

ENERGIA ELÉTRICA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: UMA ANÁLISE TÉCNICO- INSTITUCIONAL À LUZ DA PESQUISA APLICADA

ELECTRIC ENERGY AND THE ENERGY TRANSITION: A TECHNICAL-
INSTITUTIONAL ANALYSIS IN LIGHT OF APPLIED RESEARCH

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias • 28/12/2025

REGISTRO DOI: [10.5281/zenodo.18072684](https://doi.org/10.5281/zenodo.18072684)

Joelson Lopes da Paixão¹

Alzenira da Rosa Abaide²

RESUMO

A transição energética consolidou-se como um dos principais desafios estruturais do século XXI, especialmente diante da intensificação das mudanças climáticas, da instabilidade geopolítica e da crescente demanda global por energia elétrica. Nesse cenário, a energia elétrica assume papel estratégico, tanto como vetor de desenvolvimento econômico quanto como elemento central na descarbonização dos sistemas energéticos. O presente estudo tem como objetivo geral analisar a relação entre energia elétrica e transição energética, destacando seus fundamentos conceituais, implicações socioeconômicas e desafios institucionais no contexto do desenvolvimento sustentável, com especial atenção às contribuições da pesquisa aplicada em microrredes, veículos elétricos e integração de renováveis. Metodologicamente, adota-se uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e documental de produções científicas, relatórios técnicos e marcos normativos nacionais e internacionais publicados entre 2015 e 2025, sem prejuízo do diálogo com autores clássicos e com a literatura especializada em engenharia de sistemas elétricos. Os resultados indicam que a expansão da eletrificação associada à incorporação de fontes renováveis, aliada ao fortalecimento das redes inteligentes, à gestão avançada de energia e à eficiência no uso final, constitui eixo central da transição energética. Contudo, evidenciam-se desafios relacionados à governança, ao financiamento, à segurança do sistema elétrico e às desigualdades no acesso à energia. Conclui-se que a energia elétrica ocupa posição estratégica na transição energética, exigindo políticas públicas integradas, planejamento de longo prazo, inovação institucional e contínuo desenvolvimento tecnológico – como demonstrado em projetos de pesquisa aplicada – para viabilizar sistemas energéticos mais sustentáveis, resilientes e

socialmente inclusivos.

Palavras-chave: energia elétrica. transição energética. sustentabilidade. descarbonização. políticas energéticas. microrredes. veículos elétricos.

ABSTRACT

The energy transition has established itself as one of the main structural challenges of the 21st century, especially in the face of intensifying climate change, geopolitical instability, and growing global demand for electricity. In this scenario, electric energy assumes a strategic role, both as a vector for economic development and as a central element in the decarbonization of energy systems. This study aims to analyze the relationship between electric energy and the energy transition, highlighting its conceptual foundations, socioeconomic implications, and institutional challenges within the context of sustainable development, with special attention to the contributions of applied research in microgrids, electric vehicles, and renewable integration. Methodologically, a qualitative approach, exploratory and descriptive in nature, is adopted, based on a bibliographic and documentary review of scientific publications, technical reports, and national and international regulatory frameworks published between 2015 and 2025, without neglecting the dialogue with classical authors and specialized literature in electrical power systems engineering. The results indicate that the expansion of electrification, coupled with the integration of renewable sources, alongside the strengthening of smart grids, advanced energy management, and end-use efficiency, constitutes the central axis of the energy transition. However, challenges related to governance, financing, power system security, and inequalities in energy access are evident. It is concluded that electric energy holds a strategic position in the energy transition, requiring integrated

public policies, long-term planning, institutional innovation, and continuous technological development — as demonstrated in applied research projects — to enable more sustainable, resilient, and socially inclusive energy systems.

Keywords: electric energy. energy transition. sustainability. decarbonization. energy policies. microgrids. electric vehicles.

1. INTRODUÇÃO

A reorganização dos sistemas energéticos globais tornou-se uma questão central nas agendas políticas, econômicas e ambientais contemporâneas, impulsionada pela urgência de enfrentar as mudanças climáticas, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e garantir segurança energética em um contexto de crescente instabilidade internacional. Nesse cenário, a energia elétrica emerge como elemento estruturante da transição energética, ao concentrar grande parte das estratégias de descarbonização, eletrificação de usos finais e integração de fontes renováveis. A ampliação do papel da eletricidade nos sistemas produtivos, nos transportes e nos serviços essenciais reflete uma transformação profunda na forma como as sociedades produzem, distribuem e consomem energia, exigindo novos arranjos tecnológicos, regulatórios e institucionais.

