de pesquisa: de que forma as características tecnológicas das baterias utilizadas em veículos elétricos influenciam diretamente a potência de propulsão e o desempenho dinâmico desses veículos, quais avanços e limitações atuais impactam essa relação?

Parte-se da hipótese de que a densidade de energia, a potência específica, o comportamento térmico e os sistemas de gerenciamento eletrônico das baterias exercem influência direta sobre a potência entregue ao motor elétrico, afetando aceleração, eficiência energética e durabilidade do sistema de propulsão.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a influência da tecnologia de baterias na performance e na potência de propulsão de veículos elétricos. Como objetivos específicos, busca-se: identificar as principais tecnologias de baterias utilizadas em VEs; analisar os parâmetros físico-químicos que influenciam potência e desempenho; avaliar o papel do gerenciamento térmico e do BMS; investigar como a degradação da bateria afeta a *performance*; e apresentar tendências tecnológicas futuras.

REFERENCIAL TEÓRICO

Tecnologia de baterias em veículos elétricos

As baterias representam o principal componente tecnológico responsável pelo armazenamento e fornecimento de energia em VEs. Diferentemente dos veículos equipados com motores de combustão interna, nos quais a energia química do combustível é convertida em energia mecânica por meio de processos termoquímicos (Goodenough; Park, 2013; Ehsani *et al.,* 2004; Larminie; Lowry, 2012), os VEs utilizam sistemas eletroquímicos capazes de armazenar energia elétrica e disponibilizá-la ao sistema de propulsão do veículo (Shaheen *et al.,* 2026). Nesse processo, a energia armazenada na bateria é fornecida ao inversor eletrônico, que realiza a conversão da corrente contínua em corrente alternada para acionamento do motor elétrico responsável pela tração do veículo (Tiwari *et al*., 2026). Nesse contexto, as baterias de íons de lítio consolidaram-se como a tecnologia predominante na indústria automotiva, devido à sua elevada densidade energética, alta eficiência de conversão e capacidade de operar em múltiplos ciclos de carga e descarga, características que favorecem sua aplicação em sistemas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de mobilidade elétrica (Hou *et al*., 2025; Rawat *et al*., 2025; Waseem, *et al*., 2025).

A densidade energética constitui um dos parâmetros mais importantes no desenvolvimento de baterias para VEs, pois está diretamente relacionada à autonomia e ao desempenho energético do veículo. Pesquisas têm buscado aprimorar os materiais utilizados nos eletrodos e nos sistemas de armazenamento, visando melhorar a capacidade de armazenamento de energia e a estabilidade dos dispositivos. Nesse sentido, Wu *et al*. (2025) investigaram eletrodos baseados em hidróxidos duplos em camadas combinados com polipirrol, demonstrando que essas estruturas apresentam potencial para aplicações em sistemas de armazenamento energético de alto desempenho.

De forma semelhante, Manfo e Laaksonen (2025) analisam o uso de materiais híbridos baseados em carbono em dispositivos de armazenamento de energia, destacando que essas estruturas podem aumentar significativamente a eficiência eletroquímica e a estabilidade operacional dos sistemas energéticos utilizados em aplicações de mobilidade elétrica. Esses avanços na ciência dos materiais contribuem diretamente para o desenvolvimento de baterias mais eficientes e duráveis, capazes de atender às demandas energéticas dos VEs modernos.

Outro aspecto relevante no desenvolvimento das baterias refere-se à estabilidade térmica das células eletroquímicas. O controle da temperatura durante os processos de carga e descarga é essencial para garantir a segurança operacional e prolongar a vida útil do sistema de armazenamento energético, uma vez que variações térmicas podem provocar degradação acelerada dos materiais internos das baterias (Harasis *et al*., 2025; Wu *et al*., 2025; Xie *et al*., 2025).

As baterias utilizadas em veículos elétricos são constituídas por múltiplas células eletroquímicas organizadas em módulos e conectadas em série e em paralelo para formar o conjunto de baterias responsável pelo fornecimento de energia ao veículo. Essa configuração estrutural permite ajustar parâmetros fundamentais do sistema de armazenamento energético, como tensão nominal, capacidade e potência de saída. A organização das células em módulos também facilita o controle térmico e o monitoramento operacional realizado pelos sistemas de gerenciamento da bateria, contribuindo para maior confiabilidade e eficiência do sistema energético (Ehsani *et al*., 2004; Larminie; Lowry, 2012).

Além da estrutura física das baterias, a composição química dos materiais utilizados nos eletrodos também exerce influência significativa no desempenho dos sistemas de armazenamento energético. Entre as tecnologias mais empregadas na indústria automotiva destacam-se as baterias baseadas em cátodos de níquel-manganês-cobalto (NMC) e níquel-cobalto-alumínio (NCA), amplamente utilizadas devido à sua elevada densidade energética e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

maior capacidade de armazenamento quando comparadas a outras tecnologias, como as baterias de fosfato de ferro-lítio ($LiFePO_4$). Essas diferentes químicas apresentam características específicas em termos de densidade energética, estabilidade térmica e vida útil, sendo selecionadas de acordo com os requisitos de desempenho e segurança de cada aplicação (Shaheen *et al*., 2026).

Pesquisas também têm explorado o desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento eletroquímico, como as baterias de estado sólido, consideradas uma das alternativas mais promissoras para superar limitações das baterias convencionais de íons de lítio, especialmente em termos de segurança, densidade energética e estabilidade operacional (Shaheen *et al*., 2026).

Esse tipo de bateria substitui o eletrólito líquido por materiais sólidos condutores de íons, o que pode contribuir para aumentar a densidade energética, melhorar a segurança operacional e ampliar a vida útil dos sistemas de armazenamento energético utilizados em veículos elétricos (Wu *et al.,* 2025; Manfo; Laaksonen, 2025; Xie *et al.,* 2025).

Parâmetros elétricos que influenciam o desempenho energético das baterias dos VEs

O armazenamento eletroquímico de energia é um dos elementos centrais no desempenho dos veículos elétricos, uma vez que a capacidade das baterias influencia diretamente a autonomia, a velocidade de recarga e a eficiência energética do sistema de propulsão (Shaheen *et al*., 2026). O desempenho energético dos VEs depende das características elétricas das baterias e de como a energia armazenada é disponibilizada ao sistema de tração. Entre os principais parâmetros que influenciam esse desempenho destacam-se a resistência interna, a eficiência de conversão energética e as perdas associadas aos processos eletroquímicos das células (Wu *et al*., 2025; Xie *et al*., 2025; Harasis *et al*., 2025).

