

IMPACTOS DA INSERÇÃO MASSIVA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO PLANEJAMENTO DE EXPANSÃO DAS REDES URBANAS

IMPACTS OF THE MASSIVE INTEGRATION OF ELECTRIC VEHICLES ON THE EXPANSION PLANNING OF URBAN POWER NETWORKS

IMPACTOS DE LA INTEGRACIÓN MASIVA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN URBANAS

Walison Weverton Lima Aguiar¹

Stênio de Sousa Coelho²

RESUMO: Este estudo objetiva examinar as consequências da introdução em larga escala de veículos elétricos sobre o planejamento da ampliação das redes urbanas de distribuição elétrica, abrangendo dimensões técnicas, operacionais e financeiras. A investigação visa compreender as modificações no perfil de consumo energético, efeitos sobre a qualidade do fornecimento, obstáculos na implementação da infraestrutura de carregamento e alternativas de mitigação existentes. O método empregado compreende revisão bibliográfica qualitativa de artigos científicos, dissertações e teses nas bases *ScienceDirect*, *Scopus*, *SciELO* e *Google Scholar*, utilizando descritores específicos e priorizando publicações de 2018 a 2025, complementada por análise de documentos institucionais da ANEEL, EPE e ABDI. Os conteúdos foram organizados em cinco eixos centrais: projeções de demanda, impactos eletrotécnicos, infraestrutura de recarga, tecnologias de gerenciamento e desafios regulatórios. Os achados demonstram que mesmo com 20% de inserção veicular, circuitos urbanos registram acréscimo de carregamento entre 12% e 35%, desvios de tensão acima de 4% e deformação harmônica próxima a 6,8%, demandando reforços estruturais em 30% dos circuitos quando a penetração supera 50%. Soluções como carregamento inteligente podem minimizar até 35% das consequências adversas, enquanto sistemas de medição avançada diminuem falhas em 23%. Portanto, a pesquisa comprova que a eletromobidade constitui mudança estrutural que demanda preparação prévia, aplicação de tecnologias avançadas e regulamentação definida para assegurar expansão equilibrada dos sistemas de distribuição no ambiente urbano brasileiro.

1685

Palavras-chave: Eletromobidade. Sistemas de distribuição. Planejamento energético. Estações de recarga. Gerenciamento inteligente.

ABSTRACT: This study aims to examine the consequences of large-scale integration of electric vehicles on the planning of urban electrical distribution network expansion, covering technical, operational, and financial dimensions. The research seeks to understand changes in energy consumption profiles, effects on power quality, challenges in charging infrastructure deployment, and existing mitigation alternatives. The method consists of a qualitative literature review of scientific articles, dissertations, and theses indexed in *ScienceDirect*, *Scopus*, *SciELO*, and *Google Scholar*, using specific descriptors and prioritizing publications from 2018 to 2025, complemented by an analysis of institutional documents from ANEEL, EPE, and ABDI. The content was organized into five core axes: demand projections, electrotechnical impacts, charging infrastructure, management technologies, and regulatory challenges. The findings indicate that even with 20% vehicle penetration, urban circuits experience load increases between 12% and 35%, voltage

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina – Piauí.

² Docente no Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina – Piauí. Mestre em Engenharia Elétrica - Controle e Automação de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal do Piauí.

deviations above 4%, and harmonic distortion near 6.8%, requiring structural reinforcements in 30% of circuits when penetration exceeds 50%. Solutions such as smart charging can mitigate up to 35% of adverse effects, while advanced metering systems reduce failures by 23%. Therefore, the research demonstrates that electromobility constitutes a structural transformation that requires prior preparation, the application of advanced technologies, and clear regulation to ensure balanced expansion of distribution systems in the Brazilian urban environment.

Keywords: Electromobility. Distribution systems. Energy planning. Charging stations. Smart management.

RESUMEN: Este estudio tiene como objetivo examinar las consecuencias de la introducción a gran escala de vehículos eléctricos en la planificación de la expansión de las redes urbanas de distribución eléctrica, abarcando dimensiones técnicas, operativas y financieras. La investigación busca comprender las modificaciones en el perfil de consumo energético, los efectos sobre la calidad del suministro, las dificultades para la implementación de la infraestructura de recarga y las alternativas de mitigación existentes. El método empleado consiste en una revisión bibliográfica cualitativa de artículos científicos, disertaciones y tesis en las bases ScienceDirect, Scopus, SciELO y Google Scholar, utilizando descriptores específicos y priorizando publicaciones entre 2018 y 2025, complementada con el análisis de documentos institucionales de ANEEL, EPE y ABDI. Los contenidos fueron organizados en cinco ejes centrales: proyecciones de demanda, impactos electrotécnicos, infraestructura de recarga, tecnologías de gestión y desafíos regulatorios. Los resultados muestran que, incluso con un 20% de inserción vehicular, los circuitos urbanos registran un aumento de carga entre 12% y 35%, desviaciones de tensión superiores al 4% y distorsión armónica cercana al 6,8%, requiriendo refuerzos estructurales en el 30% de los circuitos cuando la penetración supera el 50%. Soluciones como la carga inteligente pueden mitigar hasta el 35% de los efectos adversos, mientras que los sistemas avanzados de medición reducen fallos en un 23%. Por lo tanto, la investigación demuestra que la electromovilidad constituye un cambio estructural que demanda preparación previa, aplicación de tecnologías avanzadas y regulación definida para asegurar una expansión equilibrada de los sistemas de distribución en el entorno urbano brasileño.

1686

Palabras clave: Electromovilidad. Redes de distribución. Planificación energética. Estaciones de recarga. Gestión inteligente.

1 INTRODUÇÃO

A transição para a mobilidade elétrica tem acelerado transformações profundas no setor energético mundial, impulsionada pela necessidade de reduzir emissões de gases de efeito estufa e aumentar a eficiência dos sistemas de transporte. Países como China, Estados Unidos e diversas nações europeias apresentam forte crescimento da frota de veículos elétricos, tendência amplamente documentada por organismos internacionais e pesquisas recentes (BNEF, 2018; Welle, 2018). No Brasil, embora o avanço ainda seja gradual, concessionárias e órgãos reguladores já avaliam a necessidade de adaptação das redes urbanas para atender à nova demanda decorrente da eletrificação do transporte (Baran; Legey, 2010).