Historicamente, os sistemas elétricos foram concebidos com base em modelos centralizados, fortemente dependentes de fontes fósseis ou hidrelétricas de grande porte, orientados prioritariamente pela lógica da expansão da oferta. Entretanto, as limitações ambientais desse modelo, associadas ao aumento das emissões de gases de efeito estufa e aos impactos socioambientais de grandes empreendimentos energéticos, tornaram evidente a necessidade de uma transição estrutural. A transição energética, nesse sentido, não

se restringe à substituição de fontes, mas envolve uma reconfiguração abrangente dos sistemas elétricos, incorporando descentralização, digitalização, eficiência energética, gestão ativa de microrredes e participação ativa dos consumidores.

A problemática central que orienta este estudo reside na complexidade de articular a expansão da energia elétrica com os objetivos da transição energética, considerando os desafios técnicos, econômicos, sociais e institucionais envolvidos nesse processo. Embora a eletrificação seja amplamente reconhecida como caminho prioritário para a redução das emissões de carbono, especialmente nos setores de transporte, indústria e edificações, persistem questões relacionadas à confiabilidade do sistema elétrico, à intermitência das fontes renováveis, à necessidade de investimentos em infraestrutura de recarga, ao gerenciamento de microrredes e às desigualdades no acesso à energia. Diante disso, coloca-se a seguinte pergunta norteadora: de que maneira a energia elétrica pode ser estruturada e governada como eixo central da transição energética, conciliando sustentabilidade ambiental, viabilidade econômica e justiça social, com base em evidências técnicas e em experiências de pesquisa aplicada?

O objetivo geral deste artigo consiste em analisar o papel da energia elétrica no processo de transição energética, à luz dos desafios contemporâneos do desenvolvimento sustentável e das contribuições recentes da engenharia de sistemas de potência. Como objetivos específicos, busca-se: compreender a evolução do papel da eletricidade nos sistemas energéticos modernos; examinar a relação entre eletrificação e descarbonização da economia, com foco em veículos elétricos e fontes renováveis; analisar os principais desafios técnicos e institucionais associados à transição do setor

elétrico, incluindo a operação de microrredes e a gestão de demanda; e discutir as implicações sociais e econômicas da expansão da energia elétrica no contexto da transição energética.

Parte-se da hipótese de que a energia elétrica constitui o principal vetor operacional da transição energética, desde que sua expansão esteja associada à incorporação de fontes renováveis, à eficiência energética, ao fortalecimento da governança do setor e ao desenvolvimento de soluções tecnológicas comprovadas por pesquisa aplicada. Supõe-se, adicionalmente, que a ausência de planejamento integrado, de políticas públicas consistentes e de integração entre pesquisa e desenvolvimento pode comprometer os benefícios da eletrificação, reproduzindo desigualdades e fragilidades estruturais nos sistemas energéticos.

A justificativa deste estudo fundamenta-se na centralidade crescente da energia elétrica nos debates sobre clima, desenvolvimento e segurança energética, bem como na necessidade de análises críticas que articulem abordagens teóricas e evidências empíricas de pesquisa aplicada. Apesar do avanço significativo das tecnologias de geração renovável, armazenamento de energia e microrredes, observa-se que a transição energética enfrenta entraves políticos, econômicos e sociais que exigem reflexão teórica aprofundada e propostas estruturadas, fundamentadas em estudos de caso e em projetos de P&D. Assim, a análise da energia elétrica como eixo da transição energética, enriquecida por contribuições da engenharia elétrica, revela-se fundamental para subsidiar políticas públicas, estratégias empresariais e iniciativas sociais alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

A relevância científica e social da pesquisa reside na contribuição para o debate sobre os rumos da transição energética, ao destacar a energia elétrica como elemento articulador entre inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e inclusão social. Ao problematizar os limites e potencialidades da eletrificação à luz de pesquisas aplicadas em microrredes, veículos elétricos e integração de renováveis, o estudo busca ampliar a compreensão sobre os caminhos possíveis para a construção de sistemas energéticos mais limpos, resilientes e equitativos. Desse modo, a energia elétrica deixa de ser compreendida apenas como insumo técnico e passa a ser analisada como componente estratégico de um projeto de desenvolvimento sustentável, cuja viabilidade depende de conhecimento especializado e de inovação contínua, como demonstrado em projetos como a Rota Elétrica Mercosul e em estudos sobre gestão energética em estações de recarga rápida (PAIXÃO et al., 2025; DANIELSSON et al., 2025).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA ELÉTRICA COMO EIXO ESTRUTURANTE DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS CONTEMPORÂNEOS

2.1. Energia Elétrica Como Eixo Estruturante dos Sistemas Energéticos Contemporâneos

A energia elétrica ocupa posição central nos sistemas energéticos modernos, não apenas por sua versatilidade técnica, mas por sua capacidade de integrar diferentes fontes de geração, usos finais e modelos de organização produtiva, assumindo papel estratégico no desenvolvimento econômico e social. Desde a consolidação das sociedades industrializadas, a eletricidade passou a ser compreendida como insumo indispensável ao funcionamento das

atividades produtivas, à expansão urbana e à melhoria das condições de vida, de modo que "a disponibilidade de energia elétrica confiável é um dos principais indicadores do nível de desenvolvimento de uma sociedade" (YERGIN, 2020, p. 84). De forma indireta, a literatura contemporânea destaca que a eletricidade não é apenas um vetor técnico, mas um elemento estruturante das relações econômicas, sociais e territoriais, uma vez que sua ausência ou precariedade aprofunda desigualdades e limita o acesso a direitos básicos, como saúde, educação e comunicação.