Para melhor compreender as diferenças entre as tecnologias de baterias utilizadas em veículos elétricos, a Tabela 1 apresenta uma comparação de parâmetros elétricos relevantes, como resistência interna, potência máxima, eficiência energética e comentários sobre desempenho. Esses dados permitem visualizar como cada tipo de bateria impacta diretamente o desempenho energético e a capacidade de propulsão dos VEs.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 1. Principais parâmetros elétricos que influenciam o desempenho das baterias em veículos elétricos

Tipo de bateria	Resistência interna (mΩ)	Potência máxima (W/kg)	Eficiência energética (%)	Comentários sobre desempenho
Íon-lítio (Li-ion)	20–50	1500–2000	75–90	Baixas perdas em modo de espera; adequado para picos de potência e recarga rápida (Wu *et al.,* 2025).
Níquel-cádmio (NiCd)	50–100	200–400	60–70	Resistência maior limita desempenho em picos; bom ciclo de vida (Manfo; Laaksonen, 2025).
Sódio-enxofre (NaS)	30–60	120–150	80–90	Adequada para armazenamento estacionário; sensível a variações térmicas (Harasis *et al*., 2025).
Chumbo-ácido	100–200	100–180	70–85	Baixa densidade de potência; mais adequada para aplicações de baixa demanda (Xie *et al*., 2025).
Redox de vanádio (VRB)	50–80	100–150	80	Excelente ciclo de vida; limitado em potência instantânea (Wu *et al*., 2025).

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise desses parâmetros evidencia que tecnologias como as baterias de íons de lítio, com baixa resistência interna, permitem fornecimento de altas potências instantâneas, favorecendo acelerações rápidas e melhor resposta do sistema de tração (Wu *et al*., 2025). Por outro lado, baterias como chumbo-ácido e NiCd, com resistência interna mais elevada, apresentam menor potência disponível, reduzindo o desempenho dinâmico do veículo (Xie *et al*., 2025). Além disso, estudos experimentais demonstram que a degradação da resistência interna e das propriedades de carga em Li-ion pode ser prevista e monitorada com modelos de circuitos equivalentes, permitindo gestão preventiva do sistema (Hong *et al*., 2026).

A eficiência energética varia entre as químicas, influenciando diretamente o consumo de energia e a autonomia. Baterias mais eficientes, como Li-ion e NaS, minimizam perdas durante os ciclos de carga e descarga, aumentando a capacidade efetiva de utilização da energia armazenada (Harasis *et al*., 2025). Além disso, características como densidade de potência e capacidade de suportar altas taxas de descarga determinam quão bem uma bateria consegue atender a demandas variáveis de energia em diferentes condições de condução. Modelos eletrotérmicos indicam que a distribuição de calor interno e o autoaquecimento das células afetam diretamente a eficiência e a densidade de potência, especialmente em baterias de grande capacidade (Li *et al*., 2026).

Fatores ambientais também afetam o desempenho das baterias. Altas temperaturas, por exemplo, podem aumentar as perdas energéticas em baterias de íons de lítio, reduzindo a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

eficiência do sistema e acelerando a degradação das células eletroquímicas. Isso torna a gestão térmica adequada essencial em regiões de clima quente, garantindo desempenho consistente e prolongando a vida útil da bateria (Harasis *et al.,* 2025; Wu *et al*., 2025). Experimentos indicam que condições tropicais intensificam a degradação da resistência interna e da capacidade, reforçando a importância de sistemas de resfriamento e monitoramento inteligente (Hervé *et al*., 2026).

Além dos aspectos físicos e ambientais, modelos computacionais avançados têm sido explorados para prever o consumo energético de veículos elétricos. Modelos híbridos, que combinam aprendizado de máquina e conhecimento físico do sistema, permitem prever o consumo em diferentes cenários operacionais, contribuindo para otimizar a eficiência energética e apoiar estratégias de gestão de energia (Xie *et al*., 2025; Wu *et al*., 2025; Harasis *et al*., 2025; Manfo; Laaksonen, 2025). Técnicas de estimativa avançada de parâmetros elétricos e térmicos, baseadas em modelagem eletrotérmica e circuitos equivalentes, oferecem maior precisão na previsão de desempenho e vida útil das baterias de VE (Chen *et al*., 2026; Hong *et al.,* 2026).

Influência das baterias na potência de propulsão

A potência de propulsão em veículos elétricos está diretamente relacionada à capacidade da bateria de fornecer energia elétrica ao sistema de tração. Nesse processo, a energia armazenada nas células eletroquímicas é transferida para o inversor eletrônico, que converte a corrente contínua da bateria em corrente alternada utilizada pelo motor elétrico. O motor, por sua vez, transforma essa energia elétrica em energia mecânica, responsável pela movimentação do veículo, estabelecendo uma cadeia energética composta por bateria, inversor e motor elétrico (Ehsani *et al*., 2004; Larminie; Lowry, 2012).

A capacidade da bateria de fornecer potência instantânea depende de fatores como taxa de descarga, resistência interna e características eletroquímicas dos materiais utilizados nas células. Baterias capazes de operar com altas taxas de descarga permitem que maiores níveis de potência sejam disponibilizados ao motor elétrico, resultando em melhor desempenho dinâmico do veículo, incluindo aceleração mais rápida e maior resposta do sistema de tração (Wu *et al*., 2025; Xie *et al*., 2025; Harasis *et al.,* 2025). Estudos indicam que a resistência interna das células exerce papel determinante na limitação da potência disponível, uma vez que valores elevados provocam maiores perdas por efeito Joule durante a descarga, reduzindo a eficiência do sistema de propulsão (Chen *et al*., 2026).

O desempenho das baterias também influencia diretamente a percepção dos usuários

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em relação aos veículos elétricos. Shi *et al.* (2025) analisaram a satisfação de usuários com o desempenho das baterias e identificaram que fatores como autonomia, estabilidade de potência e tempo de recarga desempenham papel fundamental na aceitação da tecnologia pelos consumidores.