A inserção de veículos elétricos (VEs) modifica o comportamento das redes de distribuição ao introduzir cargas adicionais e perfis de consumo altamente variáveis. Estudos mostram que o carregamento descoordenado pode alterar a curva de demanda, elevar picos de

carga, aumentar perdas técnicas e gerar violações de tensão, mesmo em cenários de adoção moderada. Esses impactos são particularmente relevantes em redes urbanas antigas ou com elevada impedância, nas quais transformadores e alimentadores tornam-se mais suscetíveis à sobrecarga e às flutuações de tensão (Muratori, 2018; Arias, 2019; Porsche, 2018).

Além dos efeitos elétricos, a mobilidade elétrica também introduz consequências urbanísticas. Como destaca Ferreira *et al.* (2023), a recarga tende a se concentrar em polos de grande circulação — shopping centers, universidades, hospitais e estacionamentos — influenciando a distribuição espacial da demanda e criando novos pontos de pressão sobre a infraestrutura. Esse contexto reforça a necessidade de metodologias integradas que considerem simultaneamente o comportamento dos usuários, a localização dos eletropostos e a resposta da rede elétrica.

Em paralelo aos desafios, a literatura aponta diversas soluções capazes de mitigar os efeitos da eletrificação veicular, incluindo sistemas de armazenamento de energia (BESS), equipamentos de compensação reativa, reguladores de tensão, balanceamento de fases e técnicas avançadas como *peak shaving* e V2G (Mori *et al.*, 2021; Das *et al.*, 2020; Monteeiro *et al.*, 2025). No entanto, a aplicação dessas tecnologias ao contexto brasileiro requer análises detalhadas e planejamento específico diante das características singulares das redes urbanas do país.

1687

Dessa forma, a eletromobilidade apresenta benefícios ambientais e operacionais, mas impõe desafios relevantes ao planejamento da expansão dos sistemas de distribuição. Para orientar investimentos e antecipar limitações da infraestrutura, torna-se essencial que concessionárias e gestores utilizem simulações realistas, dados de campo e métodos de análise espacial como parte do processo decisório (Pinto, 2017; Abdala, 2019; Alves, 2018).

Nesse cenário, este artigo busca investigar, por meio de revisão de literatura, os principais impactos da inserção massiva de veículos elétricos no planejamento das redes de distribuição urbanas, considerando tanto os efeitos técnicos quanto as implicações espaciais associadas à expansão da infraestrutura de recarga. Parte-se do pressuposto de que compreender esses impactos é fundamental para orientar estratégias de expansão mais eficientes, resilientes e alinhadas às tendências globais de eletrificação (Muratori, 2018; Ferreira *et al.*, 2023; Porsche, 2018).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem de revisão bibliográfica de natureza qualitativa, fundamentada na análise crítica de pesquisas sobre os impactos da inserção massiva de veículos

elétricos (VEs) no planejamento da expansão das redes urbanas de distribuição. A metodologia foi selecionada por possibilitar uma compreensão integrada das transformações técnicas, operacionais e estruturais impostas pela eletromobilidade ao sistema elétrico brasileiro. Foram consultados artigos científicos, dissertações, teses e trabalhos técnicos nas bases *ScienceDirect*, *Scopus*, *SciELO* e *Google Scholar*, utilizando os descritores "veículos elétricos", "redes de distribuição", "planejamento energético urbano", "infraestrutura de recarga", "smart charging" e "impactos eletrotécnicos", priorizando estudos publicados entre 2018 e 2025.

A análise incluiu documentos institucionais da ANEEL, EPE e ABDI, além de relatórios internacionais que apresentam diagnósticos, projeções e orientações regulatórias sobre o crescimento da frota elétrica e suas implicações para a rede de distribuição. Esses materiais forneceram evidências atualizadas sobre sobrecarga de transformadores, variações de tensão, distorções harmônicas, perdas técnicas, alocação de eletropostos e requisitos para expansão da infraestrutura urbana. Os critérios de seleção consideraram a relevância para a Engenharia Elétrica, consistência metodológica, contribuição para o entendimento dos desafios de integração da mobilidade elétrica e aplicabilidade ao contexto brasileiro.

Os conteúdos foram organizados em cinco eixos centrais que refletem as competências da Engenharia Elétrica: projeções de demanda e alterações no comportamento de carga; impactos eletrotécnicos sobre sistemas de distribuição urbanos; infraestrutura de recarga e requisitos elétricos; tecnologias avançadas de gerenciamento e estratégias de mitigação; desafios regulatórios e diretrizes para planejamento energético. Essa categorização permite articular fundamentos teóricos, resultados empíricos e orientações institucionais, oferecendo uma visão abrangente sobre como preparar as redes urbanas para a eletromobilidade.

2.2 CRESCIMENTO DA MOBILIDADE ELÉTRICA E DEMANDAS AO SISTEMA ELÉTRICO

A transição para a mobilidade elétrica consolida-se como uma das principais tendências globais de modernização dos sistemas urbanos, impulsionada por políticas de descarbonização e avanços tecnológicos nas baterias de íons de lítio. No Brasil, esse crescimento provoca impactos significativos no planejamento energético das cidades, pois a adoção dos VEs cria novas demandas para o setor elétrico, exigindo previsões mais detalhadas da evolução da carga (Dias, 2025). O aumento do número de veículos conectados simultaneamente à rede pode modificar completamente os perfis horários de consumo, obrigando distribuidoras a reverem metodologias tradicionais de previsão de demanda. No contexto da Engenharia Elétrica, a eletromobilidade demanda novas abordagens para o cálculo de carregamento dos alimentadores,

transformadores de distribuição e sistemas de proteção, especialmente porque a simultaneidade das recargas se torna um fator crítico em regiões densamente povoadas onde alimentadores já operam próximos ao limite de capacidade (Ferreira *et al.*, 2023).

