

REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES – SMART GRIDS

SMART GRIDS

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.019-003>**Joelson Lopes da Paixão**

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Alzenira da Rosa Abaide

Doutora em Engenharia Elétrica, professora titular na UFSM

E-mail: alzenira@ufsm.br

RESUMO

O presente artigo examina os conceitos fundamentais das redes elétricas inteligentes (REI), ou *smart grids* (SG), conceituadas não meramente como uma tecnologia isolada, mas como um paradigma integrador que incorpora automação avançada, computação e comunicações para o monitoramento e controle otimizado do sistema elétrico de potência (SEP). Essa abordagem facilita a gestão eficiente de custos, confiabilidade, segurança e eficiência energética, permitindo uma resposta dinâmica às flutuações de demanda e oferta. Com base em uma revisão sistemática da literatura, discute-se o panorama tecnológico, os investimentos requeridos e os benefícios associados, além das estratégias de planejamento para a implantação no contexto brasileiro, considerando desafios como a integração de energias renováveis e a resiliência climática. A análise revela que as REI promovem a integração de fontes renováveis descentralizadas, a redução de perdas e a melhoria da resiliência do sistema, alinhando-se a objetivos globais de sustentabilidade e à transição para operadores de sistemas de distribuição (DSO) no Brasil.

Palavras-chave: Planejamento de sistemas elétricos; Redes elétricas inteligentes; Smart grids.**ABSTRACT**

This article examines the fundamental concepts of smart grids (SG), conceptualized not merely as an isolated technology, but as an integrative paradigm that incorporates advanced automation, computing, and communications for the optimized monitoring and control of the power system. This approach facilitates the efficient management of costs, reliability, security, and energy efficiency, enabling a dynamic response to fluctuations in demand and supply. Based on a systematic literature review, the technological landscape, required investments, associated benefits, and planning strategies for implementation in the Brazilian context are discussed, considering challenges such as the integration of renewable energies and climate resilience. The analysis reveals that SGs promote the integration of decentralized renewable sources, the reduction of losses, and the improvement of system resilience, aligning with global sustainability goals and the transition to distribution system operators (DSOs) in Brazil.

Keywords: Power system planning; Smart grids; Intelligent electrical networks.



1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica constitui um pilar essencial para o desenvolvimento socioeconômico da sociedade contemporânea, atuando como vetor de estabilidade e progresso. Qualquer perturbação no SEP pode gerar impactos significativos, tanto para as concessionárias quanto para os consumidores, com prejuízos proporcionais à severidade do evento, incluindo perdas econômicas e interrupções em serviços críticos (Falcão, 2010; Paixão; Abaide, 2025). As redes elétricas convencionais, originadas há mais de um século, mantêm uma arquitetura eletromecânica que evoluiu pouco desde sua concepção inicial, limitando a capacidade de resposta a demandas modernas como a variabilidade de fontes renováveis e o aumento da eletrificação veicular. Metaforicamente, enquanto Graham Bell poderia se surpreender com as redes de telecomunicações modernas, Thomas Edison reconheceria facilmente os princípios atuais de geração, transmissão e distribuição de energia (Rivera; Esposito; Teixeira, 2013).

Diante desse cenário, as concessionárias brasileiras enfrentam a imperativa necessidade de modernizar o SEP, especialmente em face de eventos climáticos extremos que expõem vulnerabilidades na infraestrutura. O conceito de *smart grids* emerge como uma alternativa robusta para elevar a qualidade e a eficiência do setor elétrico, promovendo uma interação bidirecional entre fornecedores e consumidores, o que facilita a gestão em tempo real e a otimização de recursos (Toledo, 2012; Lamin, 2013).

Essa tecnologia acomoda fontes renováveis descentralizadas e intermitentes, como eólica e solar, além de novos perfis de demanda, como veículos elétricos, contribuindo para a eficiência energética, o dimensionamento otimizado da rede e a redução de emissões de carbono (VIALI et al., 2025; Oliveira; Martins, 2020). Estudos recentes reforçam que as REI não apenas mitigam impactos ambientais, mas também fomentam mercados competitivos, a geração distribuída (GD) e a transição para modelos de DSO, melhorando a resiliência contra falhas (Oliveira et al., 2025; DE ATAIDE et al., 2021).

