

A APLICAÇÃO DA IA NO SETOR ENERGÉTICO: AVANÇOS E DESAFIOS PARA TORNAR A MATRIZ BRASILEIRA MAIS EFICIENTE

Hérderson Mário Oliveira Sousa¹
Ítalo Rodrigo Monte Soares²

RESUMO: A Inteligência Artificial (IA) impulsiona a inovação em diversos espaços de atuação. Neste cenário, o setor energético através de ferramentas como redes autônomas tem permitido otimizar a distribuição, reduzir perdas e incorporar fontes renováveis, contribuindo diretamente para metas progressão e sustentabilidade. A matriz brasileira, acompanhando essa tendência encara desafios estruturais relacionados à crescente demanda, à integração de fontes renováveis ao sistema elétrico e às perdas técnicas e não técnicas que comprometem cada vez mais a eficiência e confiabilidade do setor. Este estudo analisou a aplicação da IA, na gestão da distribuição e transmissão de energia elétrica, com ênfase na projeção, no controle de perdas e ampliação da eficiência operacional. O percurso metodológico contextualiza através da revisão bibliográfica os principais tipos de perdas e seus impactos econômicos e sociais. Além disso, discute as tecnologias emergentes baseadas em IA, como redes neurais artificiais, lógica fuzzy, Big Data e sensores inteligentes, aplicada em concessionárias para detecção de fraudes, previsão de falhas e integração de energias renováveis. Os resultados evidenciam que a adoção dessas soluções tecnológicas representa um avanço significativo para a sustentabilidade do setor, ao reduzir custos, aumentar a confiabilidade e contribuir para a modernização da matriz elétrica brasileira.

6308

Palavras-Chave: Inteligência Artificial. Eficiência Energética. Sistema Elétrico Brasileiro.

ABSTRAT: Artificial Intelligence (AI) drives innovation in various fields. In this scenario, the energy sector, through tools such as smart grids and autonomous networks, has been able to optimize distribution, reduce losses, and incorporate renewable sources, directly contributing to progress and sustainability goals. The Brazilian energy matrix, following this trend, faces structural challenges related to growing demand, the integration of renewable sources into the electrical system, and technical and non-technical losses that increasingly compromise the efficiency and reliability of the sector. This study analyzed the application of AI in the management of electricity distribution and transmission, with an emphasis on projection, loss control, and increased operational efficiency. The methodological approach contextualizes, through a literature review, the main types of losses and their economic and social impacts. Furthermore, it discusses emerging AI-based technologies, such as artificial neural networks, fuzzy logic, Big Data, and smart sensors, applied in utilities for fraud detection, fault prediction, and the integration of renewable energies. The results show that the adoption of these technological solutions represents a significant advance for the sustainability of the sector, by reducing costs, increasing reliability and contributing to the modernization of the Brazilian electricity grid.

Keywords: Artificial Intelligence. Energy Efficiency. Brazilian Electrical System.

¹Acadêmico de Graduação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica na UNIFSA - Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina - PI.

²Professor e orientador na UNIFSA - Centro Universitário Santo Agostinho. Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande.

INTRODUÇÃO

O incremento de transição para uma matriz energética mais eficiente tem se intensificado nos últimos anos, estabelecendo uma demanda que vai além da sustentabilidade, com desafios regulatórios e operacionais cada vez mais complexos. Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) desponta como uma ferramenta indispensável para aumentar a rentabilidade e produtividade das demandas deste setor em expansão.

No cenário nacional, as concessionárias de distribuição de energia passaram a investir em recursos que monitoram redes em tempo real, como o uso de sensores inteligentes e sistemas automatizados, capazes de detectar falhas potenciais e viabilizar maior confiabilidade no serviço de fornecimento. Tal empenho, evidencia o papel da tecnologia para a otimização da gestão de ativos e minimizar interrupções sistêmicas.

Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo analisar as principais barreiras e as novas perspectivas da utilização da Inteligência Artificial (IA) para tornar o sistema elétrico brasileiro mais eficiente, mediante a observação do monitoramento do consumo em tempo real e identificação de anomalias oriunda de irregularidades. Considerando para tanto, a potencialidade desta ferramenta na oferta de resposta mais ágil e eficiente, capaz de reduzir prejuízos financeiros e melhorar a gestão de recursos energéticos.

6309

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a aplicação da IA contribui para a melhoria do controle de perdas de energia, com grande capacidade de aumentar a estabilidade no sistema, considerando para tanto a complexidade deste processo, que aliada à variabilidade e intermitência das fontes renováveis, exige métodos de monitoramento capazes de identificar e classificar distúrbios com alta precisão e rapidez, mesmo em ambientes ruidosos e dinâmicos (ANEEL, 2022).

A investigação partiu dessas demandas potencializadas, com a exposição de conceitos relevantes para delimitação da temática, cujas análises que sustentam concepções sobre fontes de energias, perdas técnicas e não técnicas, monitoramento de falhas nos sistemas, com ênfase na projeção da inteligência artificial e seus desdobramentos no escopo das redes de energias disponíveis.

Dito isto, é impreterível a seguinte problematização: Que ferramenta possibilita a a previsão/monitoramento de falhas, com o intuito de aumentar a capacidade de redução de custos operacionais e aprimoramento no sistema elétrico?

Percebe-se que a crescente utilização da IA no setor elétrico provoca mudanças significativas nas relações de trabalho, consequentemente na formação profissional de seus

agentes operadores, provocando a inquietação para ampliar as discussões técnicas no processo de capacitação da força de trabalho para as novas demandas que exige qualificação e requalificação contínuas.

Dessa forma, julga-se importante ampliar o debate sobre essa perspectiva, pois a integração da IA nos sistemas de gerenciamento da energia apresenta diversos desafios, que vão desde a complexidade dos dados previsíveis ao controle preciso da geração, distribuição e transformação de energia, no trato dos recursos para tornar os sistemas mais eficientes.













REVISÃO TEÓRICA: A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONDUÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

A inteligência artificial nos últimos anos tem se mostrado favorável à resolução de problemas, visto que a aplicação deste recurso no setor de energia, como nos demais setores tem se revelado uma tendência satisfatória em sua incorporação, quais sejam: manutenção e operação dos recursos, monitoração da estrutura de geração de energia, segurança dos sistemas e no desenvolvimento dos designs. (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

De fato, é preciso esclarecer que essa ferramenta representa um avanço importante no incremento das tarefas e produções cotidianas, tornando-as mais céleres e eficientes. De acordo com Goldschmidt (2010) a IA pode ser compreendida como a “Ciência multidisciplinar que busca desenvolver e aplicar técnicas computacionais que simulem o comportamento humano em atividades específicas.” (GOLDSCHMIDT, 2010, p.7).