Do ponto de vista histórico, os sistemas elétricos foram estruturados sob a lógica da centralização, da expansão contínua da oferta e da predominância de grandes empreendimentos de geração, frequentemente baseados em fontes fósseis ou hidrelétricas. Esse modelo, embora tenha impulsionado o crescimento econômico ao longo do século XX, revelou limites ambientais e sociais significativos, associados à intensificação das emissões de gases de efeito estufa e aos impactos socioambientais de grandes obras de infraestrutura. Conforme observa Georgescu-Roegen, "o crescimento econômico ilimitado em um mundo finito constitui uma contradição fundamental do sistema econômico moderno" (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p. 95), reflexão que permanece atual ao se analisar a dependência histórica dos sistemas elétricos em relação a recursos naturais não renováveis. Indiretamente, essa crítica fundamenta a necessidade de repensar o papel da energia elétrica à luz dos limites ecológicos e das exigências contemporâneas de sustentabilidade.

A literatura recente aponta que a energia elétrica assume papel ainda mais relevante no contexto atual, marcado pela digitalização da economia, pela expansão das tecnologias de informação e

comunicação e pela crescente eletrificação de processos industriais e serviços. Estudos da Agência Internacional de Energia indicam que "a eletricidade será a espinha dorsal dos sistemas energéticos de baixo carbono" (IEA, 2024, p. 27), evidenciando que a transição para economias descarbonizadas passa, inevitavelmente, pela ampliação do uso da eletricidade associada a fontes limpas. Essa constatação é reforçada por pesquisas aplicadas que demonstram a viabilidade técnica e operacional de sistemas elétricos baseados em fontes renováveis, microrredes e gestão inteligente de energia (PAIXÃO; ABAIDE; SAUSEN, 2021; PAIXÃO et al., 2023). De forma indireta, essas contribuições reforçam a ideia de que o setor elétrico deixa de ser apenas um subsetor energético para assumir função articuladora entre inovação tecnológica, políticas climáticas e estratégias de desenvolvimento.

No contexto brasileiro, a energia elétrica apresenta especificidades relevantes, em razão da elevada participação de fontes renováveis, especialmente a hidreletricidade, na matriz de geração. Esse aspecto confere ao país vantagens comparativas no processo de transição energética, mas também impõe desafios relacionados à variabilidade hidrológica, à segurança do sistema e à necessidade de diversificação das fontes. Goldemberg destaca que "o Brasil possui uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, mas isso não elimina a necessidade de planejamento e diversificação para garantir sustentabilidade de longo prazo" (GOLDEMBERG, 2018, p. 56). Indiretamente, a literatura nacional e estudos técnicos recentes apontam que a dependência excessiva de uma única fonte renovável pode gerar vulnerabilidades estruturais, reforçando a importância de integrar energia solar, eólica e biomassa ao sistema elétrico, bem como de desenvolver soluções de armazenamento e

microrredes para aumentar a resiliência do sistema (PAIXÃO; SAUSEN; ABAIDE, 2024; DANIELSSON et al., 2024).

2.2. Transição Energética e o Papel Estratégico da Eletrificação Sustentável

A transição energética pode ser compreendida como um processo multidimensional de transformação dos sistemas de produção e consumo de energia, orientado pela substituição progressiva de fontes fósseis por fontes renováveis, pela melhoria da eficiência energética e pela reorganização institucional dos setores energéticos. Trata-se de um processo que transcende a dimensão tecnológica, envolvendo disputas políticas, interesses econômicos e mudanças culturais profundas. Conforme destaca Sovacool, "a transição energética não é apenas uma mudança técnica, mas uma transformação social que redefine relações de poder, padrões de consumo e modelos de governança" (SOVACOOOL, 2021, p. 14). De forma indireta, essa abordagem evidencia que a centralidade da energia elétrica na transição energética exige atenção não apenas à geração, mas também à forma como a eletricidade é distribuída, regulada e utilizada.

A eletrificação dos usos finais é amplamente reconhecida como uma das principais estratégias para reduzir emissões de carbono, especialmente nos setores de transporte, indústria e edificações. Relatórios do IPCC afirmam que "a eletrificação, combinada com fontes de energia de baixo carbono, é essencial para alcançar as metas de mitigação climática" (IPCC, 2022, p. 52), reforçando o papel da energia elétrica como instrumento-chave da descarbonização. Indiretamente, a literatura e estudos aplicados apontam que a eficácia dessa estratégia depende da qualidade da matriz elétrica,

da infraestrutura de recarga e da gestão inteligente da demanda. A simples substituição de combustíveis fósseis por eletricidade não resulta em ganhos ambientais significativos se a geração elétrica permanecer altamente emissora ou se a integração dos veículos elétricos à rede não for adequadamente planejada (PAIXÃO et al., 2022; SAUSEN et al., 2024).