A expansão da mobilidade elétrica traz consigo questões relacionadas à qualidade da energia, decorrentes do uso intensivo de eletrônica de potência nos carregadores. A literatura demonstra que, em determinados cenários, a utilização de carregadores rápidos pode elevar níveis de distorção harmônica e causar desbalanço entre fases, afetando a vida útil de equipamentos da rede (Willer *et al.*, 2020). Esse fenômeno reforça a necessidade de análises combinadas de fluxo de carga, harmônicos e estabilidade do sistema, ampliando a atuação tradicional do engenheiro eletricista na avaliação da infraestrutura urbana.

Outro ponto relevante é que a eletrificação da mobilidade demanda políticas públicas integradas ao planejamento energético, uma vez que estudos apontam que países que estruturaram políticas coordenadas conseguiram reduzir custos de expansão e aumentar a eficiência operacional de suas redes (Dias, 2025). Assim, compreende-se que a antecipação dos efeitos da eletromobilidade é fundamental para evitar sobrecargas, preservar a confiabilidade das redes e garantir que o crescimento da frota elétrica ocorra de forma sustentável e segura para o sistema de distribuição (Ferreira *et al.*, 2023).

2.3 PERFIL DE CARGA E IMPACTOS DOS PADRÕES DE RECARGA NO PLANEJAMENTO URBANO

O perfil de recarga dos VEs constitui uma das principais variáveis que determinam o impacto da mobilidade elétrica sobre as redes urbanas. Recargas noturnas residenciais, por exemplo, tendem a intensificar o carregamento de transformadores em períodos historicamente menos exigidos, alterando padrões de demanda consolidados (Bitencourt, 2021). Já a recarga rápida em centros urbanos cria picos localizados de elevada potência, exigindo maior robustez dos alimentadores e controle rigoroso das quedas de tensão (Porsche, 2018).

Essa diversidade de perfis torna o planejamento mais complexo e exige modelagens específicas para cada tipo de aplicação. Outro aspecto crítico é que a recarga simultânea em áreas residenciais pode deslocar o pico de carga para horários intermediários, conforme demonstrado por estudos empíricos sobre o comportamento de usuários de VEs (Willer *et al.*, 2020). Em edifícios multifamiliares, a simultaneidade tende a aumentar com o crescimento da frota, pressionando transformadores internos e sistemas de proteção, podendo resultar em sobrecarga térmica, elevação das perdas elétricas e degradação acelerada dos equipamentos (Garcia, 2021).

Em áreas comerciais, o comportamento de carga apresenta maior complexidade. A presença de eletropostos de recarga rápida pode gerar variações abruptas de potência, impactando diretamente o nível de tensão e a estabilidade do sistema local (Porsche, 2018). Essas condições demandam análises de fluxo de carga em alta granularidade temporal, uma vez que o carregamento pode ocorrer de forma imprevisível e com potência elevada.

Para a Engenharia Elétrica, isso significa incorporar modelos de recarga probabilísticos que representem fielmente o comportamento dos usuários. A necessidade de avaliar a infraestrutura existente antes da conexão de pontos de recarga é amplamente destacada na literatura, pois sem análises prévias de curto-circuito, coordenação de proteção e avaliação térmica dos condutores, instalações de eletropostos podem provocar violações de tensão, aquecimento excessivo ou falhas em dispositivos de proteção (Dias, 2025). Dessa forma, os padrões de recarga influenciam diretamente a escolha de estratégias de expansão da rede e a definição de critérios para reforço da infraestrutura urbana (Garcia, 2021).

2.4 INTEGRAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE RECARGA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A integração da infraestrutura de recarga exige decisões criteriosas sobre níveis de tensão, capacidade de conexão e proteção elétrica. Em muitos casos, alimentadores existentes não possuem margem suficiente para suportar a inserção de vários carregadores, especialmente em regiões densas onde a carga já está próxima ao limite. Nessas situações, engenheiros precisam avaliar a necessidade de substituição de transformadores, aumento de bitola de cabos ou reconfiguração de alimentadores para redistribuir cargas (Ferreira *et al.*, 2023), reforçando o papel da Engenharia Elétrica como protagonista no processo de eletrificação da mobilidade. Os carregadores de alta potência, especialmente os de recarga rápida, introduzem desafios adicionais devido ao uso intensivo de conversores eletrônicos, que aumentam a presença de harmônicos e podem causar interferências que afetam a qualidade da energia fornecida a outros consumidores (Willer *et al.*, 2020). Avaliações de distorção harmônica total (THD) e de harmônicos individuais tornam-se imprescindíveis para garantir que a operação dos eletropostos não ultrapasse os limites normativos, sendo necessário, em alguns casos, instalar filtros ou adotar técnicas de mitigação para preservar a qualidade da energia.

A coordenação da proteção elétrica representa outro fator importante, pois carregadores podem operar com correntes elevadas e variação rápida de potência, exigindo que dispositivos de proteção sejam ajustados para evitar atuações indevidas ou falhas na detecção de curto-circuito. Além disso, a recarga de múltiplos veículos em um mesmo alimentador pode alterar

os níveis de corrente de curto-circuito, exigindo revisão dos ajustes de relés e substituição de dispositivos inadequados, representando custos adicionais que devem ser considerados no planejamento (Garcia, 2021).

Do ponto de vista operacional, distribuidoras precisam acompanhar em tempo real o comportamento das estações de recarga, especialmente em regiões críticas, uma vez que o monitoramento avançado pode permitir ações preventivas, como manobras de rede ou limitação temporária de potência, evitando sobrecargas e interrupções (Dias, 2025). Esse conjunto de desafios demonstra que a integração da infraestrutura de recarga exige abordagem sistêmica, envolvendo estudos de fluxo de potência, curto-circuito, harmônicos, proteção e planejamento econômico.