Vale destacar, que o uso desta ferramenta cresce exponencialmente nas diversas em escala mundial, e coloca o Brasil na 30ª ocupação de um ranking com 83 países, segundo quadro abaixo publicado pela Tortoise Media:

Figura 1 - Colocação do Brasil no Ranking Internacional no uso da IA

	Overall	Talent	Infrastructure	Operating Environment	Research	Development	Government Strategy	Commercial	Scale	Intensity
 United States	1	1	1	2	1	1	2	1	1	3
 China	2	9	2	21	2	2	5	2	2	21
 Singapore	3	6	3	48	3	5	10	4	11	1
 United Kingdom	4	4	17	4	4	16	7	5	3	9
 France	5	10	14	19	6	4	9	8	6	10
 South Korea	6	13	6	35	13	3	4	12	7	11
 Germany	7	3	13	8	8	11	8	9	5	15
 Canada	8	8	18	16	9	10	3	6	8	8
 Israel	9	7	26	65	7	6	32	3	14	2
 India	10	2	68	3	14	13	11	13	4	36
 Japan	11	23	5	53	20	14	12	14	9	31
 Brazil	30	26	36	28	44	29	27	33	19	44

Fonte: The Global AI Index 2024, Tortoise Media

Essa ascensão é notória na cadeia produtiva do setor de energia que incorpora uma nova era a partir da IA, ao transformar digitalmente seus processos, produtos, serviços, mercados e a tomada de decisões, onde os sistemas ou máquinas que simulam a inteligência humana executam tarefas aprimoradas interativamente, estas por sua vez possuem bases nas informações que eles coletam aprendendo por si mesmas.

A pesquisa da revista digital Deloitte demonstra que é possível refrear o custo de operação no setor elétrico em até 30% com a automatização de tarefas repetitivas e aumento da eficiência. Para tanto, é necessária uma reestruturação das funções estabelecidas pelo setor energético, com maior ênfase em habilidades tecnológicas e analíticas, adotando estratégias de upskilling (desenvolvimento de novas habilidades) e reskilling (requalificação para novas funções). (Deloitte, 2024)

Recentemente, medidores inteligentes incorporando IA e Machines Learning têm automatizado a detecção de fraudes (perdas não técnicas), que antes dependiam de análise manual, acelerando a sinalização e intervenção em casos suspeitos. Isso permite a prevenção de riscos legais, reputacionais, operacionais e regulatórios com uma plataforma integrada que aperfeiçoa o seu compliance, configura processos de gestão de riscos. (CanalEnergia, 2021).

Um estudo da Pix Force em parceria com a Neoenergia demonstrou o uso de mapas de calor, alimentados por IA e imagens de satélite, para apontar áreas com alta probabilidade de irregularidades e priorizar inspeções de campo. Estimativas indicam que essas perdas não técnicas custaram aproximadamente R\$ 5,6 bilhões em 2020. (Pix Force/Neoenergia, 2023).

Além disso, na esfera da transmissão, a Centrais Elétricas Brasileiras S.A - Eletrobras passou a utilizar o sistema C3 AI Grid Intelligence em suas subestações, reduzindo o tempo de identificação de falhas para menos de dez segundos e fortalecendo a resiliência da rede (Reuters, 2025; InvestNews, 2025). Já no campo do sensoriamento, sensores instalados ao longo das redes, integrados com IA, permitem prever falhas antes que se tornem críticas, especialmente em linhas longas em áreas rurais (Brasil Energia, 2025).

Soluções baseadas em redes neurais, outra incorporação importante, têm se mostrado eficazes na detecção de distúrbios na qualidade da energia elétrica, classificando automaticamente eventos como variações de tensão e distorções harmônicas em tempo real (Bhen- de; Mishra; Panigrahi, 2008).

A ANEEL define eficiência energética a partir dos procedimentos utilizados para reduzir o consumo de energia elétrica de um determinado trabalho. No escopo do gerenciamento, a IA atua no diagnóstico de demandas e prevenção de sobrecargas, contribuindo para a estabilidade

do sistema. Além de aperfeiçoar o controle de perdas, com inspeção nos sistemas de aquecimento, ventilação, entre outros benefícios. (Costa, L. Cesar, 2024).

Ainda segundo a ANELL o sistema energético brasileiro apresenta dificuldades relevantes, que vão desde a geração até a distribuição de energia elétrica, sendo as perdas um dos fatores mais significativos. Estas podem ser classificadas em técnicas, decorrentes de ineficiências na geração e distribuição, e não técnicas, oriundas principalmente de fraudes “furto de energia”. Este por sua vez, representa um custo de R\$ 10,3 bilhões em 2024, de acordo com relatório Institucional (ANEEL, 2024).

Ademais, a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) detalha a complexidade e os desafios impostos por essa prática, que embora seja considerada crime, ocorre com frequência. O estudo *Furto de energia: Perdas não técnicas*, explica como estes furtos impactam na tarifa de energia de todos os consumidores regulares.

As concessionárias de grande porte, cujo mercado é maior do que 700 GWh, representam quase a totalidade dos montantes, devido ao tamanho do mercado e à maior complexidade de se combatê-los. E podem ser observados a partir da (ligação clandestina, desvio direto da rede), fraudes (adulterações no medidor ou desvios), erros de leitura, medição e faturamento.

O documento especifica que “O transporte da energia”, seja na Rede Básica ou na distribuição, resulta inevitavelmente em perdas técnicas relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores, perdas dielétricas e etc, tornando-se emergente a viabilidade de estratégias para melhoria dos resultados, em observância com a regulamentação setorial vigente.

De fato, o monitoramento da qualidade de energia elétrica é importante para garantir a operação eficiente, segura e confiável dos sistemas elétricos, especialmente em um cenário de crescente demanda por eletricidade e da integração de tecnologias avançadas, como dispositivos eletrônicos sensíveis e fontes de energia renovável.

Inferências no processo de transformação da energia elétrica e o incremento da IA

Problemas na qualidade da energia, como variações de tensão, harmônicos e transientes oscilatórios, possuem um impacto relevante no desempenho de equipamentos, causando falhas, perdas de dados e interrupções no fornecimento. Esses distúrbios representam um desafio para concessionárias e consumidores, gerando custos elevados e, muitas vezes, comprometendo a confiabilidade das redes elétricas. (Cruz, 2010).