As baterias desempenham um papel central na eficiência energética e na sustentabilidade do sistema de propulsão. Elas convertem a energia química armazenada em energia elétrica por meio de reações redox, oferecendo baixa perda em modo de espera e eficiência energética elevada (Sharmoukh, 2025). Entre as tecnologias de armazenamento, destacam-se baterias de chumbo-ácido, níquel-cádmio (NiCd), sódio-enxofre (NaS), íon-lítio (Li-ion) e baterias redox de vanádio (VRB), cada uma com características específicas em densidade energética, ciclo de vida, densidade de potência e toxicidade (Xie *et al.,* 2025).

Nas baterias de íon-lítio, que predominam nos veículos elétricos modernos, o cátodo é composto por óxidos metálicos de lítio, como $LiCoO_2$, $LiMnO_2$ ou $LiNiO_2$, e o ânodo é tipicamente carbono grafítico, com eletrólito à base de sais de lítio em solventes orgânicos. Durante o carregamento, os íons de lítio migram do cátodo para o ânodo, armazenando energia; na descarga, o processo se inverte, liberando a energia elétrica (Shaheen *et al*., 2026). Entre as químicas de baterias de íon-lítio, os sistemas baseados em cátodos de níquel-manganês-cobalto (NMC) e níquel-cobalto-alumínio (NCA) são amplamente utilizados devido à alta densidade energética e maior capacidade de armazenamento em comparação com baterias de fosfato de ferro-lítio ($LiFePO_4$) (Shaheen *et al*., 2026).

Outro fator relevante para a potência de propulsão é o comportamento térmico das baterias durante a operação. Modelos eletrotérmicos indicam que o aumento da temperatura interna das células pode alterar a resistência elétrica e afetar a eficiência da transferência de energia, impactando diretamente a potência fornecida ao motor elétrico (Li *et al.,* 2026). Dessa forma, sistemas de gerenciamento térmico tornam-se essenciais para manter a estabilidade da potência e evitar degradação prematura das baterias.

Adicionalmente, pesquisas experimentais mostram que fatores ambientais e condições reais de operação, como temperatura ambiente elevada e ciclos intensivos de carga e descarga, podem acelerar a degradação das células e reduzir a capacidade de fornecimento de potência ao longo do tempo (Hervé *et al*., 2026). Esse aspecto reforça a importância de estratégias de gerenciamento energético e monitoramento contínuo do estado das baterias para garantir desempenho consistente do sistema de propulsão ao longo da vida útil do veículo.

A Tabela 2 apresenta uma comparação das principais tecnologias de baterias para veículos elétricos, considerando densidade energética, eficiência, densidade de potência, ciclo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de vida, custo e toxicidade. Destacam-se as baterias de íon-lítio por seu equilíbrio entre densidade energética e eficiência, enquanto tecnologias como NaS e VRB oferecem maior durabilidade ou ciclo de vida, embora com restrições de custo ou toxicidade (Wu e*t al.,* 2025; Harasis *et al*., 2025).

Tabela 2. Comparação de diferentes tipos de baterias

Bateria	Densidade energética (Wh/kg)	Eficiência energética (%)	Densidade potência (W/kg)	Ciclo de vida (ciclos)	Custo	Toxicidade
Íon de lítio	100–250	75–90	1800	500–2000	Alto (acima de 600 USD)	Não tóxico
NaS	150	80–90	120–150	2500	Alta (ampliação de escala)	Altamente corrosivo
Chumbo-ácido	30–40	70–90	180	200–2000	Baixo	O ácido sulfúrico é altamente corrosivo.
VRB	25–40	80	100–150	16000	Alto	Sem substâncias altamente reativas ou tóxicas

Fonte: Tiwari *et al*. (2026, p. 10528).

Gestão energética e otimização da *performance*

A eficiência global dos veículos elétricos depende não apenas da tecnologia das baterias, mas também dos sistemas responsáveis pela gestão do fluxo de energia entre os diferentes componentes do veículo. Nesse sentido, o BMS desempenha um papel fundamental no monitoramento e controle das condições de operação das baterias, contribuindo para a segurança e eficiência do sistema de propulsão (Ehsani *et al*., 2004; Larminie; Lowry, 2012).

O BMS é responsável por funções como o monitoramento de tensão, corrente e temperatura das células, além de garantir o equilíbrio entre os diferentes módulos da bateria. Essas funções são essenciais para assegurar a estabilidade operacional, prolongar a vida útil das baterias e otimizar o desempenho energético do sistema de propulsão, uma vez que permitem o controle adequado das condições de carga, descarga e operação térmica do sistema de armazenamento energético (Harasis *et al*., 2025; Wu *et al*., 2025; Xie *et al.,* 2025).

Além da gestão interna das baterias, a integração dos veículos elétricos aos sistemas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

energéticos mais amplos também tem sido objeto de estudo na literatura recente. Jiang, Tran e Keyvan-Ekbatani (2025) destacam que o crescimento da frota de veículos elétricos pode alterar significativamente os padrões de consumo de eletricidade, exigindo o desenvolvimento de modelos mais avançados para a previsão da demanda energética no setor de transportes.

Estratégias de carregamento inteligente também têm sido investigadas como forma de melhorar a eficiência energética do sistema. Meyer *et al.* (2025) analisaram a aceitação de sistemas de carregamento bidirecional em ambientes de trabalho, indicando que essa abordagem pode contribuir para otimizar a utilização da energia armazenada nas baterias dos veículos elétricos e ampliar a flexibilidade do sistema elétrico.

Avanços recentes da indústria automotiva também reforçam a importância da evolução das baterias para a melhoria da eficiência energética e do desempenho dos veículos elétricos. A *Toyota Motor Corporation* (2023) anunciou o desenvolvimento de uma nova geração de baterias de íons de lítio para veículos elétricos, prevista para entrar no mercado a partir de 2026, com melhorias relevantes de desempenho energético e eficiência. Essas baterias devem permitir autonomia superior a 800 km, associada a melhorias aerodinâmicas e à redução de peso dos veículos. Além disso, o tempo de recarga rápida poderá ser reduzido para aproximadamente 20 minutos, considerando o intervalo de 10% a 80% do estado de carga, evidenciando avanços no gerenciamento térmico e na capacidade de carga e descarga das baterias.

