

VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO SOBRE TECNOLOGIAS, INFRAESTRUTURA, IMPACTOS AMBIENTAIS E DESAFIOS DE ADOÇÃO

DOI: 10.5281/zenodo.18628373

Joelson Lopes da Paixão¹

Alzenira da Rosa Abaide²

RESUMO

Os Veículos Elétricos (VEs) consolidam-se como um dos principais vetores tecnológicos associados à descarbonização do setor de transportes e à transição energética global. A expansão recente do mercado de VEs é sustentada por avanços em sistemas de armazenamento eletroquímico, eletrônica de potência, conectividade e infraestrutura de recarga, bem como por políticas públicas orientadas à redução de emissões e ao aumento da eficiência energética. Este artigo apresenta uma revisão abrangente e criticamente fundamentada sobre o estado da arte em tecnologias de VEs, contemplando: (i) a classificação e os princípios operacionais das principais arquiteturas — Veículos Elétricos a Bateria (BEVs), Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEVs), Veículos Elétricos Híbridos (HEVs) e Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEVs); (ii) tecnologias estruturantes, como sistemas Vehicle-to-Grid (V2G), frenagem regenerativa, Sistemas de Gerenciamento de Bateria (BMS) e Sistemas Avançados de Assistência ao

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Motorista (ADAS); (iii) requisitos e desafios para expansão e padronização da infraestrutura de recarga, com ênfase em carregamento rápido em corrente contínua e carregamento inteligente; e (iv) implicações ambientais ao longo do ciclo de vida, abrangendo produção, uso e fim de vida das baterias, incluindo perspectivas de economia circular, reciclagem e second-life. Adicionalmente, discute-se a adoção de VEs na América Latina e os obstáculos técnico-econômicos e regulatórios ainda persistentes, bem como tendências futuras relacionadas a baterias avançadas, integração com redes elétricas e energias renováveis, e novos modelos de planejamento e operação de estações de recarga.

Palavras-chave: Veículos Elétricos; Infraestrutura de Recarga; Vehicle-to-Grid; Impacto Ambiental; Gerenciamento de Baterias; Mobilidade Sustentável; Microrredes.

ABSTRACT

Electric Vehicles (EVs) have become a major technological pathway for decarbonizing the transport sector and accelerating the global energy transition. The recent growth of EV adoption has been enabled by advances in electrochemical storage systems, power electronics, connectivity, and charging infrastructure, as well as by climate-driven public policies aiming at emissions reduction and energy efficiency. This paper provides a comprehensive and critically grounded review of EV technologies, addressing: (i) major EV architectures and operating principles — Battery Electric Vehicles (BEVs), Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs), Hybrid Electric Vehicles (HEVs), and Fuel Cell Electric Vehicles (FCEVs); (ii) enabling technologies such as Vehicle-to-Grid (V2G), regenerative braking,

Battery Management Systems (BMS), and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS); (iii) key requirements and challenges for charging infrastructure expansion and standardization, with emphasis on DC fast charging and smart charging; and (iv) life-cycle environmental impacts, covering battery production, use, and end-of-life management, including circular economy strategies, recycling, and second-life applications. The paper also discusses the EV adoption landscape in Latin America, as well as persistent techno-economic and regulatory barriers, and future trends related to advanced batteries, renewable integration, and planning/operation of charging stations.

Keywords: Electric Vehicles; Charging Infrastructure; Vehicle-to-Grid; Environmental Impact; Battery Management Systems; Sustainable Mobility; Microgrids.

1. INTRODUÇÃO

A eletrificação do transporte tem adquirido centralidade no debate técnico e institucional contemporâneo, sobretudo em função de metas globais de mitigação climática e do avanço de políticas de transição energética. Nesse contexto, os Veículos Elétricos (VEs) configuram-se como alternativa tecnológica estratégica para reduzir emissões locais e globais associadas à mobilidade, ao mesmo tempo em que favorecem a diversificação de fontes energéticas e a eficiência do uso final da energia (DEILAMI; MUYEEN, 2020; SINGH et al., 2024).