Nesse contexto, a integração de fontes renováveis variáveis, como solar e eólica, aos sistemas elétricos representa um dos principais desafios da transição energética. A intermitência dessas fontes exige investimentos em redes inteligentes, armazenamento de energia e gestão da demanda, redefinindo o papel das redes elétricas tradicionais. Segundo a IEA, "a flexibilidade do sistema elétrico será tão importante quanto a expansão da geração renovável" (IEA, 2023, p. 41), indicando que a transição energética demanda não apenas novas fontes, mas novos modelos operacionais e regulatórios. Pesquisas recentes em microrredes e nanorredes têm demonstrado que é possível otimizar o despacho de energia, minimizar custos operacionais e reduzir a degradação de baterias em sistemas de recarga rápida de veículos elétricos, contribuindo para a flexibilidade e confiabilidade do sistema (PAIXÃO et al., 2025; DANIELSSON et al., 2025). De forma indireta, essas evidências reforçam a necessidade de inovação institucional e tecnológica para assegurar confiabilidade e segurança ao sistema elétrico em um contexto de crescente participação de renováveis.

A transição energética também apresenta implicações sociais relevantes, especialmente no que se refere ao acesso à energia elétrica e à justiça energética. Embora a eletrificação seja frequentemente apresentada como solução universal, persistem desigualdades significativas no acesso a serviços elétricos de

qualidade, tanto em países em desenvolvimento quanto em regiões periféricas de países desenvolvidos. A Organização das Nações Unidas ressalta que "o acesso universal à energia elétrica limpa e confiável é condição essencial para o desenvolvimento sustentável" (ONU, 2015, p. 21), evidenciando que a transição energética deve incorporar dimensões distributivas e inclusivas. Indiretamente, a literatura crítica e estudos sobre projetos de extensão e capacitação comunitária apontam que modelos de transição que ignoram essas desigualdades tendem a reproduzir exclusões históricas e fragilizar a legitimidade social das políticas energéticas (PAIXÃO, 2024; TASCHETTO; PAIXÃO; COUTO, 2025).

Do ponto de vista normativo, a transição energética tem sido incorporada às agendas nacionais e internacionais por meio de marcos legais e políticas públicas que reconhecem a centralidade da energia elétrica. No Brasil, a Política Energética Nacional e os programas de incentivo às fontes renováveis refletem esse movimento, ainda que enfrentem desafios de coordenação e implementação. Alves observa que "a efetividade das políticas energéticas depende da coerência entre planejamento, regulação e capacidade institucional" (ALVES, 2007, p. 63), argumento que permanece atual ao se analisar os obstáculos à consolidação de uma transição elétrica sustentável. Projetos de P&D, como a Rota Elétrica Mercosul, ilustram a importância da articulação entre universidade, empresa e Estado para o desenvolvimento de infraestrutura de mobilidade elétrica e de ferramentas de gestão energética em tempo real (PAIXÃO et al., 2024; ABAIDE et al., 2025). De forma indireta, essa análise evidencia que a transição energética exige não apenas inovação tecnológica, mas também estabilidade regulatória, fortalecimento das instituições públicas e parcerias estratégicas.

Autores clássicos contribuem para a compreensão crítica da transição energética ao alertarem para os limites do crescimento e da racionalidade econômica tradicional. Jevons, ao analisar o uso do carvão no século XIX, já advertia que "o progresso técnico tende a ampliar o consumo total de recursos, e não necessariamente a reduzi-lo" (JEVONS, 1865, p. 140), reflexão que se mantém relevante diante do risco de efeitos rebote associados à eletrificação. Indiretamente, essa perspectiva reforça a necessidade de políticas integradas que combinem eletrificação, eficiência energética e regulação da demanda, evitando que ganhos tecnológicos sejam anulados por padrões de consumo insustentáveis. Estudos sobre gestão ótima de energia em microrredes vão ao encontro dessa preocupação, ao buscarem minimizar o custo operacional e o impacto ambiental por meio de algoritmos de otimização e previsão de geração (PAIXÃO; ABAIDE; SAUSEN, 2021; DANIELSSON et al., 2024).