Dessa forma, a gestão eficiente da energia armazenada nas baterias torna-se um fator determinante para o desempenho dos veículos elétricos. O funcionamento adequado do BMS permite não apenas monitorar as condições operacionais das células, mas também otimizar a distribuição da energia fornecida ao sistema de tração. Ao controlar parâmetros como corrente, tensão e temperatura das baterias, o BMS contribui para que a energia seja disponibilizada de forma mais estável e eficiente ao inversor e ao motor elétrico, favorecendo a entrega de potência ao sistema de propulsão. Assim, estratégias avançadas de gestão energética têm sido apontadas na literatura como elementos fundamentais para melhorar a eficiência global, a resposta dinâmica e o desempenho operacional dos veículos elétricos (Ehsani *et al*., 2004; Larminie; Lowry, 2012; Wu *et al*., 2025; Harasis *et al.,* 2025).

Infraestrutura e fatores sistêmicos da mobilidade elétrica

Embora o desempenho dos veículos elétricos esteja fortemente relacionado à tecnologia das baterias, a difusão dessa tecnologia também depende de fatores sistêmicos, como a disponibilidade de infraestrutura de carregamento e o planejamento energético do setor de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

transportes.

Nesse contexto, estudos têm investigado estratégias para otimizar a operação das redes de carregamento. Qiao, Wang e Xu (2025) analisaram modelos de otimização para serviços móveis de carregamento, capazes de ampliar a disponibilidade de energia para veículos elétricos em regiões com infraestrutura limitada.

De forma semelhante, Chen *et al*. (2025) investigaram estratégias integradas de operação entre estacionamentos e estações de carregamento, demonstrando que a gestão conjunta dessas infraestruturas pode melhorar significativamente a eficiência da rede de recarga.

Avanços tecnológicos também têm sido observados em sistemas de carregamento sem fio. Sabzevari, Sabzevari e Sima (2025) desenvolveram um sistema de alinhamento de baixo custo para carregamento indutivo, aumentando a eficiência da transferência de energia entre o carregador e o veículo. No caso de sistemas de transporte coletivo eletrificados, Bazarnovi *et al*. (2025) destacam que o planejamento adequado da infraestrutura de carregamento é fundamental para garantir a operação eficiente de frotas de ônibus elétricos.

Difusão da mobilidade elétrica e impactos socioambientais

A adoção em larga escala dos veículos elétricos também depende de fatores institucionais, econômicos e sociais que influenciam a difusão da tecnologia. Diversos estudos apontam que políticas públicas desempenham papel central na promoção da mobilidade elétrica.

Nesse sentido, Zhao *et al.* (2025) analisaram os efeitos de políticas regulatórias voltadas ao setor automotivo, demonstrando que mecanismos de incentivo podem acelerar a produção e a adoção de veículos elétricos. De forma complementar, Yu *et al*. (2025) destacam que a disponibilidade de infraestrutura privada de carregamento constitui um fator decisivo para estimular a adoção dessa tecnologia pelos consumidores.

Outros estudos enfatizam a importância da combinação entre diferentes instrumentos de política pública. Wen *et al.* (2025) demonstram que a integração entre incentivos econômicos, regulamentações ambientais e investimentos em infraestrutura pode gerar efeitos positivos na expansão da mobilidade elétrica.

Além disso, aspectos socioeconômicos e ambientais também têm sido considerados na literatura recente. Haider *et al.* (2025) analisaram os fatores que influenciam a penetração de veículos de baixo carbono nos mercados globais, enquanto Xie *et al.* (2025) destacam o papel de fatores demográficos na adoção de veículos elétricos.

No campo ambiental, Yao *et al*. (2025) investigam emissões de partículas finas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

associadas a estações de carregamento rápido, ressaltando a importância do monitoramento ambiental dessas infraestruturas. Outros estudos, como os de Jin *et al*. (2025) e Shafaeen, Hardman e Hoogland (2025), analisam padrões de demanda por carregamento e identificam regiões prioritárias para investimentos em infraestrutura. Finalmente, Li (2025) enfatiza a importância da equidade no planejamento da infraestrutura de carregamento, destacando a necessidade de evitar desigualdades no acesso às tecnologias de mobilidade elétrica.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura com elementos sistematizados, com abordagem qualitativa e analítica, voltada à compreensão da influência dos parâmetros eletroquímicos das baterias de íons de lítio na potência de propulsão e na eficiência energética de veículos elétricos.

A revisão bibliográfica foi conduzida por meio de levantamento sistemático da literatura científica, no mês de fevereiro de 2026, na base de dados *ScienceDirect*, utilizada para acesso a periódicos científicos nas áreas de engenharia, energia e tecnologia. Para a recuperação dos estudos foram utilizados os descritores: "*electric vehicles*", "*lithium-ion batteries*", "*internal resistance*", "*battery management systems*" e "*energy efficiency*", combinados por meio de operadores booleanos, seguindo a construção de cada seção da pesquisa.

O processo de seleção dos estudos foi conduzido com base nas recomendações do protocolo PRISMA, amplamente utilizado em revisões sistemáticas para garantir transparência e rastreabilidade na seleção das fontes científicas.

Para critérios de inclusão foram considerados para análise os estudos que atenderam aos seguintes critérios: a) artigos científicos publicados entre 2025 e 2026; b) estudos disponíveis na íntegra na base consultada; c) pesquisas relacionadas a veículos elétricos, baterias de íons de lítio, eficiência energética, consumo energético ou sistemas BMS; d) trabalhos publicados em periódicos científicos revisados por pares; e) estudos com contribuição técnica ou científica relevante para o desempenho energético de veículos elétricos.

Foram excluídos da análise: a) estudos não relacionados ao tema da pesquisa, como trabalhos das áreas biomédicas, farmacológicas ou biológicas; b) publicações duplicadas nos resultados da busca; c) documentos classificados como capítulos de livros, editoriais, resumos de conferências ou notas técnicas; d) estudos que não apresentavam relação direta com baterias, eficiência energética ou operação de veículos elétricos; e) artigos cujo conteúdo, após leitura do resumo, não contribuía para o objetivo da pesquisa.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Inicialmente foram identificados 268 documentos, publicados entre 2025 e 2026, na base *ScienceDirect*. Em seguida, realizou-se a triagem por meio da leitura dos títulos, reduzindo o conjunto para 60 estudos. Após a análise dos resumos, 35 artigos permaneceram para avaliação mais detalhada. Por fim, após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 30 artigos científicos foram selecionados para compor a análise final do estudo. Após a leitura dos títulos, resumos e aplicação de critérios de relevância temática, priorizaram-se estudos relacionados ao desempenho energético de veículos elétricos, gerenciamento de baterias e eficiência energética.