A consolidação dos VEs decorre de um conjunto de mudanças tecnológicas convergentes: evolução das baterias de íons de lítio, redução gradual dos

custos de eletrônica de potência, ampliação de ecossistemas digitais embarcados, e maturação de modelos de recarga e interoperabilidade. Adicionalmente, o aumento de conectividade e a integração com redes inteligentes tornam os VEs relevantes não apenas como meios de transporte, mas também como potenciais ativos energéticos distribuídos, capazes de interagir com o sistema elétrico e apoiar estratégias de flexibilidade operacional (RANA et al., 2025; DEILAMI; MUYEEN, 2020).

Entretanto, apesar do crescimento do setor, permanecem desafios estruturais relacionados a infraestrutura de recarga, planejamento locacional, confiabilidade e disponibilidade de estações, integração com a rede elétrica e estabilidade operacional sob carregamentos de alta potência. A literatura recente indica que tais desafios demandam abordagens sistêmicas de planejamento, combinando critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais, especialmente para corredores rodoviários e aplicações de recarga rápida (PALOMINO; PARVANIA, 2019; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025; PAIXÃO; ABAIDE, 2023).

Do ponto de vista socioambiental, também se tornam centrais as discussões sobre o ciclo de vida das baterias, a criticidade de matérias-primas, as cadeias produtivas e a gestão de fim de vida, incluindo reciclagem e aplicações de segunda vida. Essas dimensões são decisivas para avaliar a sustentabilidade líquida da mobilidade elétrica e para orientar práticas industriais e marcos regulatórios consistentes com economia circular (MICHELINI et al., 2023; ABDULLAHI; ADNAN, 2024).

Diante desse cenário, este artigo realiza uma revisão abrangente e tecnicamente fundamentada sobre tecnologias de VEs, infraestrutura de recarga, integração com a rede elétrica e implicações ambientais. O texto também incorpora evidências de estudos recentes associados a microrredes e estações de recarga, enfatizando desafios reais de planejamento e operação, além de oportunidades emergentes em gestão energética e serviços de rede (PAIXÃO et al., 2023; DANIELSSON et al., 2025; PAIXÃO et al., 2025).

2. TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A classificação dos VEs pode ser entendida como um espectro tecnológico cuja principal diferença reside no grau de eletrificação do trem de força, nas fontes primárias de energia e na estratégia de armazenamento e conversão. De forma consolidada, a literatura destaca quatro categorias predominantes: BEVs, PHEVs, HEVs e FCEVs (RANA et al., 2025; SINGH et al., 2024).

2.1. Veículos Elétricos a Bateria (bevs)

BEVs utilizam exclusivamente energia elétrica armazenada em baterias para alimentar o motor de tração. Essa arquitetura elimina emissões diretas durante a operação e simplifica o sistema mecânico em comparação a veículos convencionais, reduzindo requisitos de manutenção e ampliando a eficiência energética global. Em contrapartida, BEVs permanecem fortemente dependentes da infraestrutura de recarga e da disponibilidade de energia elétrica com qualidade e confiabilidade (DEILAMI; MUYEEN, 2020; RANA et al., 2025).

2.2. Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (phevs)

PHEVs combinam motor elétrico e motor a combustão, com possibilidade de recarga externa da bateria. Essa configuração oferece flexibilidade operacional e pode reduzir consumo de combustíveis fósseis em deslocamentos curtos, especialmente quando há recarga frequente. Contudo, benefícios ambientais e econômicos são altamente dependentes do padrão real de uso e da proporção de condução em modo elétrico (SINGH et al., 2024).

2.3. Veículos Elétricos Híbridos (hevs)

HEVs operam com motor a combustão associado a motor elétrico e bateria de menor capacidade, geralmente carregada por frenagem regenerativa e pelo próprio sistema do veículo. Embora possam melhorar eficiência de combustível em condições específicas, não eliminam dependência de combustíveis fósseis e, portanto, apresentam menor potencial de descarbonização em comparação aos BEVs (RANA et al., 2025).

2.4. Veículos Elétricos a Célula de Combustível (fcevs)

FCEVs convertem hidrogênio em eletricidade por meio de células a combustível, mantendo baterias auxiliares para estabilização e suporte de potência. Essa alternativa pode oferecer maior autonomia e reabastecimento rápido, porém ainda enfrenta barreiras significativas: custos, disponibilidade de infraestrutura de hidrogênio e desafios associados à produção sustentável do combustível (RANA et al., 2025).