2.5 TECNOLOGIAS INTELIGENTES E ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS

A inserção massiva de veículos elétricos pode ser significativamente mitigada por meio de tecnologias inteligentes de gerenciamento de energia, que representam uma evolução natural das redes em direção ao conceito de *smart grids*. Uma das estratégias mais estudadas é o *smart charging*, que ajusta a potência de recarga de acordo com as condições da rede, evitando sobrecargas e reduzindo picos de demanda (Arioli, 2016). Essa abordagem permite que a recarga seja distribuída ao longo do tempo, minimizando a simultaneidade e melhorando a estabilidade do sistema. Outra tecnologia promissora é o *Vehicle-to-Grid* (V2G), que permite que veículos elétricos devolvam energia para a rede durante períodos de alta demanda, transformando-os em elementos ativos do sistema elétrico capazes de contribuir para o equilíbrio operacional (Dias, 2025). Para a Engenharia Elétrica, o V2G representa um novo paradigma que exige revisões na proteção, medição e controle dos sistemas, podendo reduzir custos de expansão ao evitar sobrecargas estruturais em cenários de alta penetração.

O uso de sistemas de automação, medição inteligente e análise avançada de dados também é fundamental para otimizar o planejamento energético urbano. Como a recarga de veículos tende a apresentar padrões altamente variáveis, algoritmos preditivos baseados em aprendizado de máquina podem melhorar significativamente as previsões de demanda (Dias, 2025), permitindo que distribuidoras tomem decisões mais precisas sobre expansão de rede, priorização de reforços e alocação de infraestrutura. A integração de carregadores a sistemas de gestão energética predial (BEMS) amplia a capacidade de coordenação e controle, especialmente em edificações corporativas e condomínios verticais, permitindo definir limites de potência,

horários de recarga e estratégias de priorização, evitando sobrecarga de transformadores internos e reduzindo custos operacionais (Arioli, 2016). Dessa forma, tecnologias inteligentes representam um dos pilares para a consolidação da mobilidade elétrica com segurança, eficiência e sustentabilidade.

2.6 DESAFIOS REGULATÓRIOS, CUSTOS ASSOCIADOS E DIRETRIZES PARA A EXPANSÃO

A expansão das redes urbanas diante do crescimento da mobilidade elétrica enfrenta desafios regulatórios que precisam ser superados para garantir segurança, eficiência e previsibilidade. A ANEEL reconhece que, embora já existam normas para conexão de cargas, ainda faltam diretrizes específicas para infraestrutura de recarga, especialmente no que se refere a limites de potência e padrões de conexão (ANEEL, 2023). Essa ausência pode gerar incertezas para investidores e dificultar o planejamento por parte das distribuidoras, tornando políticas públicas claras essenciais para garantir a expansão coordenada da infraestrutura.

Além dos desafios regulatórios, os custos associados à instalação de eletropostos e ao reforço da rede representam um dos maiores entraves à difusão da mobilidade elétrica. De acordo com a literatura, os custos incluem substituição de transformadores, ampliação de alimentadores, instalação de dispositivos de proteção, adequação de subestações e implantação de sistemas de monitoramento (Dias, 2025), exigindo planejamento antecipado que considere tanto o crescimento da frota quanto o comportamento dos usuários.

A EPE destaca a importância de integrar previsões de expansão da mobilidade elétrica aos Planos de Expansão da Distribuição (PED), visto que a demanda adicional pode alterar significativamente projeções futuras (EPE, 2023). Isso implica que distribuidoras devem incluir cenários variados de penetração de VEs em suas análises, evitando surpresas operacionais e garantindo que os investimentos sejam direcionados de forma eficiente. Por fim, o sucesso do processo de eletrificação da mobilidade depende de políticas de incentivo que reduzam barreiras de entrada, promovam a padronização tecnológica e ampliem a competitividade do setor. Incentivos tarifários, flexibilização regulatória e programas de apoio à inovação tecnológica são elementos fundamentais para garantir que a transição ocorra de forma sustentável, equilibrando custos, segurança e qualidade do serviço (ANEEL, 2023).

3 RESULTADOS

Os resultados desta revisão demonstram que a expansão da mobilidade elétrica exerce impactos diretos e significativos sobre o planejamento das redes urbanas, principalmente em termos de aumento de demanda, variações temporais de carga, distorções harmônicas e necessidade de reforços estruturais. A eletrificação veicular tende a modificar substancialmente a curva diária de consumo, deslocando cargas para o período noturno em residências e criando picos abruptos em áreas comerciais equipadas com infraestrutura de recarga rápida (Ferreira *et al.*, 2023).

Em cenários analisados, alimentadores urbanos apresentaram elevação de carregamento entre 12% e 35% com apenas 20% de penetração veicular, revelando que o impacto é sensível mesmo em fases iniciais de adoção da tecnologia (Dias, 2025). Esses resultados reforçam a necessidade de modelos mais refinados de previsão e simulação para orientar decisões estratégicas de expansão da rede, considerando diferentes cenários de penetração e padrões de comportamento dos usuários, uma vez que a variabilidade dos perfis de recarga torna inadequados os métodos tradicionais de previsão de demanda baseados em cargas convencionais.

Os estudos também revelam que o comportamento de recarga influencia profundamente o desempenho dos sistemas de distribuição, constituindo-se em variável crítica para o planejamento da expansão. Pesquisas sobre hábitos de usuários demonstram que a maior parte das recargas residenciais ocorre entre 18h e 23h, elevando o carregamento de transformadores justamente em períodos próximos ou coincidentes ao horário de ponta (Bitencourt, 2021). Essa concentração temporal representa um desafio operacional significativo, pois sobrepõe a demanda dos veículos elétricos à demanda residencial tradicional, potencializando riscos de sobrecarga e reduzindo a vida útil dos equipamentos. Em edifícios verticais monitorados em São Paulo e Recife, observou-se que a adição de apenas 15 pontos de recarga elevou em até 22% a corrente de neutro, agravando desbalanços de fase e perdas técnicas em sistemas trifásicos (Willer *et al.*, 2020).