Na abordagem do autor existem três grandes ramificações na inteligência artificial, quais sejam: lógica fuzzy, redes neurais artificiais, algoritmos genéticos. A rede neural artificial busca

reproduzir o processo de solução de problemas do cérebro humano, pois do mesmo modo em que ser humano aplica o conhecimento com base nas experiências, uma rede neural artificial também se utiliza de exemplos resolvidos para construir um sistema que toma decisões e realiza funções.

E ao comparar determinadas vantagens da rede neural artificial com outros ramos da inteligência artificial, esta se destaca por ser capaz de sintetizar algoritmos por meio de aprendizagem, sem a necessidade de conhecer detalhes matemáticos, basta apenas ter ciência dos dados de trabalho, pois a rede neural artificial é indicada para resolução de problemas não lineares, e funciona mesmo com a falha de alguns elementos.

Entretanto, ela possui algumas desvantagens, como a necessidade de ser treinada gastando tempo, exige o uso de muitos dados e ainda, a rede neural artificial é complexa para um observador externo realizar mudanças, pois de acordo com autor supracitado citado a lógica fuzzy é o ramo da inteligência artificial, que permite a um computador analisar informações do mundo real em uma escala entre o falso e verdadeiro, permitindo assim a manipulação de expressões que envolvem grandezas linguísticas.

Outro avanço tecnológico importante refere-se à Big Data, cujo termo em Tecnologia da Informação (TI), é utilizado para especificar volumes consideráveis e variações de dados, que exigem processamento de alta velocidade para gerar informações para maior visibilidade e tomada de decisão, que podem ser agrupadas, lidas, convertidas, analisadas com técnicas estatísticas, matemáticas e computacionais, gerando um novo tipo de conhecimento chamado “Data Insight”, algo conclusivo e ainda nunca pensado sobre os dados originais (Neto, 2021).

6313

Vale acrescentar, que a IA aliada com o Big Data impulsionam o setor energético para uma nova era, dado o potencial da Big Data em manipular informações em grandes volumes. Tarefa dificilmente executada por ferramentas tradicionais. Ela tem por objetivo extrair insights e dados para tomadas de decisões estratégicas pelas concessionárias, tanto no meio administrativo quanto nas atividades de campo, para fins de aberturas e fechamentos de chaves automáticas.

Essa combinação impulsiona análise em “real time” dos dados gerados pela rede elétrica na geração e distribuição de energia, identificando anormalidades, detectando perdas técnicas e não técnicas e ainda podendo proporcionar previsão de demanda. Dessa forma, a combinação de ambas podem melhorar a eficiência energética e também facilitar a integração de fontes renováveis ao sistema elétrico.

Na integração de energias renováveis, por exemplo, a IA equilibra a intermitência e a sazonalidade (dependência de fatores naturais na geração de energia) em sistemas de energias

como solar e eólica por meio do armazenamento de energia (lagos de hidrelétricas), garantindo um fornecimento constante e confiável, embora encare desafios em sua implementação. (Reis; Fadigas; Carvalho, 2005).

Segundo o autor a IA é capaz de processar volumes acentuados de dados sobre o uso de energia e transformá-los em informações valiosas. Com algoritmos que identificam padrões e anomalias, sendo possível prever picos de consumo, otimizar horários de operação e reduzir desperdícios, tudo com base em análises precisas e em tempo real.

Vale lembrar, que mesmo diante dessas positivities, verificam-se entraves nos campos regulatórios e jurídicos que não podem ser ignorados. A conformidade com as normas da ANEEL é essencial. Normas como a REN ANEEL nº 1000/2021 estabelecem critérios rigorosos para a operação das redes de distribuição, exigindo que as soluções de IA sejam projetadas para atender a esses requisitos.

Percurso metodológico para delineação da pesquisa

A metodologia utilizada neste trabalho pautou-se em bases teóricas pertinentes, a partir do levantamento de autores e estudos sobre o uso e evolução da Inteligência Artificial (IA) para a gestão da eficiência energética no sistema correlacionado, compreendendo a importância de embasar os resultados e discussões em evidências consubstanciadas, adotando-se para tanto, uma abordagem que articula revisão bibliográfica com análise de dados secundários.

6314

A primeira etapa ocorreu com o levantamento das fontes de pesquisa, a saber: publicações acadêmicas, artigos de revistas, relatórios de pesquisa e outros recursos online que discutem a aplicação da IA no setor energético, possibilitando compreender o seu processo de implementação, bem como os principais desafios, benefícios e impactos neste setor. Optou-se por publicações que discutem tanto aplicações gerais da IA em cenários distintos, quanto estudos de casos específicos, permitindo obter uma visão abrangente e multifacetada do cenário.

A segunda etapa sucedeu-se com a coleta e organização dos materiais, previamente selecionados e publicados por pesquisadores, empresas e instituições de pesquisa. Os tipos de dados secundários analisados incluem estatísticas sobre a fase de progressão da IA no sistema energético brasileiro, relatórios sobre o impacto no gerenciamento de falhas no sistema, além dos estudos de caso sobre a implementação desta ferramenta nas fases do processo de transformação energética. A análise destes dados possibilitou validar o instrumento construído, pois os materiais selecionados permitiram avaliar a eficiência do roteiro de leituras, de modo a ampliar seus campos de investigação.

Por fim, para a elaboração da base da pesquisa procedeu-se com uma análise sucinta das informações coletadas durante a revisão bibliográfica, mediante a utilização de técnicas de análise exploratória para identificar temas e padrões na literatura revisada, que permitiu a utilização de dados dispersos em inúmeras publicações, além de auxiliar na construção/definição do quadro conceitual que envolve objeto em estudo. o

Resultado e discussão para a análise da viabilidade da pesquisa

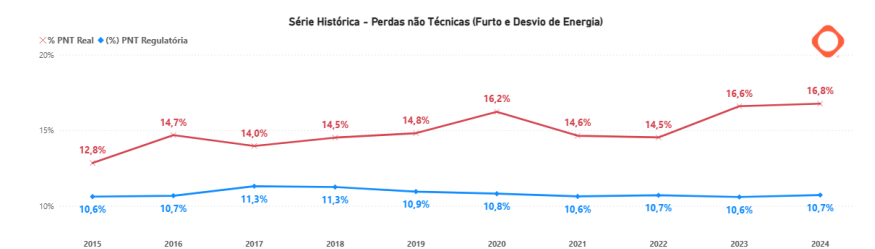
O empenho para impulsionar o setor energético, tornando-o mais sustentável e resiliente ocorre na mesma proporção da evolução tecnológica. Nesse cenário, a IA se destaca como uma ferramenta potente, capaz de revolucionar as formas de geração, armazenamento e distribuição das fontes de energias.