Após a aplicação dos critérios de seleção os trabalhos foram organizados em eixos temáticos que permitem compreender diferentes dimensões da mobilidade elétrica. Parte dos estudos aborda diretamente aspectos técnicos relacionados à tecnologia de baterias e ao desempenho energético dos veículos elétricos, enquanto outros investigam fatores complementares, como infraestrutura de carregamento, integração energética e políticas de difusão da mobilidade elétrica. Além dos artigos selecionados por meio da busca sistemática, foram utilizadas referências clássicas da literatura para fundamentação conceitual sobre baterias e sistemas de propulsão elétrica em veículos elétricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados baseiam-se nos artigos selecionados, que foram complementados por referências clássicas e literatura de apoio para aprofundamento teórico. A análise dos artigos permitiu identificar que a tecnologia das baterias exerce influência direta e multifatorial sobre a performance e a potência de propulsão dos veículos elétricos, confirmando a hipótese proposta no estudo (Shaheen *et al*., 2026; Wu *et al*., 2025; Xie *et al.,* 2025; Harasis *et al.*, 2025; Jiang; Tran; Keyvan-Ekbatani, 2025).

Quanto à densidade de energia, constitui um dos principais fatores associados ao desempenho dos veículos elétricos, pois determina a quantidade de energia disponível para o *sistema de tração e, consequentemente, a autonomia operacional. Estudos analisados (Wu et al.,* 2025; Xie *et al*., 2025; Harasis *et al.,* 2025; Shaheen *et al*., 2026; Hou *et al.,* 2025; Rawat *et al.,* 2025) indicam que baterias de íons de lítio apresentam desempenho superior em relação a outras tecnologias, devido à sua elevada capacidade de armazenamento energético e eficiência de conversão.

A densidade de potência e a resistência interna mostraram-se determinantes para a capacidade de aceleração dos veículos. Baterias com menor resistência interna permitem maior fluxo de corrente elétrica, reduzindo perdas por efeito Joule e possibilitando maior entrega de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

potência ao motor elétrico. Esse aspecto está diretamente relacionado ao desempenho dinâmico, especialmente em situações que exigem rápida resposta do sistema de propulsão, como acelerações e retomadas (Wu *et al.,* 2025; Chen *et al.,* 2026; Hong *et al.,* 2026; Liu; Zhang; Zhang, 2024).

Outro resultado relevante refere-se à influência do comportamento térmico das baterias. Os estudos (Harasis *et al*., 2025; Hervé *et al.,* 2026; Li *et al.,* 2026; Xie *et al*., 2025) demonstram que variações de temperatura afetam significativamente a eficiência energética e a vida útil das células eletroquímicas. Em condições de temperatura elevada, observa-se aumento da degradação dos materiais internos, o que reduz a capacidade de armazenamento e a potência disponível ao longo do tempo. Esse achado reforça a importância dos sistemas de gerenciamento térmico para garantir estabilidade operacional.

A análise também destacou o papel estratégico do BMS na otimização da performance dos VEs, pois atua no monitoramento e controle de parâmetros críticos, como tensão, corrente e temperatura, permitindo uma distribuição mais eficiente da energia e prevenindo condições de operação que possam comprometer a segurança e o desempenho. Estudos de Alhazmi (2024); De La Iglesia *et al*. (2025); Liu *et al*. (2025); Rahman *et al.* (2026) e Chen *et al.* (2026) indicam que a aplicação de técnicas de inteligência artificial no BMS tem potencial para melhorar a previsão do estado de saúde da bateria, contribuindo para a manutenção da potência ao longo do ciclo de vida.

Referente à degradação das baterias, os resultados indicam que ciclos intensivos de carga e descarga, associados a altas taxas de corrente e temperaturas elevadas, aceleram a perda de capacidade e aumentam a resistência interna. Esse processo reduz progressivamente a eficiência energética e a potência de saída, impactando negativamente o desempenho do veículo ao longo do tempo (Liu; Zhang; Zhang, 2024; Hervé *et al*., 2026; Chen *et al.,* 2026; Hong *et al.,* 2026).

Adicionalmente, a comparação entre diferentes tecnologias de baterias evidenciou que, embora alternativas como NaS e VRB apresentem vantagens em termos de ciclo de vida, as baterias de íons de lítio ainda oferecem o melhor equilíbrio entre densidade energética, potência e eficiência, justificando sua predominância na indústria automotiva (Tiwari *et al.,* 2026; Wu *et al.*, 2025; Harasis *et al*., 2025; Manfo; Laaksonen, 2025).

Por fim, há tendências relevantes para o futuro, como o desenvolvimento de baterias de estado sólido, que prometem maior segurança e densidade energética, e o uso de modelos preditivos baseados em inteligência artificial, capazes de otimizar o desempenho e prolongar a vida útil das baterias (Khan *et al.,* 2025; Kaushik *et al.,* 2024; Monika *et al.,* 2024; Wu *et al.,* 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Além dos aspectos técnicos, os resultados também evidenciam que fatores sistêmicos, como infraestrutura de carregamento e políticas públicas, influenciam diretamente o desempenho percebido e a adoção dos veículos elétricos. Estudos indicam que a disponibilidade de estações de carregamento, estratégias de otimização da rede elétrica e soluções como carregamento móvel e sem fio contribuem para maior eficiência e viabilidade operacional dos VEs (Qiao; Wang, Xu, 2025; Chen *et al*., 2025; Sabzevari; Sabzevari, Sima, 2025; Bazarnovi *et al.,* 2025).