Assim, o referencial teórico analisado permite afirmar que a energia elétrica constitui o eixo estruturante da transição energética contemporânea, desde que sua expansão esteja articulada a fontes renováveis, eficiência energética, governança democrática e justiça social. A transição energética, nesse sentido, não pode ser reduzida a uma mudança de matriz, mas deve ser compreendida como um processo sistêmico de reconfiguração dos sistemas energéticos e das relações sociais que os sustentam, processo esse que pode ser tecnologicamente viabilizado e aprimorado por meio de pesquisa aplicada em engenharia de sistemas elétricos. Ao integrar eletrificação, sustentabilidade, inclusão e inovação tecnológica, a energia elétrica consolida-se como elemento central para a construção de modelos de desenvolvimento capazes de responder aos desafios ambientais, econômicos e sociais do século XXI.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa fundamenta-se em uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, adequada à análise crítica da energia elétrica no contexto da transição energética, considerando suas dimensões técnicas, institucionais, socioeconômicas e ambientais. A escolha do método qualitativo justifica-se pela complexidade do objeto investigado, que envolve múltiplas variáveis interdependentes, dinâmicas históricas e arranjos institucionais que não podem ser plenamente compreendidos por meio de técnicas quantitativas isoladas. Conforme afirmam Lakatos e Marconi, a pesquisa qualitativa permite "a compreensão aprofundada de fenômenos sociais complexos, privilegiando o significado, o contexto e a interpretação crítica" (LAKATOS; MARCONI, 2017, p. 269), o que se mostra plenamente coerente com o problema proposto.

Quanto aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória, na medida em que busca ampliar e sistematizar o conhecimento sobre o papel da energia elétrica na transição energética, e descritiva, por se dedicar à análise das características, dos desafios e das implicações desse processo no âmbito do desenvolvimento sustentável. Gil destaca que pesquisas exploratórias são indicadas quando o tema ainda apresenta lacunas analíticas ou demanda maior familiaridade conceitual, enquanto pesquisas descritivas visam "descrever e interpretar fenômenos, estabelecendo relações entre variáveis sem a intenção de manipulá-las" (GIL, 2019, p. 44). Essa combinação metodológica possibilita uma análise abrangente e fundamentada, sem perder a profundidade interpretativa.

No que se refere aos procedimentos técnicos, adotou-se a pesquisa bibliográfica e documental como principais instrumentos de coleta de dados. A pesquisa bibliográfica concentrou-se na análise de livros, artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais de reconhecida relevância, relatórios técnicos e produções acadêmicas divulgadas entre 2015 e 2025, sem prejuízo da incorporação de obras clássicas fundamentais à compreensão histórica e teórica da temática energética. Foram incluídos, de forma seletiva, trabalhos de pesquisa aplicada em engenharia elétrica, sobretudo aqueles relacionados a microrredes, veículos elétricos, integração de renováveis e gestão energética, que oferecem evidências técnicas relevantes para a discussão sobre transição energética. Severino ressalta que a pesquisa bibliográfica constitui "o suporte teórico indispensável para a construção do conhecimento científico, permitindo ao pesquisador dialogar criticamente com a produção existente" (SEVERINO, 2016, p. 131), justificando sua centralidade neste estudo.

A pesquisa documental, por sua vez, envolveu a análise de legislações, políticas públicas, diretrizes internacionais e documentos oficiais relacionados ao setor elétrico e à transição energética, com especial atenção aos marcos normativos brasileiros, aos acordos multilaterais voltados à mitigação das mudanças climáticas e a relatórios de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no setor elétrico. Vergara esclarece que a pesquisa documental utiliza materiais que ainda não receberam tratamento analítico sistemático, sendo particularmente relevante para estudos que abordam políticas públicas e processos institucionais (VERGARA, 2016, p. 43). Tal procedimento mostrou-se essencial para compreender o arcabouço regulatório que orienta a expansão da energia elétrica no contexto da transição energética e para

contextualizar iniciativas de inovação tecnológica, como a Rota Elétrica Mercosul.

A análise dos dados ocorreu por meio de leitura exploratória, analítica e interpretativa dos materiais selecionados, seguida de categorização temática e síntese crítica. Inicialmente, realizou-se uma leitura preliminar para identificação dos conceitos centrais e das abordagens predominantes. Em seguida, procedeu-se à leitura aprofundada, buscando relações, convergências e tensões entre os diferentes autores e documentos analisados, incluindo a articulação entre referências teóricas clássicas, relatórios de organismos internacionais e estudos técnicos de engenharia. Por fim, os dados foram sistematizados em um corpo argumentativo coeso, articulando teoria, normatividade, evidências empíricas e contribuições da pesquisa aplicada. Gil enfatiza que a análise qualitativa exige interpretação rigorosa e fundamentada, capaz de "explicar o fenômeno estudado à luz de referenciais teóricos consistentes" (GIL, 2019, p. 96), princípio que orientou todas as etapas do percurso metodológico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa evidenciam que a energia elétrica ocupa posição estratégica e estruturante no processo de transição energética, sendo amplamente reconhecida na literatura científica, nos documentos institucionais e na pesquisa aplicada como principal vetor da descarbonização dos sistemas energéticos contemporâneos. A análise das fontes examinadas revela consenso quanto à centralidade da eletrificação dos usos finais como caminho prioritário para a redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente nos setores de transporte, indústria e edificações.