Este trabalho objetiva elucidar o tema das REI sob múltiplas perspectivas, estruturando-se da seguinte forma: a Seção 2 delinea as tecnologias viabilizadoras, investimentos e benefícios, com ênfase em aplicações práticas; a Seção 3 aborda o planejamento sistêmico para a implantação, detalhando subcomponentes como automação e regulação; e a Seção 4 apresenta as considerações finais, com implicações para o Brasil em um contexto de megatendências energéticas.

2 REDES INTELIGENTES: TECNOLOGIAS VIABILIZADORAS, INVESTIMENTOS E BENEFÍCIOS

As REI representam um conceito holístico, fundamentado na integração sinérgica de automação, computação e comunicações para o monitoramento e controle em tempo real do SEP, permitindo estratégias de otimização avançadas que vão além da mera transmissão de energia, incorporando inteligência preditiva (Falcão, 2010). Essa integração impacta positivamente a qualidade do produto (energia fornecida), do



serviço (continuidade e confiabilidade) e comercial (relacionamento com consumidores), promovendo uma rede mais adaptável a variações sazonais e eventos imprevisíveis (Lamin, 2013; Oliveira; Martins, 2020).

Entre os benefícios destacados na literatura, incluem-se: (i) a adoção de medidores inteligentes com comunicação integrada, que incorporam o comportamento do consumidor ao planejamento operacional, reduzindo perdas não técnicas (PNT) por meio de detecção de fraudes em tempo real; (ii) a capacidade de integrar fontes diversificadas de energia, incluindo GD e armazenamento, facilitando a gestão de picos de demanda; (iii) melhoria na continuidade e eficiência energética, elevando indicadores de qualidade como DEC e FEC; (iv) redução de impactos ambientais via minimização de perdas e uso de fontes limpas, alinhada a metas de descarbonização; (v) fomento a mercados competitivos, incentivando microgeração e varejo de energia; e (vi) restauração automática (*self-healing*), com detecção e correção autônoma de falhas, reduzindo o tempo de inatividade (Falcão, 2010; Toledo, 2012; VIALI et al., 2025).

Adicionalmente, análises quantitativas apontam para: redução no consumo energético e na demanda de pico, postergando investimentos em infraestrutura por até 10-15 anos em cenários otimizados; diminuição da energia não distribuída (END) e de compensações por interrupções, com ganhos financeiros diretos; mitigação de perdas técnicas e não técnicas, podendo atingir reduções de até 20% em redes urbanas; corte de custos operacionais (leitura, corte/religamento); redução de emissões de CO₂ em proporções equivalentes às perdas evitadas; e diminuição da inadimplência e do uso de faturas impressas, promovendo digitalização (Lamin, 2013; Leite, 2013; Maia, 2013; Oliveira et al., 2025).

As tecnologias viabilizadoras englobam: (i) sensores e atuadores, como medidores inteligentes, unidades de medição fasorial sincronizada (PMUs) e dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs), que fornecem dados granulares para análise; (ii) recursos energéticos, incluindo micro/minigeração, GD e armazenamento (baterias, supercapacitores), essenciais para balancear intermitências; (iii) controle e otimização, via automação da distribuição, redução de perdas, avaliação de segurança e controle de tensão coordenado, utilizando algoritmos avançados; e (iv) aplicações consumidoras, como eletrodomésticos inteligentes e sistemas de gerenciamento doméstico de energia, que empoderam os usuários (Falcão, 2010; ANEEL, 2012a; VIALI et al., 2025). Estudos recentes enfatizam a integração de inteligência artificial (IA) e *machine learning* para predição de falhas e otimização dinâmica, com aplicações em grids híbridos (Oliveira; Martins, 2020; Rodrigues; Silva, 2021).

Os investimentos principais envolvem: aquisição e instalação de medidores inteligentes; infraestrutura de telecomunicações (ex.: PLC – *Power Line Communication*); automação; tecnologia da informação (TI); logística; e custos administrativos. Análises de custo-benefício indicam retornos positivos a médio prazo, especialmente em cenários com alta penetração de renováveis, com *payback* em 5-7 anos para projetos pilotos (Lamin, 2013; Maia, 2013; Leite, 2013; World Economic Forum, 2020).