No campo institucional, verificou-se que políticas públicas, incentivos econômicos e regulamentações ambientais desempenham papel fundamental na difusão da mobilidade elétrica, influenciando tanto a adoção tecnológica quanto os investimentos em inovação e infraestrutura. Aspectos socioeconômicos e demográficos também foram identificados como fatores relevantes na aceitação dos veículos elétricos pelos consumidores (Zhao *et al*., 2025; Yu *et al.,* 2025; Wen *et al*., 2025; Haider *et al.,* 2025; Xia *et al*., 2025).

Dessa forma, os resultados demonstram que o desempenho dos veículos elétricos não depende apenas da capacidade de armazenamento de energia, mas de um conjunto integrado de fatores eletroquímicos, térmicos, tecnológicos e sistêmicos que determinam a eficiência e a potência do sistema de propulsão, bem como sua viabilidade de adoção em larga escala (Jin *et al*., 2025; Shafaeen; Hardman, Hoogland, 2025; Li, 2025; Jiang; Tran, Keyvan-Ekbatani, 2025).

Os achados deste estudo confirmam os objetivos propostos, evidenciando que a densidade de energia está diretamente associada à autonomia dos veículos elétricos, enquanto a resistência interna influencia a capacidade de fornecimento de potência instantânea. Além disso, o comportamento térmico das baterias mostrou-se determinante para a eficiência energética e para os processos de degradação, ao passo que os sistemas BMS desempenham papel essencial na regulação da entrega de potência, na segurança operacional e na otimização do desempenho ao longo do ciclo de vida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitem concluir que as baterias desempenham papel central no desempenho dos VEs, sendo determinantes para aspectos como a autonomia, a eficiência energética, a aceleração e a durabilidade do sistema de propulsão.

Verificou-se que parâmetros como densidade de energia, densidade de potência, resistência interna e comportamento térmico influenciam diretamente a capacidade de fornecimento de energia ao motor elétrico. Entre esses fatores, a resistência interna e a taxa de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

descarga destacam-se como elementos críticos para a entrega de potência instantânea, enquanto a densidade energética está mais relacionada à autonomia do veículo.

A análise também evidenciou a importância dos BMS, que atuam no controle das condições operacionais e contribuem significativamente para a otimização da eficiência energética, segurança e vida útil das baterias. O uso de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, mostra-se promissor para aprimorar a previsão de desempenho e a gestão do estado de saúde das baterias.

No que se refere às tecnologias disponíveis, as baterias de íons de lítio permanecem como a principal solução adotada na indústria automotiva, devido ao seu equilíbrio entre desempenho, eficiência e confiabilidade. No entanto, desafios relacionados à segurança, custo e degradação ainda persistem, impulsionando pesquisas em alternativas como baterias de estado sólido.

Como limitação do estudo, destaca-se a restrição temporal dos artigos analisados (2025–2026) e a utilização de uma única base de dados, o que pode limitar a abrangência dos resultados. Ressalta-se, contudo, que tais delimitações também decorrem das características do presente trabalho, desenvolvido no formato de artigo científico, o qual possui limitação quanto ao número de páginas, exigindo maior foco e recorte temático. Além disso, trata-se de uma temática amplamente explorada na literatura, com elevado volume de publicações, o que torna necessária a adoção de critérios rigorosos de triagem e seleção dos estudos, a fim de garantir a relevância e a qualidade das fontes analisadas. Ainda assim, os documentos selecionados mostraram-se suficientes para atender aos objetivos propostos, permitindo uma análise consistente e fundamentada sobre a influência das tecnologias de baterias no desempenho de veículos elétricos. Sugere-se, para pesquisas futuras, a realização de revisões sistemáticas mais amplas, incluindo diferentes bases de dados e análises quantitativas, bem como estudos experimentais que validem os modelos teóricos apresentados.

Por fim, conclui-se que o avanço das tecnologias de baterias é fundamental para o desenvolvimento e a consolidação da mobilidade elétrica, sendo um dos principais fatores que determinarão a eficiência, a competitividade e a sustentabilidade dos veículos elétricos nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

ALAWI, A.; SAEED, A.; SHARQAWY, M. H.; AL JANAIDEH, M. A comprehensive review of thermal management challenges and safety considerations in lithium-ion batteries for electric vehicles. **Batteries**, Basel, v. 11, n. 7, p. 275, 2025. Disponível em: DOI: 10.3390/batteries11070275. Acesso em: 28 fev. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ALHAZMI, R. M. State of Health Prediction in Electric Vehicle Batteries Using a Deep Learning Model. **World Electric Vehicle Journal**, Basel, v. 15, n. 9, p. 385, 2024. Disponível em: DOI: 10.3390/wevj15090385. Acesso em: 28 fev. 2026.

ALI, A. O.; ABDELREHIM, O.; SAAFAN, M. M.; ELMARGHANY, M. R.; HAMED, A. M. Comprehensive review of battery management systems for electric vehicles: Thermal management, charging strategies, and emerging technologies. **Journal of Power Sources**, London, v. 658, p. 238269, 2025.Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.238269. Acesso em: 11 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC62660-2 DE 07/2022 - Células de lítio-íon secundárias para propulsão de veículos elétricos rodoviários - Parte 2**: Ensaios de confiabilidade e abuso. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BAZARNOVI, S.; COKYASAR, T.; VERBAS, O.; (KOUROS) MOHAMMADIAN, A. Optimizing charging infrastructure for battery electric buses: A Stochastic Location Model with Budget Constraints. **Procedia Computer Science**, London, v. 257, p.583-590, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.075 Acesso em: 18 mar. 2026.

BRAUN, L. V. **Sucinta análise financeira da viabilidade dos veículos elétricos considerando o perfil do usuário**. Orientador: Walbermark Marques dos Santos. 2023. 93 F. Monografia (Engenheiro Eletricista)-Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/pg_ii_-_lucas_viana_braun_-_final_-_2023.pdf Acesso em: 18 mar. 2026.

CHEN, F.; PAVLOV, V.; ZHAO, S.; FENG, J.; XU, S.X. Joint operation strategy of parking and charging infrastructure. **Transportation Research Part D: Transport and Environment,** London, v. 144, p. 104773, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104773. Acesso em: 18 mar. 2026.

CHEN, N.; SHUJAH, A.; LIAO, J.; XIE, M.; XIE, Y.; CHEN, J.; GUI, W. Advanced lithium-ion battery internal resistance estimation for electric vehicles integrating optimized techniques. **Journal of Power Sources**, London, v. 672, p. 239624, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2026.239624. Acesso em: 11 mar. 2026.