A integração de IA em sistemas de gestão de energia lida com certos obstáculos, como a complexidade dos dados e a necessidade de modelos de previsão contundente. Além da segurança cibernética e a privacidade dos dados, contudo é preciso verificar que mesmo diante dessas questões adversas, essa ferramenta pode apresentar resultados satisfatórios na inspeção e análise de falhas frequentemente ocorridas no sistema.

Neste ponto, a incorporação de IA com Big Data, por exemplo, possibilita análises em tempo real, permitindo a detecção de perdas e previsão de demandas no despacho de energia. Essa abordagem amplia a confiabilidade do sistema, favorece a integração de fontes renováveis e proporciona decisões mais ágeis para as concessionárias.

De acordo com ABRADÉE, as perdas não técnicas reais (PNT Real) ultrapassam as perdas não técnicas Regulatórias (PNT Regulatórias) com tendência de aumentarem a cada ano conforme os dados da Figura 2.

Figura 2 - Histórico de Perdas não Técnicas

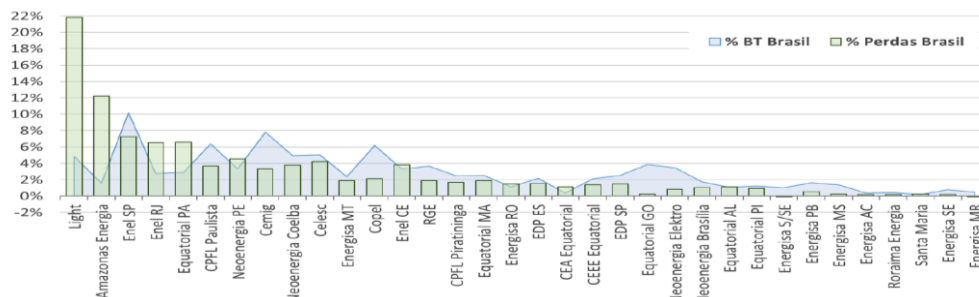


Fonte: ABRADÉE: 2025

Convém esclarecer, que as perdas não técnicas são um grande desafio para as concessionárias de energia, e nesse enredo a capacidade da IA de modificar o setor elétrico é evidente, especialmente em áreas como a manutenção preditiva e a aprimoramento de ativos.

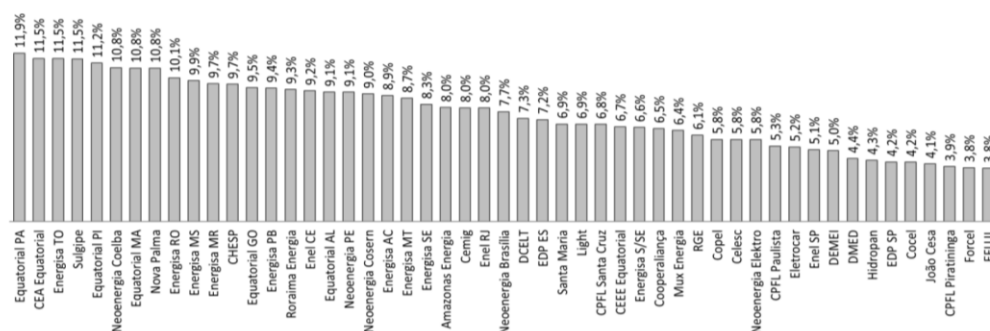
Abordagens que permitem prever falhas antes que ocorram têm sido vitais para reduzir custos operacionais e aprimorar a operação. Conforme figuras 3 e 4:

Figura 3 – Apresenta gráfico de participação das perdas não técnicas reais do país em 2024, comparando-a com a representatividade do mercado BT – Brasil.



Fonte: Participação de Pedas Não Técnicas Reais e do Mercado BT, ANELL (2024)

Figura 4 – Apresenta percentual regulatório de perdas técnicas sobre a energia injetada das 51 concessionárias de distribuição 2024.



Fonte: Percas Técnicas Regulatórias sobre energia injetada, ANELL (2024)

As informações apresentadas nestes gráficos apresentam percentuais sobre as perdas não técnicas das concessionárias de distribuição, considerando informações do mercado de baixa tensão como sobre a energia injetada, no período de 2012 a 2024, por ano civil, bem como àquelas efetivamente consideradas nos processos tarifários. Demonstrando altos índices desta problemática.

A partir deste cenário, observa-se a utilidade da IA integrada ao sistema, cuja capacidade permite processar dados gerados por sensores em tempo real, promovendo automações inteligentes e diagnósticos preditivas. Estes dispositivos podem ser desenvolvidos por meio de tecnologias que envolvam IoT (Internet of things), chamada de internet das coisas. Tal conceito descreve uma rede de objetos físicos que são incorporados a sensores e software com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos pela internet.

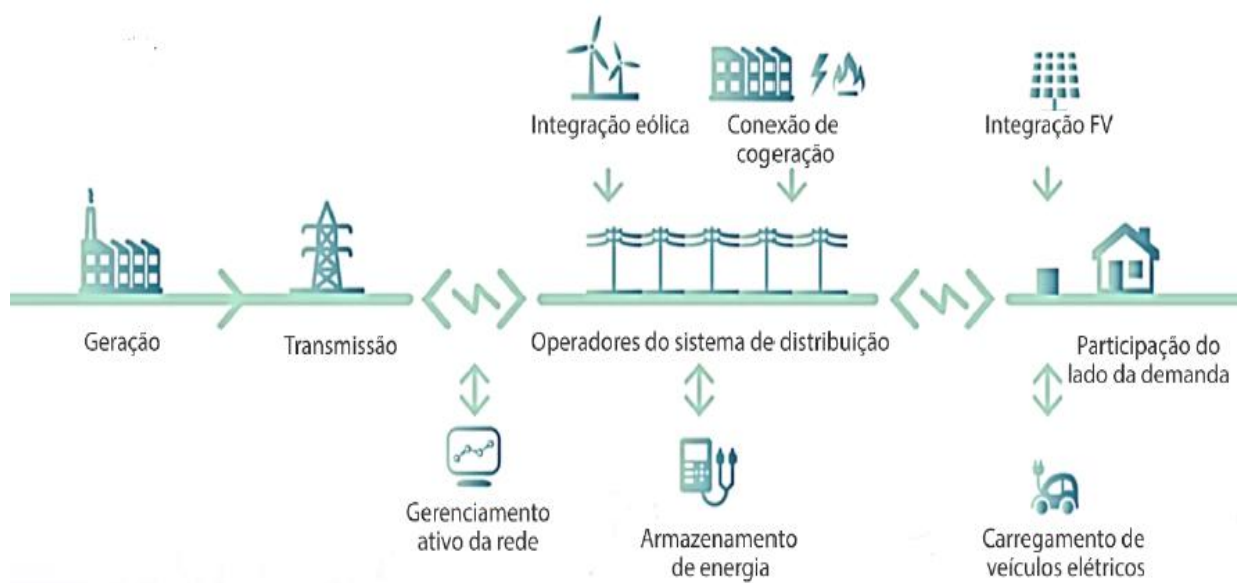
Ademais, o emprego do benchmarking tecnológico (análise comparativa de evolução contínua) em sistemas de aprimoramento e predição é responsável por gerar expressivos ganhos na eficiência operacional. Na visão de Gomez-Exposito, Conejo e Canizares (2019), o setor elétrico tem a capacidade de alocar seus recursos de forma mais estratégica e potencializar o planejamento das manutenções ao seguir as melhores práticas tecnológicas. Visto que, a redução do tempo de inatividade dos equipamentos, consequência desse alinhamento, diminui os custos operacionais e ainda garante a confiabilidade do fornecimento de energia, elevando a satisfação do consumidor.