3 IMPLANTAÇÃO DAS REDES INTELIGENTES: PLANEJAMENTO DO SISTEMA

O planejamento tradicional do SEP, segmentado entre geração/transmissão e distribuição, requer uma abordagem integrada com as REI, devido ao fluxo bidirecional de energia e informações, que transforma os consumidores em *prosumers* ativos (Falcão, 2010). Essa transição paradigmática afeta a expansão, operação e controle em tempo real, demandando comunicação entre o sistema e os usuários finais, com foco em escalabilidade e segurança cibernética (Toledo, 2012; Oliveira et al., 2025).

No Brasil, a migração para REI baseia-se em um plano nacional que abrange: (a) definição de funcionalidades e requisitos locais, adaptados ao clima tropical; (b) padronização de tecnologias para interoperabilidade; (c) políticas de P&D, industrial e financiamento, incluindo incentivos fiscais; (d) adequação regulatória para mercados livres; (e) resolução de deficiências estruturais, como redes envelhecidas; (f) elaboração de um programa nacional com metas plurianuais; (g) capacitação de mão de obra especializada; e (h) envolvimento multissetorial, incluindo governo e setor privado (Lamin, 2013; ANEEL, 2012b; Envol Global, 2024).

3.1 MEDIÇÃO INTELIGENTE

A medição inteligente constitui um dos pilares fundamentais das REIs, envolvendo não apenas a instalação de medidores eletrônicos avançados, mas também um ecossistema de equipamentos, procedimentos internos e interações com os consumidores finais. Essa abordagem integra aspectos de infraestrutura de comunicação, gestão de dados, regulação e interoperabilidade de sistemas, ampliando o escopo tradicional de medição para incluir funcionalidades analíticas e de automação (ANEEL, 2012a; Leite, 2013; Maia, 2013).

Além de permitir uma leitura remota e em tempo real do consumo energético, a medição inteligente viabiliza a aplicação de tarifas dinâmicas, ajustadas conforme o comportamento da demanda e o custo marginal da geração. Tal mecanismo incentiva o consumo consciente e a eficiência energética, promovendo uma maior elasticidade da demanda e contribuindo para a estabilidade do sistema elétrico. Ademais, o uso de medidores inteligentes reduz perdas comerciais e técnicas, possibilitando a detecção automática de fraudes e falhas na rede, com aumento da confiabilidade operacional e melhoria no planejamento da manutenção preventiva.

Estudos indicam que a implantação em larga escala dessa tecnologia pode resultar em ganhos de eficiência de até 15% em redes de distribuição, especialmente em sistemas que incorporam GD e recursos energéticos distribuídos (VIALI et al., 2025; World Economic Forum, 2020). Essa integração é crucial para o avanço de modelos energéticos descentralizados e sustentáveis, permitindo o balanceamento bidirecional de energia e informações entre consumidores, prosumidores e concessionárias.

Do ponto de vista ambiental e social, a medição inteligente também exerce papel relevante, ao favorecer o uso racional da energia e contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como para o empoderamento do consumidor, que passa a ter acesso a informações detalhadas sobre seu perfil de consumo. Assim, a medição inteligente configura-se como elemento estratégico na transição energética, alinhada às diretrizes de modernização do setor elétrico e à busca por sustentabilidade e eficiência sistêmica (ANEEL, 2012a; World Economic Forum, 2020).

3.2 AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E DA TRANSMISSÃO

A automação da distribuição e da transmissão representa um eixo central no desenvolvimento das REI, buscando a consolidação de redes autorrecuperáveis, capazes de detectar, isolar e corrigir falhas de forma autônoma, com mínima intervenção humana. Essa capacidade de resposta inteligente está diretamente associada à aplicação de algoritmos de controle avançado, sensores de monitoramento em tempo real e sistemas SCADA integrados, que possibilitam a supervisão contínua e a operação otimizada das infraestruturas elétricas (Falcão, 2010; Toledo, 2012).