DE LA IGLESIA, D.H.; CORBACHO, C.C.; DIB, J.Z.; ALONSOSECADES, V.; LÓPEZ RIVERO, A.J. Advanced machine learning and deep learning approaches for estimating the remaining life of EV batteries — a review. **Batteries**, Basel, v. 11, n. 1, p. 17, 2025. Disponível em: DOI: 10.3390/batteries11010017. Acesso em: 28 fev. 2026.

EHSANI, M.; GAO, Y.; LONGO, S.; EMMADI, A. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles**: fundamentals, theory, and design. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

GOODENOUGH, John B.; PARK, Kyung-Soo. The Li-ion rechargeable battery: a perspective. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 135, n. 4, p. 1167–1176, 2013. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23294028/ Acesso em: 27 fev. 2026.

HARASIS, S.; KHAN, I.; MASSOUD, A. Operation of EVs in hot climates: Modeling of temperature-driven energy consumption including Li-ion battery energy loss. **Energy Reports**, Switzerland, Oxford, v. 13, p. 4209-4222, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.03.008. Acesso em: 11 mar. 2026.

HASROURI, M.; CHARROUF, O.; BETKA, A.; ABDEDDAIM, S.; TIAR, M. Adaptive wavelet-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

fuzzy energy management system for battery-supercapacitor energy storage system in electric vehicles integrating driving pattern recognition. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v. 129, p. 117330, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.117330. Acesso em: 11 mar. 2026.

HERVÉ, L. F.; MARIUS, K. T.; STEYVE, N.; EMMANUEL, S. F.; EDWIGE, M. A.; GASTON, T. J. Experimental characterization of electric vehicle battery degradation in tropical environments: Influence of climatic factors and local driving conditions. **Energy Reports**, Switzerland, v.15, p. 109126, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2026.109126 Acesso em: 11 mar. 2026.

HONG, J.; ZHANG, L.; ZHANG, X.; HOU, Y.; YANG, J.; CHEN, Y.; XU, Q.; CHEN, Y. Research on accurate offline estimation for electrical and thermal battery parameters based on multi-level equivalent circuits. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v. 141, Part D, p. 119471, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119471 Acesso em: 11 mar. 2026.

HOU, F.; MIN, X.; WU, X.; LIU, Y.; HUANG, Z.; MI, R.; FANG, M. Recent research progress in modification strategies of silicon oxide-based anode materials for lithium-ion batteries, **Journal of Energy Storage**, Oxford, v.127, p. 117132, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.117132 Acesso em: 11 mar. 2026.

JIANG, S.; TRAN, C.C.; KEYVAN-EKBATANI, M. A diffusion-model-based approach for forecasting energy demand in New Zealand's transport sector. **Applied Energy**, England, v. 400, p. 126617, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126617. Acesso em: 19 mar. 2026.

JIN, Z.; SUN, X.; XU, Z.; TU, H. A data-driven approach to uncovering the charging demand of electrified ride-hailing services. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, London, v. 139, p. 104599, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104599 Acesso em: 19 mar. 2026.

KAUSHIK, S.; MEHTA, T.; CHAND, P.; SHARMA, S.; KUMAR, G. Recent advancements in cathode materials for high-performance Li-ion batteries: Progress and prospects. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v. 97, p. 112818, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X24024046 Acesso em: 26 fev. 2026.

KHAN, A.; RASHID, H. A.; ROY, P. K.; CHOWDHURY, S. I.; SATHI, S. A. Challenges and the Way to Improve Lithium-Ion Battery Technology for Next-Generation Energy Storage. **Energy & Environmental Materials**, London. v. 8, n. 6, 2025. Disponível em:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eem2.70088 Acesso em: 28 fev. 2026.

KOECH, A. K; MWANDILA, G.; MULOLANI, F. A review of improvements on electric vehicle battery. **Heliyon**. London, v. 10, n.15, e34806, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34806 Acesso em: 26 fev. 2026.

LARMINIE, J; LOWRY, J. **Electric vehicle technology explained.** 2. ed. Chichester: Wiley, 2012.

LI, S. Transportation justice for sustainable cities: EV charging infrastructure equity review. **Sustainable Cities and Society: Advances**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 100010, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scsadv.2025.100010 Acesso em: 26 fev. 2026.

LI, S.; LIN, C.; TIAN, Y.; TAO, Z.; XIE, P. Layered electro-thermal modeling and self-heating

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

optimization for large-capacity Li-ion batteries. **eTransportation**, London, v. 28, p. 100544, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.etran.2026.100544 Acesso em: 19 mar. 2026.

LIU, C.; LI, H.; LI, K.; WU, Y.; LV, B. Deep Learning for State of Health Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: A Systematic Review. **Energies**, London, v. 18, n. 6, p. 1463, 2025. Disponível em: DOI: 10.3390/en18061463. Acesso em: 28 fev. 2026.

LIU, Q., ZHANG, Z.; ZHANG, J. Research on the interaction between energy consumption and power battery life during electric vehicle acceleration. **Sci Rep 14**, London, v. 157, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-023-50419-3 Acesso em: 26 fev. 2026.

LIU, S.; LI, K.; YU, J. Battery pack condition monitoring and characteristic state estimation: Challenges, techniques, and future prospectives. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v.105, 2025, p. 114446, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114446 Acesso em: 11 mar. 2026.

MANFO, T. A.; LAAKSONEN, H. A review of carbon-based hybrid materials for supercapacitors. **New Carbon Materials**, London, v. 40, n. 1, P. 81-110, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1872-5805(25)60943-7 Acesso em: 11 mar. 2026.

MEHMOOD, K.; QIU, X.; GHAFFAR, A.; KHAN, M. A. Deciphering the future of electric vehicles amid emissions and adoption drivers. **Ambio**, Washington, v. 53, n. 11, p. 1686–1713, 2024. Disponível em: DOI: 10.1007/s13280-024-02026-3 Acesso em: 28 fev. 2026.

MEYER, D. KRAUS, L.; HUSEMANN, L.; PROFF, H. Willingness of employees to accept bidirectional charging at the workplace. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, London, v. 139, p. 104517, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104517 Acesso em: 19 mar. 2026.