O benchmarking, segundo o estudo atua como uma ferramenta capaz de corrigir gargalos com base em padrões externos, ao adaptar-se às inferências de aprendizado estratégico e inteligente no controle de ativos do setor elétrico. Esse cenário é reforçado por grande volume de dados, proveniente de equipamentos críticos (transformadores e linhas de transmissão), impulsionado pela digitalização das redes e adoção das tecnologias (IoT).

Convém esclarecer, que fontes de energia renováveis como a solar e a eólica afetam diretamente a estabilidade da rede da concessionária e com o uso da IA pode-se prever a geração dessas fontes de modo a facilitar a integração de acordo com a figura 5 dessas fontes ao sistema de modo a garantir estabilidade no fornecimento de maneira a torna-lo mais confiável. A IA pode ter aplicação direta na manutenção do sistema elétrico, voltada para a manutenção preventiva.

6317

Figura 5 - Integração das Fontes de Energia Renováveis ao Sistema Elétrico



Fonte: BRASIL. MME; GIZ, 2021

Diante do exposto, verifica-se que na gestão de redes elétricas, a IA prever demandas e sobrecargas, auxiliando na estabilidade do sistema elétrico. Além de potencializar o uso de energia em estabelecimentos de grande porte, controlando sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, com base na ocupação e nas condições climáticas.

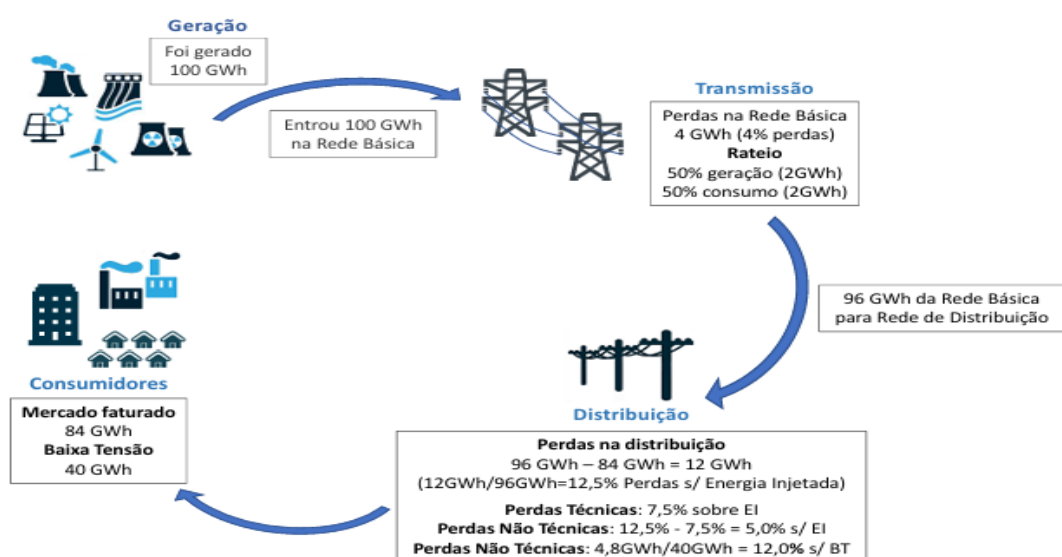
Em consonância com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), a energia total disponível para atender qualquer demanda é chamada de matriz energética, cujo fornecimento tem origem no conjunto de fontes pertencentes a esta matriz, correspondendo ao agrupamento das fontes à disposição de uma determinada região para suprir suas necessidades. Em síntese, o conjunto de fontes disponíveis apenas para uma determinada geração de energia elétrica compõe a matriz elétrica, que juntas compõem a matriz energética.

De modo, que para suprir a demanda energética de um local é necessário um Sistema Elétrico de Potência (SEP), como cita Robba (ROBBA KAGAN, 2005), onde sua principal função é fornecer energia elétrica aos usuários, com qualidade apropriada, em conformidade com produto, que seja capaz de converter a energia de naturezas diversas, quais sejam: hidráulica, mecânica, térmica, solar e entre outras em energia elétrica, para a distribuição dos consumidores. Um sistema elétrico de potência pode ser subdividido em três grandes subsistemas como pode ser observado: geração, transmissão e distribuição.

Na Figura 6 relacionada, a ANEEL demonstra um exemplo hipotético de perdas no sistema elétrico, enfatizando as perdas não técnicas e as perdas técnicas em cada fase, relacionando Geração, Transmissão e Distribuição de energia.

6318

Figura 6 - Demonstração Hipotética de Perdas no Sistema Elétrico – Apuração das Perdas



Fonte: ANEEL: 2025

Para que essa demanda energética seja atendida e se estabeleça uma redução no desperdício de energia elétrica, faz-se necessário a implementação do uso da eficiência energética, cuja definição pode ser entendida como redução do consumo de energia fazendo os mesmos serviços que anteriormente. Martins (1999, p.8) explica que:

Do ponto de vista da eficiência energética, ressalta-se que o planejamento setorial de oferta de energia considera como uma de suas premissas básicas a evolução da conservação de energia, visto que uma parcela do crescimento do mercado pode ser atendida mais rapidamente através de ações de eficiência energética do que com a implantação de usinas geradoras[...] (MARTINS, 1999, p.8).