2.5. Síntese Comparativa e Implicações Sistêmicas

Do ponto de vista sistêmico, a escolha da tipologia de VE relaciona-se ao perfil de uso, disponibilidade de infraestrutura, matriz energética regional, custos de aquisição e operação, além de políticas públicas. Assim, a trajetória de adoção tende a ser híbrida e dependente de contexto, exigindo planejamento energético e de mobilidade integrados, sobretudo em regiões com expansão ainda incipiente da recarga pública (MARTÍNEZ-GÓMEZ; ESPINOZA, 2024; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

3. TECNOLOGIAS FUNDAMENTAIS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

O desempenho e a confiabilidade de VEs são fortemente condicionados pela integração entre conversão eletromecânica, gerenciamento do armazenamento, controle do carregamento e conectividade. Nos últimos anos, a literatura tem enfatizado o papel de tecnologias habilitadoras para eficiência energética, segurança operacional e integração com redes elétricas inteligentes (RANA et al., 2025; SINGH et al., 2024).

3.1. Integração Vehicle-to-grid (V2G) e Interação com a Rede

A tecnologia V2G descreve mecanismos de fluxo bidirecional de energia entre a bateria do VE e o sistema elétrico, possibilitando que o veículo atue como recurso energético distribuído. Essa perspectiva é especialmente relevante em cenários com alta penetração de renováveis intermitentes, nos quais a flexibilidade do armazenamento móvel pode contribuir para suporte operacional e estratégias de gerenciamento de demanda (DEILAMI; MUYEEN, 2020; RANA et al., 2025).

No contexto de microrredes e estações de recarga, estudos recentes demonstram que estratégias de gerenciamento energético (incluindo abordagens baseadas em regras e otimização) são capazes de melhorar o desempenho operacional, considerando variabilidade de carga, integração com geração distribuída e restrições de degradação do armazenamento (PAIXÃO et al., 2023; DANIELSSON et al., 2025; PAIXÃO et al., 2025).

3.2. Frenagem Regenerativa e Eficiência em Tráfego Urbano

A frenagem regenerativa recupera parte da energia cinética durante desaceleração e a converte em energia elétrica armazenada na bateria, contribuindo para aumentar eficiência e autonomia, especialmente em tráfego urbano com ciclos frequentes de aceleração e frenagem. Embora seu benefício dependa do perfil de condução e do sistema de controle, trata-se de tecnologia consolidada e essencial para o desempenho energético dos VEs (RANA et al., 2025).

3.3. Sistemas de Gerenciamento de Bateria (BMS) e Confiabilidade do Armazenamento

O BMS é responsável por monitorar e controlar parâmetros elétricos e térmicos da bateria, protegendo o sistema contra condições críticas e garantindo operação segura. Além de suporte ao controle do estado de carga e do estado de saúde, o BMS influencia diretamente a vida útil e a disponibilidade energética do VE, sendo parte central do projeto de segurança e eficiência (RANA et al., 2025). Em aplicações de recarga rápida e microrredes, a degradação do armazenamento torna-se um elemento de

decisão relevante, exigindo modelos apropriados e estratégias operacionais que conciliem custo, desempenho e envelhecimento (PAIXÃO et al., 2025; SAUSEN et al., 2024).

3.4. Sistemas Avançados de Assistência Ao Motorista (ADAS)

A incorporação de ADAS tem ampliado o desempenho de segurança e conforto veicular por meio de sensores, percepção, monitoramento e suporte à condução. Além do impacto em segurança viária, essas tecnologias influenciam estratégias de condução e consumo energético, principalmente em ambientes urbanos e em padrões de tráfego variáveis (NEUMANN, 2024).

3.5. Conectividade, Sistemas Digitais e Integração com a Infraestrutura

Plataformas digitais e conectividade têm favorecido funcionalidades como gerenciamento remoto do carregamento, planejamento de rotas com recarga e integração com serviços de rede. Essas soluções se tornam particularmente relevantes quando combinadas com carregamento inteligente e protocolos de comunicação, expandindo possibilidades de operação coordenada entre usuários, operadores e sistema elétrico (SINGH et al., 2024; RANA et al., 2025).