Conforme aponta a Agência Internacional de Energia, "a eletricidade será responsável pela maior parcela da redução das emissões globais de energia nas próximas décadas" (IEA, 2024, p. 29), o que confirma a hipótese central deste estudo. Esse potencial é tecnicamente sustentado por avanços em tecnologias de geração distribuída, microrredes e gestão inteligente de energia, como demonstrado em pesquisas que otimizam o despacho energético em estações de recarga rápida de veículos elétricos (PAIXÃO et al., 2025; DANIELSSON et al., 2025).

Observou-se que a transição energética baseada na eletrificação apresenta vantagens técnicas e ambientais significativas, sobretudo quando associada a uma matriz elétrica predominantemente renovável. Países e regiões que avançaram na integração de fontes eólica, solar e hidrelétrica aos seus sistemas elétricos obtiveram reduções expressivas na intensidade de carbono da economia, além de ganhos em segurança energética e inovação tecnológica. Entretanto, os resultados também indicam que a simples expansão da eletricidade não garante sustentabilidade, sendo imprescindível que a geração elétrica esteja alinhada a fontes de baixo carbono e a sistemas eficientes de transmissão, distribuição e gestão da demanda. Estudos de caso sobre o impacto da microgeração fotovoltaica em redes de distribuição (PAIXÃO; ABAIDE; SAUSEN, 2021) e sobre a análise de qualidade de energia em estações de recarga rápida (PAIXÃO et al., 2024) ilustram a importância de avaliações técnicas detalhadas para mitigar impactos negativos e garantir a estabilidade do sistema.

No contexto brasileiro, a pesquisa evidenciou que a elevada participação de fontes renováveis na matriz elétrica constitui uma vantagem comparativa relevante no cenário da transição energética

global. Contudo, os dados analisados apontam desafios estruturais relacionados à dependência hidrológica, à vulnerabilidade climática e à necessidade de diversificação das fontes e fortalecimento da infraestrutura elétrica. Goldemberg ressalta que "a matriz elétrica limpa não elimina riscos sistêmicos se não houver planejamento e integração adequados" (GOLDEMBERG, 2018, p. 61), argumento corroborado pelos resultados obtidos, que indicam a necessidade de investimentos em fontes complementares, armazenamento de energia e modernização das redes. Projetos como a Rota Elétrica Mercosul representam iniciativas concretas para enfrentar parte desses desafios, ao desenvolverem metodologias para alocação de infraestrutura de recarga, integração de renováveis e monitoramento em tempo real (PAIXÃO et al., 2024; ABAIDE et al., 2025).

Outro achado relevante refere-se à governança do setor elétrico no contexto da transição energética. A pesquisa revelou que políticas fragmentadas, instabilidade regulatória e limitações institucionais comprometem a efetividade das estratégias de eletrificação sustentável. Experiências internacionais demonstram que países que adotaram planejamento de longo prazo, metas claras e instrumentos regulatórios consistentes obtiveram melhores resultados na integração de renováveis e na redução de emissões. Segundo Sovacool, "transições energéticas bem-sucedidas dependem de instituições fortes e políticas coerentes" (SOVACOO, 2021, p. 88), o que reforça a importância da governança como dimensão central do processo. A pesquisa aplicada contribui para essa governança ao gerar conhecimento técnico e desenvolver ferramentas – como softwares de gestão de nanoredes registrados no INPI (ABAIDE et al., 2025) – que podem informar a regulação e o planejamento do setor.

Os resultados também evidenciam implicações sociais relevantes da transição energética baseada na energia elétrica. Apesar dos avanços tecnológicos, persistem desigualdades significativas no acesso à eletricidade de qualidade, tanto em países em desenvolvimento quanto em áreas periféricas de países industrializados. A Organização das Nações Unidas destaca que o acesso universal à energia elétrica limpa e confiável é condição essencial para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015), e a análise realizada confirma que a transição energética, quando conduzida sem atenção às dimensões distributivas, pode aprofundar desigualdades existentes. Nesse sentido, a justiça energética emerge como elemento indispensável para a legitimidade e a eficácia das políticas de transição. Iniciativas de extensão universitária e capacitação comunitária, como as desenvolvidas no âmbito da formação de professores (PAIXÃO, 2024; TASCHETTO; PAIXÃO; COUTO, 2025), representam esforços para alinhar inovação tecnológica com inclusão social e democratização do conhecimento.