Em grandes centros comerciais, a instalação de carregadores acima de 50 kW provocou quedas de tensão superiores a 4%, ultrapassando limites normativos em alguns casos e demonstrando a vulnerabilidade de alimentadores não dimensionados para esse tipo de carga concentrada (Porsche, 2018). Esses achados evidenciam que padrões de comportamento humano, incluindo preferências horárias, frequência de recarga e potência demandada, precisam

ser incorporados aos modelos de planejamento, e não apenas variáveis elétricas tradicionais baseadas em características estáticas das cargas.

A análise dos estudos de integração da infraestrutura de recarga mostrou que a capacidade dos alimentadores urbanos é um dos elementos mais sensíveis à eletrificação veicular, demandando atenção prioritária no planejamento da expansão. Simulações realizadas por distribuidoras e universidades, descritas em Ferreira *et al.* (2023), indicam que a implantação de corredores urbanos com estações de recarga rápida pode exigir troca de transformadores e cabos, realocação de cargas entre alimentadores e instalação de reguladores de tensão para manter níveis dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas.

Em bairros densos, onde a expansão física da rede é limitada por restrições urbanísticas e de espaço, a instalação de eletropostos resultou em sobrecarga de transformadores em até 16% e violação de tensão em até 11% das barras simuladas, mesmo em cenários conservadores de penetração. Esses resultados alertam para a necessidade de reconfigurações de rede, uso de manobras automáticas e instalação de sistemas de monitoramento inteligente como ferramentas essenciais à expansão segura e sustentável da infraestrutura de distribuição. Os dados revelam que em cenários com 30% de penetração, o aumento de carregamento pode atingir entre 25% e 45%, com violações de tensão alcançando até 11% e sobrecarga em transformadores chegando a 22% (Ferreira *et al.*, 2023; Willer *et al.*, 2020). Para penetrações acima de 50%, os estudos indicam que aproximadamente 30% dos alimentadores necessitariam de reforço estrutural, caracterizando situação crítica que demanda planejamento antecipado (Dias, 2025).

1694

A qualidade da energia também se mostrou um ponto crítico nos estudos revisados, emergindo como uma preocupação crescente à medida que a penetração de veículos elétricos aumenta. Carregadores de alta potência, especialmente os de corrente contínua utilizados em estações de recarga rápida, empregam eletrônica de potência que introduz harmônicos relevantes no sistema de distribuição (Willer *et al.*, 2020).

Ensaio realizados em campos de prova urbanos mostraram que carregadores de 120 kW elevaram a THD (*Total Harmonic Distortion*) para até 6,8% em baixa tensão, valor próximo ao limite normativo de 8%, demonstrando risco de ultrapassagem em situações de simultaneidade elevada ou quando múltiplos carregadores operam simultaneamente no mesmo alimentador (Willer *et al.*, 2020). Ensaio laboratoriais citados por Garcia (2021) reforçam que esses harmônicos podem aumentar perdas nos condutores devido ao efeito pelicular, causar aquecimento adicional em transformadores reduzindo sua vida útil, e provocar operação indevida de proteções sensíveis à frequência ou à forma de onda. Em alguns cenários avaliados,

a inserção de filtros harmônicos passivos e ativos mitigou entre 40% e 60% da distorção, demonstrando que soluções técnicas já existentes e comercialmente disponíveis podem reduzir significativamente os impactos na qualidade da energia.

Em relação à proteção dos sistemas elétricos, os resultados indicam que a recarga veicular altera significativamente os níveis de corrente de carga e curto-circuito, exigindo ajustes criteriosos nos dispositivos de proteção existentes. Estudos da literatura demonstram que o aumento da potência instalada nos pontos de recarga elevou correntes de curto-circuito em até 9% em alimentadores urbanos típicos, demandando revisão completa de ajustes de relés e substituição de disjuntores subdimensionados para garantir a coordenação adequada da proteção (Garcia, 2021).

Em redes trifásicas urbanas antigas, originalmente projetadas para cargas equilibradas, a presença de carregadores monofásicos intensificou o desbalanço entre fases, reduzindo a eficiência global do sistema e aumentando perdas técnicas no condutor neutro (Dias, 2025). Em alguns casos analisados, a redistribuição dos carregadores entre fases foi suficiente para restabelecer condições operacionais aceitáveis, mas em outros o reforço estrutural da infraestrutura tornou-se necessário, incluindo a substituição de transformadores por unidades de maior capacidade ou a instalação de transformadores adicionais para dividir a carga.

1695

Outro conjunto de resultados relevante emergiu da análise de estratégias de gerenciamento inteligente da recarga, que demonstraram potencial significativo de mitigação dos impactos. Pesquisas indicam que o uso de sistemas de *smart charging* pode reduzir até 35% dos impactos sobre transformadores e alimentadores, limitando a potência de recarga em horários críticos e redistribuindo a carga ao longo da madrugada quando a demanda geral do sistema é menor (Arioli, 2016).

Em simulações urbanas de alta densidade populacional, a adoção de carregamento controlado coordenado reduziu o pico de demanda em até 18% sem perda significativa de autonomia para os usuários, mantendo os veículos prontos para uso no horário matinal (Arioli, 2016). Já estudos envolvendo tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G) mostraram que veículos conectados durante longos períodos — como frotas corporativas estacionadas durante o horário comercial — podem contribuir para o suporte de tensão e redução de picos, diminuindo a necessidade de investimentos imediatos em reforço da infraestrutura e adicionando flexibilidade operacional ao sistema (Dias, 2025).

Além das tecnologias inteligentes de controle de recarga, os resultados apontaram que sistemas de automação da distribuição, medição inteligente e análise preditiva baseada em dados

são essenciais para lidar com a variabilidade dos padrões de recarga. Distribuidoras que implementaram medidores inteligentes em projetos-piloto conseguiram prever com maior precisão a curva diária de carregamento e detectar sobrecargas incipientes antes de ocorrerem interrupções do serviço, reduzindo em até 23% as ocorrências de falhas em alimentadores monitorados (Dias, 2025).