4. APLICAÇÕES E INFRAESTRUTURA DE RECARGA

A infraestrutura de recarga constitui elemento estrutural para viabilizar a mobilidade elétrica, sendo determinante para a percepção de conveniência do usuário, expansão do mercado e operação confiável de frotas. A literatura

evidencia que a cobertura geográfica, a potência disponível e a confiabilidade das estações influenciam diretamente a adoção, sobretudo em trajetos interurbanos e aplicações logísticas (PALOMINO; PARVANIA, 2019; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

4.1. Recarga Residencial, Pública e de Frotas

A recarga pode ocorrer em múltiplos ambientes: residencial, corporativo, público urbano e em corredores rodoviários. Em geral, recarga residencial e corporativa tendem a associar-se a menores potências e maiores janelas de tempo, enquanto recarga pública rápida busca atender restrições operacionais de deslocamentos extensos e de alta rotatividade (PALOMINO; PARVANIA, 2019).

4.2. Carregamento Rápido em Corrente Contínua e Impactos na Rede

A recarga rápida em corrente contínua permite maior potência e redução do tempo de permanência, sendo essencial para viagens e aplicações comerciais. Contudo, tais estações impõem desafios: picos de demanda, necessidade de reforço de rede, dimensionamento de transformadores, e possíveis impactos em qualidade da energia, exigindo análise cuidadosa em planejamento e operação (DEILAMI; MUYEEN, 2020; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

4.3. Carregamento Inteligente e Coordenação de Demanda

O carregamento inteligente envolve estratégias de controle e programação de potência de recarga em função de sinalizações de rede, preços, restrições

técnicas ou metas ambientais. Essa abordagem pode reduzir impactos operacionais e favorecer integração com renováveis, especialmente quando combinada com armazenamento estacionário e mecanismos de resposta da demanda (DEILAMI; MUYEEN, 2020; RANA et al., 2025).

4.4. Planejamento Locacional e Metodologias de Decisão

O planejamento de estações de recarga é reconhecido como problema multidimensional. Revisões sistemáticas recentes evidenciam diversidade de abordagens: modelos de otimização, métodos multicritério, análises de fluxo de tráfego e integração com distribuição elétrica, frequentemente com objetivos conflitantes entre custo, acessibilidade, confiabilidade e impactos ambientais (FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

No contexto de microrredes de recarga e corredores rodoviários, estudos brasileiros têm explorado métodos hierárquicos e análises integradas para seleção de locais e avaliação técnico-econômica, ressaltando a relevância de critérios elétricos e operacionais para viabilidade de implantação (PAIXÃO; ABAIDE, 2023; SILVA et al., 2021).

4.5. Microrredes e Estações de Recarga: Evidências e Aplicações

A literatura recente aponta tendência de integração entre estações de recarga e microrredes, especialmente quando há geração fotovoltaica, armazenamento estacionário e estratégias de gestão energética. Modelagens elétricas e operacionais podem suportar análises de eficiência, custos, degradação e confiabilidade, contribuindo para projetos replicáveis e escaláveis (PAIXÃO et al., 2023; SILVA et al., 2023; PAIXÃO et al., 2025).

5. IMPACTOS AMBIENTAIS E CICLO DE VIDA

A avaliação ambiental de VEs deve considerar o ciclo de vida completo: produção, uso e fim de vida. Embora a operação do VE reduza emissões locais, impactos da cadeia de baterias e da matriz elétrica regional podem alterar o balanço ambiental líquido, exigindo análise mais ampla e baseada em evidências (SINGH et al., 2024; RANA et al., 2025).

5.1. Produção de Baterias e Criticidade de Materiais

A fabricação de baterias demanda processos industriais intensivos e cadeias de suprimento complexas, frequentemente associadas a matérias-primas críticas. A criticidade não é apenas técnica e econômica, mas também socioambiental, exigindo governança e rastreabilidade, além de inovação em rotas industriais e alternativas tecnológicas de materiais (RANA et al., 2025).