Essa concepção, demonstra que para o suprir a energia primária consumida em alta escala, é necessário investimento em geração de energia elétrica, bem como no desenvolvimento de propostas para sua eficiência, que correspondem à conscientização do consumo equilibrado de energia tanto residencial quanto industrial.

Verifica-se neste ponto, a viabilidade para a adoção de novas tecnologias, que incorporadas às fontes de energias permitem avanços significativos na vida cotidiana, pois o processo de informatização e ampliação das novas tecnologias digitais apresenta-se exponencialmente consolidada no manejo das energias disponíveis. E nesse contexto, destaca-se a Inteligência Artificial – IA.

A legislação própria brasileira, através da Lei 9.991/2020 dispõe necessidade sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para eficiência energética por parte das empresas do setor elétrico. E de fato, nos últimos anos diversas concessionárias executaram projetos buscando o reconhecimento das condições de rede elétrica inteligente, adaptadas às particularidades de suas redes e consumidores, conforme discussão apresentada pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2021).

Ainda segundo o (MME, 2021), dos projetos registrados pelas concessionárias junto à ANEEL, detectaram-se 43 com referência de evolução em redes inteligentes, cibersegurança para redes, *smart metering*, comunicação e processamento avançado. Estas iniciativas ocorreram entre 2010 e 2016, com investimento total previsto de R\$ 276.232.370,52, segundo a previsão orçamentária para sua realização (MME, 2021).

A análise revelou ainda, que os projetos-piloto de digitalização nacional dispensaram um volume elevado de recursos e tiveram um período de duração de 60 meses. De acordo com os relatórios de finalização, R\$ 164,135.513,82 foram destinados aos fundos de P&D regulados e R\$ 31.136.304,62 de investimentos extras da ENEEL na planta piloto em Búzios. Outros aportes com fundos da FINEP e do Banco Mundial foram mensurados, contudo não caracterizados nos seus relatórios junto à ANEEL. (BRASIL. MME; GIZ, 2021).

Observa-se ainda nesta pesquisa, a pretensão dos pilotos em demonstrar junto às concessionárias atividades em operação de uma rede com digitalização mínima nos medidores dos clientes e nos religadores, Além dos compromissos tecnológicos estabelecidos na fase de avaliação, com evidências tecnológicas condicionantes testadas. (BRASIL. MME; GIZ, 2021)

Os relatórios de sustentabilidade apontados no recorte entre 2017 a 2019 das empresas energéticas que testaram seus pilotos, com websites de apresentação para seus investidores, demonstraram avanços inibidos em seus parques de medição inteligente, mesmo levantando dados financeiros de investimentos em telemedição e digitalização de determinados elementos de sua rede, como religadores. O grupo CPFL não listado em projetos pilotos de P&D, expõe em seu relatório de sustentabilidade no ano de 2019, um piloto próprio de 20,3 mil medidores inteligentes instalados na cidade de Jaguariúna. (BRASIL. MME; GIZ, 2021).

Com análise deste recorte, consta-se o elevado número de projeções para o incremento da IA no escopo energético, que ao dialogar com a literatura especializada exemplifica o impacto positivo desta ferramenta para o setor energético, dada capacidade de identificar padrões de consumo e detectar comportamentos anômalos que podem indicar problemas relevantes. (Bhende; Mishra; Panigrahi, 2008).

Verifica-se também, que técnicas embasadas pela lógica fuzzy e algoritmos genéticos permitem criar modelos de previsão de carga e manutenção preditiva, antecipando falhas em equipamentos e reduzindo riscos de interrupções (Cruz, 2010), isso ocorre devido o grande volume de dados gerados pelas redes elétricas modernas, o que exige ferramentas de alta capacidade analítica para transformar dados brutos em informações estratégicas.

Estudos recentes demonstram o potencial dessas tecnologias no setor energético brasileiro. Na tabela expositiva 1, é possível observar que a Pix Force, em parceria com a Neoenergia, desenvolveu soluções baseadas em mapas de calor e imagens de satélite processadas por IA para identificar regiões com maior probabilidade de fraudes, otimizando a alocação de equipes de inspeção (Pix Force/Neoenergia, 2023),

No mesmo sentido de detalhamento, os dados informam que a Eletrobras passou a adotar o sistema C3 AI Grid Intelligence, capaz de reduzir o tempo de detecção de falhas em subestações para menos de dez segundos, reforçando a resiliência da rede (Reuters, 2025; InvestNews, 2025).

O Sistema SOMA desenvolvido pelo CEPEL, por exemplo, infere uma resposta inovadora aos desafios de gestão e desempenho de ativos, através do monitoramento online das condições dos equipamentos, possibilita a captura, integração e visualização de dados, além de oferecer análises sofisticadas e um sistema especialista para gerar alarmes e notificações. O êxito

desta solução é evidenciado pela adoção de grandes empresas do setor, como Chesf, Furnas e Itaipu Binacional (CEPEL, 2024).

Já no campo da manutenção, nota-se que os sensores inteligentes integrados à IA têm permitido identificar degradações em linhas de transmissão e prever falhas críticas antes que ocorram (Brasil Energia, 2025). Essa capacidade preditiva representa um avanço em relação ao modelo tradicional de manutenção corretiva, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade do fornecimento.

Além disso, quando aplicados à integração de fontes renováveis, algoritmos de IA podem mitigar a intermitência característica das fontes solar e eólica, ajustando a oferta de energia em consonância com a demanda e os níveis de armazenamento disponíveis (Reis; Fadigas; Carvalho, 2005).

Fato este, exemplificado na Tabela 1:

Tabela 1 - Quadro de tecnologia abordado recentemente

Empresa	Título do Projeto	Finalidade	Ano
Pix Force / Neoenergia	Medidores Inteligentes incorporando IA e Machine Learning	Uso de Mapas de calor alimentados por IA e imagens de satélite para apontar áreas com alta probabilidade de irregularidades e priorizar inspeções de campo.	2023
CEPEL	Sistema Soma	Monitoramento online das condições dos equipamentos permitindo capturar, integração e visualização de dados, além de fornecer análises sofisticadas e um sistema especialista para gerar alarmes e notificações.	2024
Eletrobras	C3 AI grid Intelligence	Reduzir o tempo de identificação de falhas.	2025

Fonte: Síntese produzida pelo autor da pesquisa

Apesar dos avanços, a IA no setor elétrico ainda enfrenta desafios importantes. Entre eles, destacam-se a necessidade de maior incremento tecnológico, a disponibilidade e qualidade dos dados para o treinamento dos modelos, os custos elevados de investimento, devido à grande parte de infraestrutura das redes elétricas brasileiras estarem defasadas, bem como a adaptação regulatória para garantir sua transparência e segurança.