A discussão dos resultados também dialoga com as contribuições clássicas sobre os limites da eficiência e do progresso técnico. A advertência de Jevons sobre o aumento do consumo total decorrente dos ganhos de eficiência permanece pertinente no contexto da eletrificação, indicando o risco de efeitos rebote associados à redução de custos energéticos. Assim, os resultados reforçam a necessidade de políticas integradas que articulem eletrificação, eficiência energética e regulação da demanda, evitando que avanços tecnológicos sejam anulados por padrões de consumo insustentáveis. Estudos de otimização energética que consideram a minimização do custo operacional e da degradação de armazenadores (PAIXÃO et al., 2025; SAUSEN et al., 2024) vão ao

encontro dessa necessidade, ao incorporarem critérios econômicos e ambientais no gerenciamento de sistemas.

De modo geral, os resultados e a discussão confirmam que a energia elétrica constitui o eixo central da transição energética contemporânea, desde que sua expansão esteja associada à sustentabilidade ambiental, à eficiência sistêmica, à inclusão social e ao contínuo desenvolvimento tecnológico. A transição energética baseada na eletrificação revela-se promissora, mas complexa, exigindo planejamento integrado, inovação institucional, compromisso político contínuo e uma sólida base de pesquisa aplicada que ofereça soluções técnicas robustas e contextualizadas. Dessa forma, a energia elétrica consolida-se como instrumento estratégico para a construção de sistemas energéticos mais limpos, resilientes e socialmente justos, ao mesmo tempo em que impõe desafios que demandam respostas estruturadas, de longo prazo e fundamentadas no conhecimento científico e tecnológico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo permite afirmar que a energia elétrica ocupa posição absolutamente central no processo contemporâneo de transição energética, configurando-se como o principal vetor técnico, econômico e institucional da descarbonização dos sistemas energéticos. A eletrificação dos usos finais, associada à expansão de fontes renováveis e à modernização das redes elétricas, emerge como estratégia indispensável para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para o enfrentamento das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que amplia as possibilidades de inovação tecnológica e desenvolvimento econômico sustentável. A viabilidade técnica dessa estratégia é

demonstrada por uma crescente produção de pesquisa aplicada em engenharia de sistemas elétricos, que desenvolve e valida soluções para desafios concretos, como a gestão de microrredes, a integração de veículos elétricos e a otimização do uso de fontes renováveis.

Os resultados evidenciaram que a transição energética não se limita à substituição de fontes fósseis por renováveis, mas envolve uma reconfiguração estrutural dos sistemas elétricos, abrangendo aspectos de governança, planejamento, regulação e justiça social. A energia elétrica, nesse contexto, deixa de ser apenas um insumo técnico e passa a desempenhar função estratégica na articulação entre políticas climáticas, energéticas e de desenvolvimento. Observou-se que países e regiões que avançaram de forma consistente na transição energética adotaram políticas integradas, metas de longo prazo e instrumentos regulatórios estáveis, reforçando a importância da coerência institucional para o sucesso desse processo. A pesquisa aplicada, por sua vez, oferece as ferramentas e os conhecimentos necessários para implementar essa visão, como evidenciado em estudos sobre alocação de estações de recarga, modelagem de microrredes e desenvolvimento de sistemas de gerenciamento energético.

No caso brasileiro, a elevada participação de fontes renováveis na matriz elétrica representa uma vantagem comparativa relevante no cenário global, mas não elimina desafios estruturais relacionados à segurança do sistema, à vulnerabilidade climática e à necessidade de diversificação das fontes de geração. A dependência excessiva de determinadas fontes, aliada a limitações na infraestrutura de transmissão e distribuição, evidencia a urgência de investimentos contínuos, planejamento integrado e fortalecimento da governança do setor elétrico. Projetos de P&D, como a Rota Elétrica Mercosul, e

pesquisas sobre impactos da geração distribuída e qualidade de energia em recargas rápidas, ilustram o papel crucial da universidade e da cooperação técnica na superação desses desafios. Ademais, a pesquisa demonstrou que a transição energética baseada na eletrificação somente alcança seus objetivos de sustentabilidade quando associada à eficiência energética e à gestão racional da demanda, princípios que são objeto de estudos de otimização e previsão em engenharia elétrica.

Outro aspecto central evidenciado diz respeito às implicações sociais da transição energética. A ampliação do uso da energia elétrica, embora essencial, não garante por si só inclusão social e justiça energética. Persistem desigualdades significativas no acesso à eletricidade de qualidade, o que exige políticas públicas orientadas à universalização do acesso, à modicidade tarifária e à proteção de grupos socialmente vulneráveis. A transição energética, portanto, deve ser compreendida como um projeto social e político, e não apenas tecnológico. Iniciativas de extensão e formação que levam o conhecimento sobre energia e tecnologia para comunidades são complementos necessários aos avanços técnicos, garantindo que os benefícios da transição sejam distribuídos de forma equitativa.