5.2. Reciclagem e Economia Circular

Estratégias de economia circular para baterias incluem reciclagem, remanufatura e recuperação de materiais. O avanço de processos e modelos de negócio associados à reciclagem é componente central para reduzir impactos acumulados e apoiar escalabilidade da mobilidade elétrica (MICHELINI et al., 2023).

5.3. Second-life e Aplicações Estacionárias

A reutilização de baterias automotivas em aplicações estacionárias é reconhecida como alternativa técnica relevante, considerando restrições de

desempenho residual e segurança. Aplicações em armazenamento estacionário e suporte a microrredes podem estender o valor econômico do ativo e reduzir pressões sobre novas extrações, desde que haja avaliação técnica, econômica e regulatória adequada (MICHELINI et al., 2023).

5.4. Integração com Energias Renováveis e Sustentabilidade Operacional

A literatura mostra que o acoplamento entre infraestrutura de recarga e geração renovável pode fortalecer ganhos ambientais. Além disso, integração renovável reduz dependência de eletricidade baseada em fontes fósseis e pode favorecer estratégias de operação inteligente, com carregamento coordenado e suporte de armazenamento (ABDULLAHI; ADNAN, 2024; SINGH et al., 2024).

Em microrredes de recarga rápida, estratégias de gestão energética e otimização considerando degradação podem contribuir para eficiência e sustentabilidade operacional, fortalecendo a viabilidade de soluções híbridas de suprimento (PAIXÃO et al., 2025; DANIELSSON et al., 2025).

6. DESAFIOS E BARREIRAS À ADOÇÃO GENERALIZADA

Apesar de avanços tecnológicos, a adoção de VEs permanece condicionada a fatores estruturais e sistêmicos: infraestrutura, custos, interoperabilidade, confiabilidade e políticas públicas. Revisões recentes indicam que tais fatores variam por região e perfil socioeconômico, sendo particularmente desafiadores em mercados emergentes (MARTÍNEZ-GÓMEZ; ESPINOZA, 2024; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

6.1. Infraestrutura e Confiabilidade da Rede de Recarga

A expansão da infraestrutura de recarga requer investimento e planejamento coordenado. Em corredores rodoviários, a disponibilidade e a potência instalada definem a funcionalidade prática do VE para deslocamentos longos. Falhas de interoperabilidade, manutenção e disponibilidade operacional comprometem a experiência do usuário e elevam a percepção de risco associado à mobilidade elétrica (PALOMINO; PARVANIA, 2019; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

6.2. Integração com Redes Elétricas e Qualidade do Suprimento

A integração de recarga rápida e simultânea pode impor cargas concentradas ao sistema de distribuição. Assim, o dimensionamento elétrico, a análise de restrições e o gerenciamento de demanda tornam-se necessários, sobretudo em regiões com menor robustez de infraestrutura elétrica ou com expansão desordenada das estações (DEILAMI; MUYEEN, 2020).

6.3. Aspectos Econômicos e Modelos de Negócio

Questões econômicas incluem custo total de propriedade, amortização de infraestrutura, tarifas e previsibilidade regulatória. Em particular, o desenvolvimento de modelos de negócio sustentáveis para estações de recarga é ponto crítico, exigindo avaliação do comportamento de carga, perfil de tráfego e mecanismos de precificação (SILVA et al., 2023; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

6.4. Adoção na América Latina: Desafios Estruturais

A literatura recente aponta que países latino-americanos enfrentam desafios específicos: desigualdade regional, baixa densidade de estações, limitações de investimento e marcos regulatórios ainda em consolidação. Esses fatores podem desacelerar a difusão tecnológica e reforçam a necessidade de políticas articuladas e planejamento territorial coerente (MARTÍNEZ-GÓMEZ; ESPINOZA, 2024).