A adoção dessas tecnologias se alinha a *roadmaps* nacionais e internacionais que delineiam estágios evolutivos da modernização do setor elétrico, enfatizando a digitalização e a descentralização operacional. Nesse contexto, a automação engloba o aperfeiçoamento dos sistemas informacionais corporativos, a integração de redes de comunicação flexíveis e seguras, e a garantia de interoperabilidade semântica e sintática entre equipamentos de diferentes fabricantes e protocolos, assegurando consistência na troca de dados e robustez no controle (DE ATAIDE et al., 2021; Oliveira et al., 2025).

Esses avanços contribuem diretamente para a redução dos tempos de resposta a falhas e para o aumento da resiliência do sistema elétrico, permitindo a restauração automática de trechos afetados e o redirecionamento dinâmico dos fluxos de potência. Além disso, a automação amplia a capacidade preditiva e a confiabilidade operacional, ao integrar recursos como inteligência artificial, análise de *big data* e sensores IoT, que fornecem diagnósticos precisos sobre o estado da rede.

Dessa forma, a automação da distribuição e da transmissão não apenas eleva os níveis de eficiência e continuidade do fornecimento, mas também constitui um instrumento estratégico de modernização da infraestrutura energética nacional, em consonância com as diretrizes de sustentabilidade e inovação tecnológica estabelecidas para o setor (Falcão, 2010; DE ATAIDE et al., 2021; Oliveira et al., 2025).

3.3 TELECOM, TI E INTEROPERABILIDADE

O avanço das REI depende fortemente da integração eficiente entre infraestruturas de telecomunicações (telecom) e tecnologias da informação (TI), que sustentam a troca massiva e confiável de dados entre dispositivos, centros de operação e agentes do setor elétrico. Esse domínio compreende o

estudo e a aplicação de topologias de comunicação e arquiteturas de TI voltadas à medição, automação e armazenamento de dados, com ênfase na adoção de padrões abertos e interoperáveis, capazes de garantir a comunicação entre sistemas heterogêneos e a evolução tecnológica contínua (Lamin, 2013; Oliveira; Martins, 2020).

As soluções contemporâneas em telecom e TI para o setor elétrico incorporam redes híbridas e redundantes, baseadas em tecnologias como fibra óptica, LTE, 5G, Wi-Fi *mesh* e protocolos industriais (como IEC 61850 e DNP3), que asseguram baixa latência, alta disponibilidade e escalabilidade das comunicações. Paralelamente, os sistemas de TI exigem bancos de dados distribuídos e escaláveis, aptos a processar grandes volumes de informações oriundas de medidores inteligentes, sensores e unidades remotas, promovendo a análise em tempo real e o suporte a decisões automatizadas.

A segurança cibernética emerge como um eixo crítico nesse contexto, uma vez que o aumento da conectividade expande a superfície de exposição a ameaças e vulnerabilidades digitais. Estratégias de defesa incluem o uso de criptografia avançada, autenticação multifatorial, segmentação de redes, detecção de anomalias por IA e políticas de governança digital alinhadas a frameworks internacionais, como o NIST *Cybersecurity Framework* (Oliveira; Martins, 2020).

Os requisitos para fabricantes e integradores de sistemas enfatizam a padronização dos dados mínimos de interoperabilidade, garantindo a compatibilidade entre equipamentos e plataformas de diferentes origens e permitindo atualizações modulares sem interrupção do serviço. Essa abordagem favorece a evolução tecnológica contínua, reduz custos de integração e aumenta a resiliência operacional do sistema elétrico frente às transformações digitais.

Assim, a convergência entre telecom, TI e interoperabilidade são essenciais para a consolidação das REI, promovendo a integração segura, flexível e eficiente de recursos energéticos distribuídos e tecnologias emergentes, em consonância com as metas globais de modernização e sustentabilidade do setor elétrico (Lamin, 2013; Oliveira; Martins, 2020).

3.4 POWER LINE COMMUNICATION (PLC)

A *Power Line Communication* (PLC) utiliza a própria rede elétrica para transmissão de dados, operando na faixa de 1 a 30 MHz e coexistindo com os sinais de energia de 50 a 60 Hz. Essa tecnologia aproveita a infraestrutura existente para viabilizar comunicação bidirecional entre dispositivos e centros de controle, oferecendo uma solução economicamente eficiente e de ampla cobertura (Toledo, 2012; VIALI et al., 2025).