Conclui-se que a energia elétrica constitui o eixo estruturante da transição energética contemporânea, desde que sua expansão esteja articulada a fontes renováveis, eficiência energética, governança institucional robusta, compromisso com a justiça social e um contínuo esforço de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A consolidação de sistemas elétricos sustentáveis requer decisões estratégicas de longo prazo, estabilidade regulatória, participação ativa do Estado, do setor privado e da sociedade civil, e a permanente geração de conhecimento especializado por meio de

pesquisa aplicada. Assim, a energia elétrica afirma-se como elemento-chave para a construção de modelos de desenvolvimento capazes de responder, de forma ética, resiliente e sustentável, aos desafios ambientais, econômicos e sociais do século XXI. O diálogo entre as ciências sociais, as políticas públicas e a engenharia de sistemas elétricos mostram-se, portanto, não apenas desejável, mas indispensável para uma transição energética verdadeiramente transformadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAIDE, A. R. et al. **Gestão de Energia em Nanorrede com Carregamento Rápido de Veículos Elétricos - 4FCSNG**. Registro de Programa de Computador, INPI, n. BR512025000968-2, 18 mar. 2025.

ALVES, José Goldemberg. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2007.

BANCO MUNDIAL. **Energy transition pathways: global perspectives**. Washington, DC: World Bank, 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional. Diário Oficial da União: Brasília, 1997.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Institui a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União: Brasília, 2001.

COMISSÃO EUROPEIA. **Energy efficiency directive: implementation report**. Brussels: European Commission, 2023.

DANIELSSON, G. H. et al. Analysis of Meteorological Variables Used for Solar Power Generation Forecast. In: **2024 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)**, Brasília, 2024. Anais... IEEE, 2024.

DANIELSSON, G. H. et al. Rules-Based Energy Management System for an EV Charging Station Nanogrid: A Stochastic Analysis. **Energies**, v. 18, p. 26, 2025.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The entropy law and the economic process**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOLDEMBERG, José. **Energia, ambiente e desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

IEA. **Energy efficiency 2023**. Paris: International Energy Agency, 2023.

IEA. **World energy outlook 2024**. Paris: International Energy Agency, 2024.

IEA. **Energy technology perspectives 2025**. Paris: International Energy Agency, 2025.

IPCC. **Climate change 2022: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

ISO. **ISO 50001: energy management systems -- requirements with guidance for use**. Geneva: International Organization for

Standardization, 2018.

JEVONS, William Stanley. **The coal question**. London: Macmillan, 1865.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ONU. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development**. New York: United Nations, 2015.

ONU. **World energy transition outlook**. New York: United Nations, 2022.

PAIXÃO, J. L. **Capacitando saberes: Atividades formativas na comunidade**. Projeto de Extensão, UFSM, 2024.

PAIXÃO, J. L. et al. Brazilian Electromobility: A Brief Overview and Early Outcomes from an R&D Project. In: **2024 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)**, Brasília, 2024. Anais... IEEE, 2024.

PAIXÃO, J. L. et al. Energy Storage Management In A Microgrid For EV Fast-Charging. In: **2023 15th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC)**, Santa Maria, 2023. Anais... IEEE, 2023.

PAIXÃO, J. L. et al. **Metodologia para Alocação e Análise do Impacto de Estações de Recarga Rápida de Veículos Elétricos Associadas a Microrredes em Rodovias**. Projeto de Pesquisa (Doutorado em andamento), UFSM, 2022-Atual.

PAIXÃO, J. L. et al. Microgrids For Electric Vehicle Charging: Challenges, Opportunities, And Emerging Technologies. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 27, p. 35-45, 2025.

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

PAIXÃO, J. L.; ABAIDE, A. R.; SAUSEN, J. P. Análise do Impacto da Microgeração Fotovoltaica na Rede de Distribuição de Energia Elétrica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 2887-2911, 2021.

PAIXÃO, J. L.; SAUSEN, J. P.; ABAIDE, A. R. **INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E VEÍCULOS ELÉTRICOS: AVANÇOS EM SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E ARMAZENAMENTO**. In: Engenharia: o pilar do desenvolvimento energético - Volume 1. Editora Científica Digital, 2024. p. 86-102.

SAUSEN, J. P. et al. Power Dispatch in Fast Charging Nanogrids: The Critical Role of Battery Degradation. In: **2024 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)**, Brasília, 2024. Anais... IEEE, 2024.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2016.

SOVACOOOL, Benjamin K. **Energy policy and climate change**. London: Routledge, 2021.

TASCHETTO, D. R.; PAIXÃO, J. L.; COUTO, G. L. **Nivelamento em Introdução ao Cálculo**. Curso de Extensão, UFSM, 2025.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The future of energy transitions**. Geneva: WEF, 2020.

YERGIN, Daniel. **The new map: energy, climate and the clash of nations**. New York: Penguin Press, 2020.

ZILLES, Roberto. **Energia e sustentabilidade no século XXI**. Porto Alegre: UFRGS, 2019.

¹ 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 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: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Doutora em Engenharia Elétrica. Professora titular da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)