Esses achados mostram que o gerenciamento ativo da rede, com capacidade de resposta em tempo real às variações de carga, é elemento indispensável no planejamento de redes resilientes capazes de absorver a mobilidade elétrica. A implementação de sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) avançados e a integração com plataformas de análise de big data permitem às distribuidoras antecipar problemas, otimizar manobras de rede e planejar expansões com base em evidências concretas de comportamento do sistema.

No que diz respeito aos desafios espaciais e à localização da infraestrutura, estudos mostram que a alocação geográfica dos eletropostos influencia diretamente o carregamento da rede e a necessidade de reforços. Ferreira *et al.* (2023) destaca que pontos instalados em polos de alta circulação — shopping centers, universidades, hospitais e terminais de transporte — concentram fluxos de recarga que podem saturar alimentadores específicos, criando "ilhas de sobrecarga" mesmo quando a rede, considerada em sua totalidade, apresenta margem suficiente de capacidade.

1696

Em análises geoespaciais realizadas com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), apontou-se que eletropostos mal distribuídos espacialmente podem gerar assimetrias significativas no uso da infraestrutura, elevando custos de expansão em regiões específicas e reduzindo a eficiência global do sistema de distribuição (Ferreira *et al.*, 2023). Esses resultados reforçam a necessidade de planejamento integrado entre engenharia elétrica e planejamento urbano, considerando fluxos de tráfego, padrões de mobilidade e características da rede elétrica existente para otimizar a localização dos pontos de recarga.

Em termos de custos associados à expansão, os estudos revisados apontam que a mobilidade elétrica pode exigir investimentos significativos em infraestrutura de distribuição, particularmente em redes urbanas antigas ou subdimensionadas. Dias (2025) exemplifica que, em um dos cenários analisados considerando crescimento moderado da frota, 30% dos alimentadores urbanos precisariam de reforço em até 15 anos caso a penetração dos VEs siga a tendência internacional de crescimento.

Os custos estimados incluem substituição de transformadores de distribuição por unidades de maior capacidade, ampliação da bitola de cabos, instalação de equipamentos de

compensação reativa para controle de tensão, implantação de dispositivos de automação e proteção, e modernização de sistemas de medição. Em contrapartida, os estudos demonstram que tecnologias de controle de recarga e uso distribuído de sistemas de armazenamento de energia podem reduzir parte desses custos ao evitar ou postergar investimentos estruturais prematuros, representando uma alternativa econômica viável para distribuidoras (Dias, 2025).

Os estudos também demonstram que a adoção de infraestrutura de recarga rápida deve ser especialmente planejada, pois requer conexão em níveis de tensão mais elevados e avaliações rigorosas de impacto sobre a rede. Estações com múltiplos carregadores acima de 150 kW podem demandar subestações dedicadas ou reforço significativo de ramais de média tensão, elevando substancialmente os investimentos iniciais e o tempo de implantação (Porsche, 2018).

Em um dos cenários simulados, a instalação de apenas quatro carregadores de 350 kW — tecnologia ultrarrápida que vem sendo adotada em países desenvolvidos — exigiu ampliação de transformadores de distribuição, instalação de reguladores de tensão e reforço de cabos, demonstrando a necessidade de estudos detalhados de viabilidade elétrica antes da autorização de conexão (Porsche, 2018). Esses resultados indicam que a recarga ultrarrápida, embora conveniente para os usuários, representa um desafio técnico e econômico considerável para as distribuidoras.

1697

Os resultados também destacam que a ausência de políticas coordenadas e de marcos regulatórios claros pode comprometer significativamente a eficiência da expansão e aumentar custos desnecessariamente. Em países onde a normatização não acompanhou a evolução acelerada da mobilidade elétrica, distribuidoras enfrentaram sobrecargas inesperadas e foram forçadas a realizar investimentos emergenciais de alto custo, muitas vezes sem possibilidade de planejamento otimizado (ANEEL, 2023).

A literatura revisada indica que regulamentações claras sobre limites de potência por ponto de conexão, modelos tarifários que incentivem recarga fora do horário de ponta, padrões técnicos de infraestrutura e requisitos mínimos de qualidade tendem a minimizar riscos operacionais e orientar investimentos de forma mais eficiente (ANEEL, 2023). No Brasil, as diretrizes ainda estão em evolução, o que reforça a necessidade urgente de alinhamento entre planejamento elétrico, políticas públicas de mobilidade e regulamentação do setor energético.

Os estudos identificaram diversas estratégias eficazes para mitigar os impactos da mobilidade elétrica. O *smart charging* demonstrou capacidade de reduzir até 35% dos impactos sobre transformadores, sendo altamente aplicável tanto em contextos residenciais quanto comerciais (Arioli, 2016). A tecnologia *Vehicle-to-Grid* (V2G), embora apresente aplicabilidade

média concentrada principalmente em frotas corporativas, oferece suporte de tensão e redução de picos significativos. Os sistemas de medição inteligente mostraram-se altamente aplicáveis em toda a rede, com capacidade de reduzir em 23% as ocorrências de falhas (Dias, 2025).

Filtros harmônicos, com aplicabilidade média concentrada em sistemas de recarga rápida, apresentaram eficácia na redução da THD entre 40% e 60% (Garcia, 2021). A reconfiguração de rede e o balanceamento de fases demonstraram alta aplicabilidade, especialmente em áreas densas e redes antigas, respectivamente (Ferreira *et al.*, 2023; Dias, 2025).

Ao sintetizar os resultados, percebe-se que a mobilidade elétrica oferece benefícios ambientais e energéticos significativos, mas impõe desafios operacionais, técnicos e econômicos que exigem preparação profunda e multidisciplinar das redes urbanas de distribuição. A eletromobilidade não deve ser vista apenas como uma nova carga a ser atendida, mas como um vetor de transformação sistêmica que demanda novos paradigmas de modelagem, monitoramento, controle e operação dos sistemas elétricos.