Observa-se com isto, que embora possua um potencial transformador para o setor elétrico brasileiro, a IA enfrenta barreiras técnicas e institucionais que precisam ser superadas. Sua aplicação nas diversas intervenções deve primar pela eficiência, sustentabilidade e confiabilidade no sistema elétrico.

Síntese da inferência da IA na integração entre concessionárias e consumidores para otimização do serviço

Como dito anteriormente, a aplicação da IA pode auxiliar as concessionárias e consumidores a aperfeiçoar a eficiência, diminuir gastos operacionais e elencar avanços no

sentido de construir um futuro energético mais sustentável, conforme síntese de impacto abaixo:

Constatação de perdas não técnicas (furtos de energia)

Para esta problemática, observou-se a técnica de IA sofisticada, com capacidade de identificar perdas “não técnicas”, a partir da análise dos padrões de consumo em decorrência de anomalias. Isso, porque com o aprimoramento de medidores inteligentes e IoT na rede, os algoritmos agora dispõem de dados mais granulares para aprender o perfil de consumo normal e apontar desvios suspeitos em tempo real, segue resultados observados:

- a) Favorece para inspeções com alta resolução e precisão nos resultados;
- b) Gera economia de tempo das equipes de manutenção em campo;
- c) Viabiliza a recuperação de receitas perdidas;
- d) Garante a resolutividade e precisão dos trabalhos para os agentes envolvidos.

Previsão de geração de energia renovável

Para esta viabilidade, a IA volta-se para a prevenção da capacidade de energia dos parques eólicos (Reprodução), tendo em vista que fontes renováveis como a eólica e a solar cresceram volumosamente no país, a saber: em 2023 a 37 GW já havia superado a capacidade solar instalada. Entretanto, o caráter intermitente desses sistemas apresenta obstáculo de planejamento e estabilidade no projeto elétrico. Tem-se com isto:

- a) Destaca-se em algoritmos de aprendizado para máquina e equipamentos;
- b) Capacidade de antever a geração de parques eólicos e solares no futuro, alinhando dados históricos das usinas com previsão do tempo e imagens de satélite;
- c) Previsão estratégica dos operadores do sistema, com antecedência de prazo, para acionar usinas ou gerenciar o armazenamento de energia com mais precisão, minimizando riscos de apagões e maximizando o aproveitamento de fontes limpas.
- d) Prognósticos integrados mais renováveis na matriz elétrica de forma concreta – um impulso importante rumo às metas de descarbonização.

Gestão de recursos energéticos distribuídos (DER) e redes autônomas

Este item composto por inúmeros painéis solares em telhados, mini-eólicas, baterias e veículos elétricos conectados – alterou a arquitetura do sistema elétrico. Tal fato, massifica a produção de energia e reduz perdas de transmissão, porém cria uma complexidade elevada de gestão para as concessionárias, que precisam igualar oferta e demanda em tempo real com fontes espalhadas e intermitentes. Observou-se:

- a) Transformação dos DERMS (Distributed Energy Resource Management Systems), sistemas de gerenciamento de recursos distribuídos,

- b) Fiscalização em tempo real de milhares de dispositivos na rede e tomar decisões automáticas para estabilidade do sistema.
- c) Emergência da incorporação de redes elétricas autônomas autorreguladas.
- d) Compensação de falha e/ou queda de fornecimento em uma região reconfigurada pela rede rapidamente (prática conhecida como *self-healing*), isolando o trecho defeituoso e redirecionando energia de outras fontes distribuídas.

Assistência ao cliente e experiência de consumo

A relação entre concessionárias e clientes, faz uso de chatbots inteligentes, assistentes virtuais e análise de dados do consumidor via IA, para melhorar a experiência e agilizar o atendimento.

- a) Impulso do Processamento de Linguagem Natural (NLP) e, com habilidade entender solicitações complexas e interagir de forma humanizada.
- b) Lançamento de canais como WhatsApp, sites e aplicativos, resolvendo de imediato demandas frequentes – segunda via de conta, reporte de falta de energia, dúvidas sobre faturas e sobre geração distribuída.
- c) Análise de emoções/snsações e extração de insights de volumes enormes de dados de atendimento, automaticamente analisados por algoritmos que identificam causas comuns de insatisfação ou tendências de comportamento. Ex: identificação do aumento de reclamações em certa região e verificação de defeitos técnicos georeferenciado.

6323

Segurança cibernética no setor de energia

Por ser considerada uma infraestrutura crítica, este risco torna-se iminente, com recorrentes ataques de hacker. Ex: Apagão na Ucrânia em 2015. De modo, que:

- a) Alerta com alarmes para incidentes através de cibersegurança nas redes de energia;
- b) Rapidez na digitalização do setor (com sistemas SCADA modernos, milhões de dispositivos IoT e medidores inteligentes conectados), capaz de estender a superfície de ataque, exigindo soluções tecnológicas à altura para proteção.
- c) Integração com a ferramenta de machine learning para detecção de anomalias em tráfego de rede e no comportamento de equipamentos, verificando sinais sutis de intrusão ou malware, não observados filtros tradicionais. Funcionam 24 horas, reagindo em milissegundos a ameaças e até iniciando respostas automáticas para isolá-las.

Manutenção preditiva e previsão de falhas

Essa preocupação ocorre para manter o fornecimento de energia ininterrupto requer redes e equipamentos confiáveis – e a IA tem revolucionado a forma de realizar manutenção e inspeção preditivas no setor elétrico. Com destaque para:

- a) Antecipação de falhas e inferência em cronogramas fixos, através de algoritmos que monitoram em tempo real o “pulso” dos ativos: transformadores, linhas, subestações, turbinas, etc.
- b) Coleta de informações a partir dos sensores inteligentes que coletam dados de temperatura, vibração, tensão, corrente e muitos outros parâmetros dos equipamentos, que aprendem o comportamento normal e identificam desvios sutis que antecedem falhas – como o aquecimento anormal de um transformador ou oscilações na rotação de um aerogerador.
- c) Emissão de alertas para que equipes de manutenção intervenham antes do defeito grave ou apagão ocorrer. Estudos indicam que a manutenção preditiva pode reduzir em 30% a 50% o tempo de indisponibilidade de máquinas e ainda aumentar em 20% a 40% sua vida útil, gerando enorme economia e confiabilidade para as elétricas.