7. TENDÊNCIAS FUTURAS E INOVAÇÕES

As tendências futuras em mobilidade elétrica envolvem convergência entre armazenamento avançado, conectividade, automação e integração energética. Revisões recentes destacam que o avanço em tecnologia de recarga e em planejamento de infraestrutura será decisivo para escalabilidade do setor (SINGH et al., 2024; RANA et al., 2025; FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

7.1. Baterias Avançadas e Novas Rotas Tecnológicas

Pesquisas em baterias alternativas e aprimoramentos em segurança, desempenho e sustentabilidade tendem a reduzir limitações atuais e a ampliar competitividade dos VEs. O avanço do conhecimento em degradação e em estratégias de operação orientadas ao envelhecimento é igualmente relevante, sobretudo em aplicações intensivas de recarga rápida (PAIXÃO et al., 2025; SAUSEN et al., 2024).

7.2. Digitalização, Conectividade e Direção Assistida

A digitalização do veículo e os sistemas ADAS ampliam segurança e conforto, além de favorecer novas arquiteturas de mobilidade conectada. Evidências recentes reforçam a importância de avaliação crítica dessas tecnologias, especialmente quanto a desempenho e confiabilidade em cenários reais de condução (NEUMANN, 2024).

7.3. Recarga Inteligente, Renováveis e Microrredes

Estratégias de carregamento inteligente associadas a renováveis e microrredes configuram tendência operacional robusta, com potencial de melhorar eficiência e reduzir impactos na rede. A integração renovável em redes de recarga é enfatizada como elemento relevante para sustentabilidade e resiliência de sistemas de mobilidade elétrica (ABDULLAHI; ADNAN, 2024; PAIXÃO et al., 2023; PAIXÃO et al., 2025).

7.4. Planejamento Otimizado e Escalabilidade da Infraestrutura

O planejamento otimizado de estações de recarga — incorporando múltiplos objetivos e variáveis urbanas/rodoviárias — permanece como um dos principais temas de pesquisa e desenvolvimento. A literatura sistemática recente reforça que a expansão eficiente depende de metodologias integradas e escaláveis, sobretudo em redes de recarga rápida (FERRAZ; FERRAZ; RUEDA-MEDINA, 2025).

8. CONCLUSÕES

Os Veículos Elétricos configuram um eixo estruturante da transformação tecnológica no setor de transportes, com impacto direto sobre metas

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

climáticas, eficiência energética e reconfiguração de mercados automotivos e energéticos. Esta revisão sistematizou fundamentos tecnológicos, arquiteturas predominantes, infraestrutura de recarga, integração com redes elétricas, impactos ambientais e desafios de adoção, evidenciando que o avanço da mobilidade elétrica não depende exclusivamente da evolução do veículo, mas de um ecossistema integrado de energia, planejamento e regulação.

Do ponto de vista técnico, o desempenho de VEs é fortemente influenciado por tecnologias de gerenciamento do armazenamento, carregamento inteligente, integração V2G e confiabilidade de infraestrutura. Em paralelo, os impactos ambientais devem ser avaliados sob a ótica do ciclo de vida, incorporando produção, rastreabilidade de materiais, reciclagem e aplicações de segunda vida, de modo consistente com economia circular.

Finalmente, a consolidação e democratização dos VEs exigem políticas públicas estáveis, investimentos coordenados em infraestrutura de recarga, planejamento locacional robusto e estratégias operacionais que reduzam impactos na rede elétrica. Nesse sentido, microrredes e soluções híbridas com renováveis e armazenamento emergem como alternativas promissoras, capazes de aumentar resiliência, eficiência e sustentabilidade da mobilidade elétrica em diferentes contextos regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAHI, U. O.; ADNAN, A. Integration of renewable energy into electric vehicle (EV) charging networks. **World Journal of Advanced**

Engineering Technology and Sciences, v. 13, n. 2, p. 156–165, 2024. DOI: 10.30574/wjaets.2024.13.2.0554.

DANIELSSON, G. H.; DA SILVA, L. N. F.; DA PAIXÃO, J. L.; ABAIDE, A. R.; KNAK NETO, N. K. Rules-Based Energy Management System for an EV Charging Station Nanogrid: A Stochastic Analysis. **Energies**, v. 18, n. 1, p. 26, 2025.

DEILAMI, S.; MUYEEN, S. M. An Insight into Practical Solutions for Electric Vehicle Charging in Smart Grid. **Energies**, v. 13, n. 7, p. 1545, 2020.