Uma expansão sustentável e segura depende fundamentalmente de decisões baseadas em dados consistentes, simulações realistas que considerem a variabilidade do comportamento dos usuários, estratégias integradas de engenharia que combinem soluções convencionais e tecnologias inteligentes, e políticas regulatórias claras e alinhadas às melhores práticas internacionais. A experiência internacional demonstra que países que anteciparam esses desafios e estabeleceram políticas coordenadas conseguiram reduzir custos, minimizar impactos e maximizar os benefícios da transição para a mobilidade elétrica, lições que devem ser incorporadas ao planejamento brasileiro para garantir uma transição bem-sucedida.

3.1 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DOS RESULTADOS

Apesar da robustez dos achados apresentados, é fundamental reconhecer que os resultados desta revisão apresentam limitações inerentes à natureza dos estudos analisados e às especificidades do contexto brasileiro. A primeira limitação significativa refere-se à heterogeneidade metodológica das pesquisas revisadas, uma vez que diferentes estudos utilizaram modelos de simulação distintos, consideraram cenários de penetração variados e adotaram premissas diferenciadas sobre o comportamento de recarga dos usuários (Ferreira *et al.*, 2023; Dias, 2025).

Essa diversidade metodológica, embora enriqueça a compreensão do fenômeno, dificulta comparações diretas entre resultados e pode gerar incertezas na extrapolação das conclusões

para contextos específicos. Além disso, grande parte dos estudos baseia-se em simulações computacionais que, por mais sofisticadas que sejam, representam simplificações da realidade operacional das redes de distribuição, não capturando completamente a complexidade dos sistemas reais e as múltiplas interações entre componentes da rede (Willer *et al.*, 2020).

Outro desafio importante relaciona-se à escassez de dados empíricos de longo prazo sobre o comportamento real de recarga de veículos elétricos no contexto brasileiro. A maioria dos estudos nacionais ainda trabalha com padrões de comportamento estimados ou adaptados de realidades internacionais, particularmente da Europa e Estados Unidos, que podem não refletir adequadamente as características socioeconômicas, culturais e de infraestrutura do Brasil (Bitencourt, 2021). Os hábitos de deslocamento, a disponibilidade de garagens residenciais, os padrões de uso de veículos e até mesmo a renda disponível para investimento em infraestrutura privada de recarga diferem substancialmente entre países e regiões, fatores que influenciam diretamente os impactos sobre a rede. Essa limitação é particularmente relevante considerando que o Brasil apresenta desigualdades regionais acentuadas, com características urbanas, climáticas e socioeconômicas que variam significativamente entre as diferentes regiões do país.

A temporalidade dos estudos também constitui uma limitação relevante, uma vez que a tecnologia de veículos elétricos e de sistemas de recarga evolui rapidamente, tornando alguns resultados potencialmente desatualizados em curto espaço de tempo. Carregadores bidirecionais, baterias de maior capacidade, sistemas de gerenciamento mais sofisticados e novas topologias de conversores de potência são desenvolvidos continuamente, alterando os parâmetros técnicos que fundamentam as simulações (Garcia, 2021; Dias, 2025). Consequentemente, projeções baseadas em tecnologias atuais podem subestimar ou superestimar impactos futuros, dependendo da direção das inovações tecnológicas. Essa dinâmica tecnológica acelerada exige que o planejamento das redes seja suficientemente flexível para acomodar mudanças e que os modelos de simulação sejam periodicamente atualizados com parâmetros mais recentes.

As limitações relacionadas à representação da rede também merecem destaque, pois muitos estudos utilizam modelos simplificados de alimentadores típicos que podem não capturar adequadamente as particularidades das redes urbanas brasileiras. Redes antigas, com configurações complexas resultantes de expansões incrementais ao longo de décadas, cabos de diferentes materiais e bitolas, transformadores de diversas gerações e níveis variados de instrumentação apresentam comportamentos que nem sempre são fielmente reproduzidos em

modelos acadêmicos (Ferreira *et al.*, 2023). Além disso, a interação entre diferentes níveis de tensão, a presença de geração distribuída fotovoltaica e as características específicas de cargas industriais e comerciais coexistentes com a recarga veicular adicionam camadas de complexidade que muitas vezes são simplificadas ou negligenciadas nas simulações.

A incerteza associada às projeções de crescimento da frota de veículos elétricos representa outra limitação significativa dos resultados. As taxas de adoção de VEs dependem de múltiplos fatores como políticas de incentivo, evolução dos preços dos veículos, disponibilidade de infraestrutura pública de recarga, custos de combustíveis fósseis, conscientização ambiental da população e desenvolvimento da indústria automotiva nacional (Dias, 2025; ANEEL, 2023). Variações em qualquer desses fatores podem alterar substancialmente as trajetórias de crescimento, tornando cenários otimistas ou pessimistas igualmente plausíveis. Essa incerteza dificulta o planejamento de longo prazo e pode resultar tanto em investimentos prematuros quanto em reforços tardios da infraestrutura, ambos com consequências econômicas negativas para distribuidoras e consumidores.

As limitações regulatórias e institucionais também impactam a aplicabilidade dos resultados, uma vez que o marco regulatório brasileiro para mobilidade elétrica ainda está em desenvolvimento. A ausência de normas específicas sobre potência máxima de conexão, requisitos técnicos padronizados para eletropostos, modelos tarifários diferenciados e responsabilidades sobre a infraestrutura de recarga cria um ambiente de incerteza que dificulta tanto o planejamento das distribuidoras quanto a tomada de decisão de investidores privados (ANEEL, 2023). Os estudos revisados frequentemente assumem cenários regulatórios ideais ou adaptam regulamentações internacionais, o que pode não refletir adequadamente as condições e restrições do contexto regulatório brasileiro. Essa lacuna entre os pressupostos dos estudos e a realidade institucional limita a aplicabilidade imediata de algumas recomendações e estratégias de mitigação propostas na literatura.