Com velocidades de até 500 Mbps, o PLC permite monitoramento instantâneo, detecção de falhas e controle remoto de equipamentos, sendo especialmente útil em áreas rurais, onde complementa tecnologias como 5G e redes sem fio. Sua integração com sistemas de automação e medição inteligente



fortalece a gestão operacional das REI, reduzindo tempos de resposta e aprimorando a confiabilidade do sistema.

Avanços em normas internacionais, como IEEE 1901 e ITU-T G.hn, têm elevado a estabilidade e a segurança da comunicação, mitigando ruídos e interferências. Assim, o PLC consolida-se como componente essencial na modernização das redes elétricas inteligentes, promovendo conectividade robusta e suporte à expansão de grids em desenvolvimento (Toledo, 2012; VIALI et al., 2025).

3.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, ARMAZENAMENTO E VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os cenários prospectivos de 10, 20 e 30 anos projetam uma transformação estrutural no setor elétrico, marcada pela expansão da GD, do armazenamento de energia e da mobilidade elétrica. Esses elementos configuram um novo paradigma energético descentralizado, no qual consumidores passam a atuar também como produtores e gestores ativos de energia, promovendo maior eficiência e sustentabilidade (ANEEL, 2012b; Lamin, 2013).

A incorporação de sistemas de armazenamento por baterias e de veículos elétricos e híbridos plug-in contribui para o balanceamento dinâmico entre oferta e demanda, aumentando a flexibilidade do sistema e permitindo o deslocamento de carga em horários críticos (Paixão et al., 2022). Tais tecnologias reduzem a dependência de geração centralizada, otimizam o uso de fontes renováveis intermitentes e auxiliam na estabilização da rede por meio de respostas rápidas a variações de frequência e tensão (DE ATAIDE et al., 2021; Envol Global, 2024).

Os estudos setoriais indicam que o avanço dessas soluções demanda investimentos contínuos em P&D, marcos regulatórios atualizados e padronização tecnológica, de forma a garantir interoperabilidade, segurança e eficiência. Além disso, incentiva-se a cogeração qualificada e o uso de microrredes com armazenamento local, que fortalecem a resiliência energética e reduzem perdas (Paixão; Abaide; Silva, 2023; Paixão et al., 2023).

Sob o ponto de vista macroeconômico e social, a ampliação da GD e da eletromobilidade estimula cadeias produtivas emergentes, gera novos empregos qualificados e contribui para a redução das emissões de carbono, alinhando-se aos compromissos de descarbonização e às metas de transição energética nacional (ANEEL, 2012b; Envol Global, 2024).

3.6 POLÍTICAS PÚBLICAS E REGULAÇÃO

O desenvolvimento das REI requer um arcabouço sólido de políticas públicas e instrumentos regulatórios que orientem a inovação tecnológica, a eficiência energética e a expansão sustentável do setor elétrico. Propõe-se, nesse sentido, a criação de um programa governamental estruturado em macro-objetivos, com mecanismos claros de governança, financiamento e monitoramento de resultados,

articulando ações entre órgãos reguladores, empresas do setor e instituições de pesquisa (Lamin, 2013; Maia, 2013).

O modelo sugerido contempla fontes de financiamento híbridas, combinando fundos públicos e privados, de modo a viabilizar projetos de P&D, infraestrutura digital, automação e integração da GD. Esse arranjo estimula o investimento em tecnologias emergentes, como armazenamento, mobilidade elétrica e sistemas inteligentes de controle, assegurando retornos econômicos e benefícios ambientais de longo prazo.

As políticas também devem estar alinhadas às metas plurianuais do setor elétrico, com ênfase na modernização regulatória e na superação de barreiras institucionais que limitam a adoção de novos modelos de negócio e a integração de pequenos geradores distribuídos. Além disso, torna-se essencial atualizar os marcos normativos para tratar de interoperabilidade, segurança cibernética e tarifação dinâmica, garantindo equilíbrio entre inovação e estabilidade sistêmica (CIGRE, 2021).

Desse modo, a consolidação de políticas públicas integradas e de uma regulação adaptativa é condição fundamental para impulsionar a eficiência energética, a competitividade do setor elétrico e a transição para uma economia de baixo carbono, em consonância com as tendências globais de descarbonização e digitalização (Lamin, 2013; Maia, 2013; CIGRE, 2021).