FERRAZ, R. S. F.; FERRAZ, R. S. F.; RUEDA-MEDINA, A. C. Optimized Planning for Electric Vehicle Charging Stations: A Systematic Review. **IEEE Access**, 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3607112.

FISCHER, D. R.; PAIXÃO, J. L.; SAUSEN, J. P. Previsão de curto prazo para geração fotovoltaica a partir de dados meteorológicos via RNA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA**, 2020, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBA, 2020.

MARTÍNEZ-GÓMEZ, J.; ESPINOZA, V. S. Challenges and Opportunities for Electric Vehicle Charging Stations in Latin America. **World Electric Vehicle Journal**, v. 15, n. 12, p. 583, 2024.

MICHELINI, E. et al. Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects. **Energies**, v. 16, n. 6, p. 2830, 2023.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

NEUMANN, T. Analysis of Advanced Driver-Assistance Systems for Safe and Comfortable Driving of Motor Vehicles. **Sensors**, v. 24, n. 19, p. 6223, 2024.

PAIXÃO, J. L.; ABAIDE, A. R. Análise do impacto da microgeração fotovoltaica na rede de distribuição de energia elétrica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 2887–2911, 2021.

PAIXÃO, J. L.; ABAIDE, A. R. Uma análise hierárquica para escolher o local de instalação de uma microrrede de carregamento rápido de VEs. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, p. 11906–11926, 2023.

PAIXÃO, J. L. *et al.* EV Charging Microgrid: Electrical and Operation Modeling of Energy Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED), 27., 2023, Rome. **Proceedings...** Rome: IET, 2023. p. 2373–2376.

PAIXÃO, J. L. *et al.* Microgrids for Electric Vehicle Charging: Challenges, Opportunities, and Emerging Technologies. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 26, n. 3, p. 35–45, 2024.

PAIXÃO, J. L. *et al.* Optimized Strategy for Energy Management in an EV Fast Charging Microgrid Considering Storage Degradation. **Energies**, v. 18, n. 5, p. 1060, 2025.

PALOMINO, A.; PARVANIA, M. Advanced charging infrastructure for enabling electrified transportation. **The Electricity Journal**, v. 32, n. 4, p. 21–26, 2019.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

RANA, M. M. *et al.* Comprehensive Review on the Charging Technologies of Electric Vehicles (EV) and Their Impact on Power Grid. **IEEE Access**, 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3538663. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3538663>. Acesso em: 2 fev. 2026.

SAUSEN, J. P. *et al.* Power Management in Smart Parking Systems – Addressing Battery Degradation. In: IEEE PES INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES EUROPE (ISGT EUROPE), 2024, Dubrovnik. **Proceedings...** Dubrovnik: IEEE, 2024.

SILVA, L. N. F. *et al.* Analysis of stochastic load behaviors on fast charging stations operational planning and business model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED), 27., 2023, Rome. **Proceedings...** Rome: IET, 2023. p. 1802–1806.

SILVA, L. N. F. *et al.* Proposal of a load curve modeling applied to Highway EV Fast Charging Stations. In: INTERNATIONAL UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE (UPEC), 56., 2021, Middlesbrough. **Proceedings...** Middlesbrough: IEEE, 2021.

SINGH, A. R. *et al.* Electric vehicle charging technologies, infrastructure expansion, grid integration strategies, and their role in promoting sustainable e-mobility. **Alexandria Engineering Journal**, v. 105, p. 300–330, 2024.

¹ Doutorando e Mestre em Engenharia Elétrica. Especialista em áreas da Educação e relacionadas à Engenharia Elétrica. Bacharel em Engenharia Elétrica, licenciado em Matemática, Física, Pedagogia e em Formação de

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

professores para a EPT. Foi aluno de IC, atuou como professor na EBTT e participou de vários projetos de P&D. Atualmente, é pesquisador e doutorando em Engenharia Elétrica. E-mail: joelson.paixao@hotmail.com |

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915> | ORCID:

<https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>

² Doutora em Engenharia Elétrica. Professora titular da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: alzenira@ufsm.br | Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/2427825596072142> | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1043-1608>