Por fim, é importante reconhecer que os custos apresentados nos estudos envolvem significativas incertezas e variabilidades, dependendo de fatores como economia de escala, desenvolvimentos tecnológicos futuros, condições específicas de cada rede e decisões de engenharia adotadas (Dias, 2025; Porsche, 2018). Estimativas de custos baseadas em tecnologias e preços atuais podem não capturar adequadamente reduções futuras de custos resultantes de padronização, produção em massa ou inovações disruptivas. Além disso, os custos indiretos associados a interrupções de serviço, perda de receita, impactos na qualidade percebida pelos consumidores e custos sociais da transição energética são de difícil quantificação e

frequentemente não são incorporados nas análises econômicas. Essas limitações sugerem que as decisões de investimento devem ser tomadas considerando não apenas os números apresentados nos estudos, mas também análises de sensibilidade robustas e avaliações de risco que contemplem diferentes cenários futuros possíveis.

4 CONCLUSÃO

A revisão sistemática realizada neste estudo demonstra que a expansão da mobilidade elétrica representa uma transformação profunda nos sistemas de distribuição urbanos, impondo desafios técnicos, operacionais e econômicos que exigem preparação antecipada. Os resultados evidenciam que mesmo em cenários de penetração moderada, entre 20% e 30% da frota, os impactos sobre alimentadores, transformadores e qualidade da energia são significativos, incluindo elevações de carregamento de até 35%, violações de tensão superiores a 4% e distorções harmônicas próximas aos limites normativos (Ferreira *et al.*, 2023; Dias, 2025; Willer *et al.*, 2020).

A mitigação desses impactos é tecnicamente viável através de estratégias como smart charging, V2G, medição inteligente e reconfiguração de rede, que podem reduzir significativamente os efeitos adversos sem comprometer a experiência dos usuários (Arioli, 2016; Dias, 2025). A eficácia dessas soluções, entretanto, depende fundamentalmente da existência de marcos regulatórios claros, políticas de incentivo alinhadas e coordenação entre agentes do setor elétrico e de mobilidade.

1701

Apesar da robustez dos achados, reconhecem-se limitações importantes relacionadas à heterogeneidade metodológica das pesquisas, escassez de dados empíricos brasileiros e incertezas nas projeções de crescimento da frota (ANEEL, 2023). Futuras pesquisas devem priorizar estudos empíricos com dados reais de redes brasileiras, desenvolvimento de modelos preditivos que incorporem especificidades regionais e análises de sensibilidade robustas considerando diferentes cenários tecnológicos. Recomenda-se também o desenvolvimento de metodologias integradas que articulem análises técnicas de engenharia elétrica com planejamento urbano, considerando aspectos espaciais, fluxos de mobilidade e características socioeconômicas das diferentes regiões.

Em síntese, a transição para a mobilidade elétrica apresenta-se como oportunidade estratégica para modernização dos sistemas de distribuição, mas seu sucesso depende de ações coordenadas baseadas em evidências científicas. As distribuidoras devem incorporar cenários de eletrificação veicular em seus planos de expansão e investir em tecnologias inteligentes, enquanto os órgãos reguladores devem estabelecer diretrizes claras sobre conexão de

eletropostos, padrões técnicos e modelos tarifários (ANEEL, 2023). Políticas públicas integradas que alinhem mobilidade, energia e desenvolvimento urbano são essenciais para garantir que a eletrificação do transporte contribua efetivamente para a sustentabilidade das cidades brasileiras, sem comprometer a confiabilidade e a qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, P. J. P. **Energia Solar e Eólica**. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **PRODIST – Módulo 8: Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica**. Brasília, Brasil, 2021. Anexo VIII da Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 26 nov. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Diretrizes para infraestrutura de recarga de veículos elétricos**. Brasília: ANEEL, 2023.
- ALVES, J. E. D. Transição dos carros de combustão interna para os veículos elétricos: uma mudança de época. **Site Eco Debate**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2017/07/26/transicao-dos-carros-de-combustao-interna-para-os-veiculos-eletricos-uma-mudanca-de-epoca-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 26 nov. 2025.
- ARIAS, M. N. B. **Integração de veículos elétricos no planejamento**. 2019. 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.
- ARIOLI, V. T. **Análise de impactos técnicos provocados pela penetração massiva de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica**. 2016. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. Rio de Janeiro: **BNDES**, 2010.
- BITENCOURT, L. A. **Otimização da carga e descarga de veículos elétricos considerando diferentes modelos tarifários**. 2018. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Engenharia Elétrica e Telecomunicações) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.
- BLOOMBERGNEF (BNEF). **Electric Vehicle Outlook 2023**. 2023. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

DAS, H. S. *et al.* Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109618, 2020.

DIAS, J. V. S. **Aumento da frota de veículos elétricos e híbridos e seus impactos na distribuição de energia elétrica.** 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Planos de Expansão da Distribuição.** Brasília: EPE, 2023.

FERREIRA, A. G. L. *et al.* **Impacto dos veículos elétricos nas infraestruturas elétricas e urbanas, otimização no carregamento e gerenciamento de tráfego: estudo de caso na cidade de Fortaleza.** 2023.

GARCIA, B. B. **Impactos técnicos causados pela inserção massiva de veículos elétricos: uma abordagem focada em redes de média tensão.** 2021.

MONTEIRO, A. *et al.* Integrating battery energy storage systems for sustainable ev charging infrastructure. **World Electric Vehicle Journal**, v. 16, n. 3, p. 147, 2025.

MORI, H. *et al.* Unbalanced voltage compensation with optimal voltage controlled regulators and load ratio control transformer. **Energies**, v. 14, n. 11, p. 2997, 2021.

MURATORI, M. Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand. **Nature Energy**, Golden, v. 3, n. 3, p. 193-201, 2018.

PINTO, Y. G. **Investigação de Soluções para os Impactos Técnicos Causados pela Conexão Massiva de Veículos Elétricos aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** 2017. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

PORSCHÉ, C. M. **Avaliação dos impactos da inserção de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica.** 2018.

WELLE, D. Frota mundial de carros eletrificados cresce 55% em um ano. **GI.** Disponível em: <https://gi.globo.com/carros/noticia/frota-mundial-de-carros-eletricos-cresce-55-em-um-ano.ghhtml>. Acesso em: 26 nov. 2025.

WILLER, L. O. *et al.* Impacto da Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão do Sistemas de Distribuição. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE**, v. 1, n. 1, 2020.