3.7 PERSPECTIVA DO CONSUMIDOR

A transição para as REI redefine profundamente o relacionamento entre consumidores e redes elétricas, transformando o usuário final em um agente ativo do sistema energético. Essa mudança é impulsionada por novos serviços digitais, como o gerenciamento remoto do consumo, o monitoramento em tempo real e a otimização automática de cargas, que ampliam a autonomia e a participação do consumidor nas decisões energéticas (Toledo, 2012; Leite, 2013).

Nesse contexto, observa-se a emergência do *prosumidor* — indivíduo ou entidade que consome e simultaneamente produz energia —, favorecida pela expansão da microgeração distribuída e dos sistemas de armazenamento doméstico. Para sustentar esse modelo, propõem-se mecanismos regulatórios que incentivem a venda de excedentes de energia à rede, garantindo remuneração justa e transparente, além de promover o equilíbrio econômico entre concessionárias e pequenos geradores (VIALI et al., 2025).

A aceitação social e a receptividade às novas tecnologias dependem, entretanto, da implementação de programas de conscientização e educação energética, voltados à formação de hábitos sustentáveis e ao uso eficiente dos recursos. Tais iniciativas devem considerar a diversidade socioeconômica dos consumidores e integrar políticas de inclusão digital e tarifária.

Por fim, as expectativas dos *stakeholders* — consumidores, concessionárias, órgãos reguladores e fabricantes — convergem para a necessidade de transparência, confiabilidade e flexibilidade nos serviços elétricos. A perspectiva do consumidor, portanto, torna-se elemento central na configuração das REI,

consolidando um modelo participativo e sustentável de gestão da energia elétrica (Toledo, 2012; Leite, 2013; VIALI et al., 2025).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor elétrico brasileiro encontra-se em meio a um processo de transformação estrutural profunda, impulsionado pela incorporação de fontes alternativas de energia, pela eletrificação da frota veicular e pela necessidade de modernização da infraestrutura energética diante das megatendências globais de digitalização, descentralização e descarbonização (Da Paixão et al., 2021; Paixão; Abaide; Filho, 2018). Nesse contexto, as REIs despontam como elemento central da transição energética contemporânea, promovendo a migração de topologias radiais convencionais e hierarquizadas para arquiteturas flexíveis, interconectadas e adaptativas, capazes de integrar múltiplas fontes, agentes e tecnologias (Falcão, 2010; Oliveira; Martins, 2020).

As REI incorporam um conjunto de tecnologias emergentes, entre as quais se destacam a IA, a Internet das Coisas (IoT), os sistemas avançados de armazenamento de energia e os mecanismos de automação e controle em tempo real, possibilitando maior eficiência operacional, resiliência sistêmica e qualidade no fornecimento. A difusão da GD, associada à expansão dos veículos elétricos e à consolidação do consumidor *prosumidor* (simultaneamente produtor e consumidor de energia) redefine os paradigmas tradicionais do setor, exigindo novos modelos de negócio, estruturas tarifárias e mecanismos regulatórios mais flexíveis e responsivos (Toledo, 2012; DE ATAIDE et al., 2021; Oliveira et al., 2025).

A velocidade e a profundidade da implantação dessas inovações dependerão de fatores exógenos e endógenos, tais como a formulação de políticas públicas coerentes, a disponibilidade de infraestrutura tecnológica, o acesso a financiamentos e incentivos à inovação, bem como a maturidade institucional dos órgãos reguladores e operadores do sistema. Nesse cenário, torna-se imperativo adotar estratégias integradas de investimento, planejamento energético sistêmico e regulação adaptativa, capazes de harmonizar eficiência econômica, segurança energética e equidade social.

Futuras investigações devem concentrar-se em três eixos críticos: (i) a cibersegurança e a proteção de dados no contexto de redes digitalizadas e interconectadas; (ii) a justiça e inclusão social no acesso e na adoção das novas tecnologias; e (iii) a integração técnica e regulatória entre as REI e as fontes renováveis intermitentes, de modo a assegurar uma transição energética sustentável, resiliente e inclusiva no contexto brasileiro.



REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa n. 482: regulamentação da geração distribuída. Brasília: ANEEL, 2012b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa n. 502: regulamentação de medidores eletrônicos. Brasília: ANEEL, 2012a.
- CIGRE. Smart Grid regulatory evolution and remaining challenges in Brazil. *Electra*, n. 314, 2021. Disponível em: <Smart Grid regulatory evolution and remaining challenges in Brazil | ELECTRA>. Acesso em: 4 out. 2025.
- Da Paixão, J. L.; Abaide, A. R.; Sausen, J. P.; Silva, L. N. F. da. (2021). EV fast charging microgrid on highways: A hierarchical analysis for choosing the installation site. *2021 56th International Universities Power Engineering Conference: Powering Net Zero Emissions, UPEC 2021 - Proceedings*. DOI: <https://doi.org/10.1109/UPEC50034.2021.9548256>
- DE ATAIDE, Lucas; NEUENFELDT JÚNIOR, Alvaro; SILUK, Julio; MICHELIN, Cláudia; FRANCESCATTO, Matheus. Caminhos para smart grids: análise global do ponto de vista científico e intelectual. *Revista Espacios*, v. 42, n. 2, p. 13-25, 2021. DOI: 10.48082/espacios-a21v42n02p13. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a21v42n02/a21v42n02p13.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2025.
- ENVOL GLOBAL. Megatrends in the Brazilian Power Sector. 2024. Disponível em: <https://envolglobal.com/wp-content/uploads/2024/09/20241120_ENVOL_Megatrends_SEB_2025_34_EN.pdf>. Acesso em: 5 out. 2025.
- FALCÃO, Djalma. *Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid*. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2010, Belém, PA. Anais do III SBSE, 2010.
- LAMIN, Hugo. Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- LEITE, V. Medidores eletrônicos: análise de viabilidade econômica no contexto das redes inteligentes. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MAIA, F. Redes elétricas inteligentes no Brasil: análise de custos e benefícios de um plano nacional de implantação. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.
- OLIVEIRA, A. et al. Transitioning to Distribution System Operators in Brazil. Regulatory Assistance Project, 2025. Disponível em: <<https://www.raponline.org/wp-content/uploads/2025/05/rap-oliveira-addepalli-saenz-gomez-hernandez-transitioning-to-dso-in-Brazil-may-2025.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2025.
- OLIVEIRA, Sergio Martins de; MARTINS, Marina dos Anjos. Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook. Rio de Janeiro: Brasport, 2020.
- Paixão, J. L.; Abaide, A. R.; Filho, P. G. A. (2018). Impact Evaluation of the Photovoltaic Generation Input on a Concessionaire's Network. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE 2018)*, 2424–2429. DOI: <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395937>



Paixão, J. L.; Abaide, A. R. (2025). ANÁLISE E CONTROLE DE INTERRUPÇÕES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Aurum Editora*, 36–44. DOI: <https://doi.org/10.63330/AURUMPUB.005-004>

PAIXÃO, Joelson Lopes *et al.* PROPOSAL AND SIMULATION OF ELECTRICAL IMPACTS OF MICROGRID FOR EV RECHARGING ON HIGHWAY. IET Conference Proceedings, v. 2022, n. 3, p. 1099–1103, 2022.

PAIXÃO, Joelson Lopes *et al.* EV Charging microgrid: electrical and operation modeling of energy management. IET Conference Proceedings, p. 2373–2377, 2023.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa; SILVA, Leonardo Nogueira Fontoura da. Metodologia para Avaliar a Viabilidade Econômica de Microrrede Voltada às Recargas de Veículos Elétricos em Rodovias. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI, v. 1, n. 2, 18 out. 2023.

RIVERA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXEIRA, Ingrid. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 40, p. 43-83, 2013.

VIALI, L. G. A.; GONÇALVES, R. J.; SILVA, K. L.; GAZZANI, M. H. Uma análise da utilização de smart grids no sistema elétrico brasileiro. Caderno Pedagógico, [S. l.], v. 22, n. 1, p. e13341, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n1-138. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/13341>>. Acesso em: 3 out. 2025.

TOLEDO, Fabio. Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

WORLD ECONOMIC FORUM. System Value - Brazil Market Analysis. 2020. Disponível em: <https://www3.weforum.org/docs/WEF_System_Value_Brazil_Market_Analysis_2020.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.