MONIKA, A. K. M.; PATIAL, B. S. Recent advances in cathode materials for sustainability in lithium-ion batteries. **Sustainable Chemistry One World**, London, v. 4, p. 100042, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scowo.2024.100042 Acesso em: 28 fev. 2026.

PIPITONE, E.; CALTABELLOTTA, S.; OCCHIPINTI, L. A life cycle environmental impact comparison between traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the european context**. Sustainable Mobility and Transport,** Basel, v. 13, n. 19, p. 10992, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su131910992 Acesso em: 26 fev. 2026.

QIAO, D.; WANG, G.; XU, M. Mobile charging service optimization for electric vehicles. **Transportation Letters**, London, v.17, n. 8, p. 1375-1389, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1080/19427867.2024.2448783 Acesso em: 19 mar. 2026.

RAHMAN, T.; DEB, N.; MONIRUZZAMAN, M.; MENGASH, H. A.; JIZAT, N. MD.; RAHMAN, A. A-M; AL-BAWRI, S. S. Deep learning-based battery health prediction for enhancing electric vehicle performance. **Scientific Reports**, London, 2026.Disponível em: DOI: 10.1038/s41598-026-39911-8, 2026. Acesso em: 28 fev. 2026.

SABZEVARI, S. I. H.; SABZEVARI, S.A.H.; SIMA, N. A low-cost coil alignment system for electric vehicle inductive wireless chargers. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v. 114, Part A, p. 115722, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.115722. Acesso em: 19 mar. 2026.

SANGUESA, J.A.; TORRES-SANZ, V.; GARRIDO, P. P.; F. MARTINEZ, J.F.; MAQUERZ-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BARJA, J. M. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. **Smart Cities,** Basel, v. 4, p. 372-404, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities4010022. Acesso em: 28 fev. 2026.

SHAFAEEN, M.; HARDMAN, S.; HOOGLAND, K. Identifying communities that are a priority for electric vehicle related investments. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, London, v. 148, p. 104979, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104979 Acesso em: 19 mar. 2026.

SHAHEEN, A. M.; ELLIEN, A. R.; EL-ELA, A. A.; EL-RIFAIE, A. M. Electric vehicles with renewables integration in electrical power systems: A review of technologies, uncertainties and optimization allocations Unconventional Resources. **Unconventional Resources**, China, v. 9, n. 19, p.100252, 2026. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100252. Acesso em: 11 mar. 2026.

SHARMOUKH, W. Redox flow batteries as energy storage systems: materials, viability, and industrial applications. **RSC Advances**, Cambridge, v. 15, n.13, p. 10106-10143, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1039/d5ra00296f Acesso em: 11 mar. 2026.

SHI, L.; OU, S. S.; ZHOU, Y.; WU, Y.; TAN, X.; HE,X.; GOMEZ, C.J.C.; LIN, Z. Assessing Chinese user satisfaction with electric vehicle battery performance from online reviews. Transportation Research Part D: **Transport and Environment**, London, v. 141, p. 104644, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104644. Acesso em: 12 mar. 2026.

TIWARI, R.; K, A.; S, H.; R, L.; KUMAR, P. Exploring battery-powered electric vehicles: Energy sources, configurations, and management approaches, **Next Energy**, London, v. 11, p. 100528, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.nxener.2026.100528. Acesso em: 11 mar. 2026.

TOYOTA MOTOR CORPORATION. **Toyota's advanced battery technology roadmap. Toyota Europe Newsroom**, 2023. Disponível em: https://newsroom.toyota.eu/toyotas-advanced-battery-technology-roadmap/ . Acesso em: 19 mar.2026.

WASEEM, M.; LAKSHMI, G. S.; AMIR, M.; AHMAD, M.; SUHAIB, M. Advancement in battery health monitoring methods for electric vehicles: Battery modelling, state estimation, and internet-of-things based methods. **Journal of Power Sources**, Oxford, v. 633, p. 236414, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236414 Acesso em: 11 mar. 2026.

WEN, W.; YANG, S.; WALKER, R. M.; ZHOU, P. Effectiveness of collaborative policy tools for promoting electric vehicles. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, London, v. 192, p. 104382, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104382. Acesso em: 11 mar. 2026.

WINTER, M.; BRODD, R. J. What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors? **Chemical Reviews**, Washington, v.104, n. 10, p. 4245-4269, 2004. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/cr020730k?ref=article_openPDF Acesso em: 10 mar. 2026.

WU, Y.; LIU, X.; WANG, J.; ZHANG, B.; ZHANG, X.; HAI, O. Layered double hydroxide/polypyrrole with neural-like transmission network for high-performance supercapacitor electrode. **Journal of Energy Storage**, Oxford, v. 110, p. 115295, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.115295 Acesso em: 11 mar. 2026.

XIE, D.; JIANG, Y.; GUO, J.; WANG, Y. Full-scene energy consumption prediction for electric vehicles: A knowledge-enhanced hybrid-driven framework. **Energy**, London, v. 333, p. 137136, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.137136 Acesso em: 11 mar. 2026.

XU, L.; WANG, S.; XI, L.; LI, Y.; GAO, J. A review of thermal management and heat transfer of

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

lithium-ion batteries. **Energies**, London, v. 17, n. 16, p. 3873, 2024. Disponível em: DOI: 10.3390/en17163873 Acesso em: 27 fev. 2026.

YAO, Y.; NIU, M.; CHEN, H.; YU, Q.; WU, Q.; LI, Y.; ZHANG, Y.; OZCAN, A.; JERRETT, M.; ZHU, Y. Fine particulate matter emissions from electric vehicle fast charging stations. **Environment International**, London, v. 201, p. 109581, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109581 Acesso em: 19 mar. 2026.

YU, Y. ZHA, D.; ZHOU, D.; WANG, Q. Promoting the adoption of electric vehicles through private charging infrastructure. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, London, v. 192, p. 104368, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104368 Acesso em: 19 mar. 2026.

ZHAO, D.; WANG, J.; LI, W-W.; TANG, J-J.; HUANG, S. Consider payoff or emphasize learning? Exploring the effect of new dual-credit policy on electric vehicle diffusion in complex network **Energy Economics**, London, v. 148, p. 108622, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108622 Acesso em: 19 mar. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.