CONCLUSÃO

Ao longo do estudo, verificou-se uma expansão da IA no setor elétrico nos últimos anos, mediante o aperfeiçoamento e conversão em parte integrante de estratégia dos setores demandados. Apresentando-se como uma ferramenta indispensável para impulsionar a inovação e eficiência energética, a partir da célere análise de dados e tomada de decisões, além da capacidade de reduzir falhas e fortalecer a confiança do sistema.

Essas inovações favorecem aos objetivos de competência, através de ferramentas como e redes autônomas que possibilitam melhorar a distribuição, reduzir perdas e incorporar fontes renováveis, contribuindo diretamente para metas progressão e sustentabilidade, como as experiências exitosas da Machine Learning e Big Data, Grid Intelligence, entre outros, que demonstraram expertise para atender à demanda crescente por projetos inovadores no setor energético, inclusive em escala nacional.

Em síntese, a pesquisa confirma que a adoção dessas soluções tecnológicas como o uso da IA no Brasil, representa um avanço para a sustentabilidade do setor, ao reduzir custos, aumentar a confiabilidade e modernização da matriz elétrica brasileira. Para tanto, é preciso intensificar a inovação digital na projeção da agilidade e resiliência, além de ampliar a gestão de dados híbridos para inserção de um fluxo de compartilhamento de informações precisas, e com isto traçar caminho para um futuro energético mais inteligente, inovador e promissor.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. Plataforma Analytics - A inteligência analítica da distribuição de energia elétrica. Disponível em: https://analytics.abradee.org.br/?_gl=1*13kynwx*_ga*MTE4NTcoMzcoNC4xNzYxODcoMDko*_ga_4T75RHFRYB*czE3NjI4NzcxNDEkbzgzZzEkdDE3NjI4NzcxNTUkajQ2JGwwJGgw*_ga_oLF6VYC8GY*czE3NjI4NzcxNDIkbzgzZzEkdDE3NjI4NzcxNTUkajQ3JGwwJGgw. Acesso em: 18 mai.2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Relatório de perdas de energia elétrica no Brasil. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/relatorioseindicadores/tarifaeconomico/Relatorio_Perdas_Energia.pdf. Acesso em: 7 jul. 2025.

BHENDE, C. N.; MISHRA, S.; PANIGRAHI, B. K. Detection and classification of power quality disturbances using S-transform and modular neural network. **Electric Power Systems Research**, v. 78, n. 1, p. 122-128, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME); GIZ. **Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil**. Brasília, DF: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-lanca-estudo-sobre-uso-de-tecnologias-digitais-para-medicao-de-niveis-de-eficiencia-energetica/estudo-uso-de-novas-tecnologias-digitais-para-medicao-de-consumo-de-energia-e-niveis-de-eficiencia-energetica-no-brasil.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2025.

BRASIL ENERGIA. Sensoriamento avança nas elétricas e ganha tração com IA. . **Revista Brasil Energia**, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: https://brasilenergia.com.br/brasilenergia/novos-modelos-e-tecnologias-em-energia/sensoriamento-avanca-nas-eletricas-e-ganha-tracao-com-ia?utm_source Acesso em: 25 ago. 2025.

CANAL ENERGIA. Inteligência Artificial e Machine Learning para eliminar ‘gatos’ na rede. 1 fev. 2021. Disponível em: https://www.canalenergia.com.br/noticias/53161937/inteligencia-artificial-e-machine-learning-para-eliminar-gatos-na-rede?utm_source. Acesso em: 25 ago. 2025.

CEPEL. SOMA 2 - Sistema de Otimização da Manutenção de Ativos. [S.l.]: CEPEL, 2024. Disponível em: <https://www.cepel.br/produtos/soma-2/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

COSTA, L. César. **Eficiência energética e inteligência artificial: aplicações em sistemas elétricos**. São Paulo: Editora Atlas, 2024.

CRUZ, Pedro Ponce. **Inteligencia Artificial: Con Aplicaciones a la Ingeniería**. 1. ed. Cidade do México: Alfaomega, Grupo Editor, S.A. de C.V., 2010. ISBN 978-607-7854-83-8.

CRUZ, S. M. A. **Qualidade da energia elétrica: problemas e soluções**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

GOLDSCHMIDT, Ronaldo Ribeiro. **Uma Introdução à Inteligência Computacional: fundamentos, ferramentas e aplicações**. Rio de Janeiro: Alexander Daltio Vialli, 2010.

INVESTNEWS. Eletrobras anuncia uso de inteligência artificial em suas operações. 2025. Disponível em: https://investnews.com.br/negocios/eletrobras-inteligencia-artificial/?utm_source. Acesso em: 25 ago. 2025.

MARTINS, Maria Paula de Souza. **Inovação Tecnológica e Eficiência Energética.** 1999. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Energia Elétrica) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MISHRA, S.; BHENDE, C. N.; PANIGRAHI, B. K. Detection and classification of power quality disturbances using S-transform and probabilistic neural network. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 23, n. 1, p. 280–287, jan. 2008. DOI: 10.1109/TPWRD.2007.911125.

NETO, J. P. **Big Data e tomada de decisão:** fundamentos e aplicações em energia. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021.

TORTOISE MEDIA: O índice global de IA. Disponível em: <https://www.tortoisemedia.com/data/global-ai>. Acesso em 25 ago.2025

PIX FORCE; NEOENERGIA. A inteligência artificial pode ajudar no controle de perdas de energia? 2023. Disponível em: https://pixforce.com/pt-br/case-a-inteligencia-artificial-pode-ajudar-no-controle-de-perdas-de-energia/?utm_source. Acesso em: 25 ago. 2025.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável.** Baurueri: Manole, 2005.

REIS, L. F. R.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. H. A. **Inteligência artificial aplicada ao setor elétrico.** Rio de Janeiro: E-papers, 2005.

6326

REUTERS. Eletrobras partners with C3 AI to modernize Brazil's power grid. 18 ago. 2025. Disponível em: https://www.reuters.com/business/energy/eletrobras-partners-with-c3-ai-modernize-brazils-power-grid-2025-08-18/?utm_source. Acesso em: 11 ago.2025

ROBBA KAGAN, O.; KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

[DELOITTE]. Automação Inteligente. Disponível em: <https://www.deloitte.com/br/pt/services/consulting/services/rpa.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

[EPE]. Estudo de Plano Descenal de Expansão de Energia 2034. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico758/PDE2034_Aprovado.pdf#search=Intelig%C3%Aancia%20artificial. Acesso em: 27 out. 2025.