



XVIII Encontro Científico de Ciências Sociais Aplicadas

ÉTICA NA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

de 17 a 19 de novembro de 2025



ENERGIA SOLAR NO PARANÁ:

A evolução da geração fotovoltaica entre 2015 e 2024

Willian Samuel Teixeira Rauber

Acadêmico do Curso de Administração

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

E-mail: williansamuelrauber1@hotmail.com

Douglas André Roesler

Professor do Curso de Administração

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

E-mail: douglas.roesler@unioeste.br

Rodrigo Luiz Glesse

Professor do Curso de Administração

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

E-mail: rodrigo.glesse@unioeste.br

RESUMO: Este artigo busca analisar a evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Estado do Paraná no período de 2015 a 2024, contextualizando este desenvolvimento dentro do cenário amplo de transição energética em nível global e nacional. A pesquisa adotou uma abordagem metodológica quantitativa-exploratória, fundamentada em pesquisa documental e análise sistemática de dados secundários obtidos de fontes institucionais reconhecidas, incluindo ANEEL, IRENA, ABSOLAR e EPE. Os resultados permitiram identificar quatro fases distintas na trajetória de desenvolvimento do setor fotovoltaico paranaense: fase embrionária (2015-2017), caracterizada por capacidades instaladas inferiores a 10 MW; período de expansão (2018-2020), com crescimento superior a 10 vezes, fase de aceleração (2021-2022), marcada por incrementos que iniciaram a traçar um caminho exponencial, e o atual estágio de consolidação (2023-2024), que posicionou o estado entre os cinco maiores geradores. Os dados revelam um crescimento relevante na capacidade instalada ao longo da década, elevando o Paraná da posição marginal para o quinto lugar no ranking nacional, com 3.712 MW instalados em 2024. A análise da matriz energética demonstrou transformação estrutural, com a participação solar evoluindo de 0,002% para 4,124%, enquanto a fonte hídrica reduziu sua participação de 97,074% para 88,917%. O estudo destaca a correlação entre marcos regulatórios, especialmente as Normativas ANEEL 482/12 e 687/15 e a Lei 14.300/22, sendo crucial a segurança jurídica no desenvolvimento setorial. Conclui-se que a experiência paranaense configura um caso notável na transição energética brasileira, combinando eficientemente recursos naturais, iniciativa privada e ambiente regulatório favorável. Identificou-se, ainda, no Plano Decenal de Expansão de Energia 2034, projeções da Empresa de Pesquisa Energética, ligada ao Ministério de Minas e Energia, grande desconexão com dinamismo de mercado observado, alertando um possível despreparo federal em prever e prover infraestrutura de transmissão energética da geração descentralizada, sugerindo a necessidade de aprimoramento dos instrumentos de planejamento setorial.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica; Transição Energética; Energia Solar; Matriz Paranaense;

1 INTRODUÇÃO

A relação da humanidade com a eletricidade é antiga. Para além dos clássicos dogmas baseados em descargas meteorológicas. No Egito Antigo, por volta de 3.000 a.C, tocar o “Trovão do Nilo”, uma enguia de água doce, era aconselhado para tratamento de dores musculares, enxaquecas e até gota. Em 600 a.C, Tales de Mileto fizera notáveis observações sobre a eletricidade estática e magnetismo (FINGER; PICCOLINO, 2011). Pelo século VI a.C., no Império Arsácida, da Pérsia, as Baterias de Bagdá¹ foram, na prática, células eletroquímicas que, especula-se, eram usadas para galvanoplastia. Embora a capacidade técnica tenha sido provada por experimentos modernos, não há relatos históricos que corroborem com a teoria (VON HANDORF, 2002).

A eletricidade permaneceu como curiosidade intelectual e oculta em conhecimentos empíricos pelo menos até 1600 d.C, quando o cientista inglês William Gilbert publicou o *De Magnete*, seu estudo sobre o magnetismo e eletricidade (MORUS, 2005). Desde então, a “eletricidade” tem sido pesquisada, explicada e explorada, inclusive comercialmente, por todos os campos do conhecimento humano, desde a física aplicada à neurociência (FINGER; PICCOLINO, 2011).

Saiu do empirismo, foi motriz de engenhosidades, produziu pontuais comodidades, largas conveniências, expressivas revoluções, tornou-se paradigma e, ao que indica, será peça inalienável do futuro da civilização humana (SOVACOL; MULDER, 2020). Segue-se disto a busca cada vez maior de nações, isto é, do coletivo político, e também, dos indivíduos por garantir acesso e suprir-se deste item básico (SCHOLTEN; BOSMAN, 2016).

Este interesse ganha reforço, após a Revolução Industrial, com a classe social emergente, a burguesia, que observou a necessidade de dispor de energia para alimentar seus bens de capital. Na soma desses interessados aflorou-se as inovações. O que já se sabia sobre hidrocarbonetos fundamentou as primeiras termoelétricas. Os avanços de Newton sobre inércia, potencial cinético e gravitacional teorizaram o que viria a ser empregado em usinas hidroelétricas e eólicas. Já no século XX, meios de alta complexidade tecnológica surgem, com destaque para a nuclear e solar (SMIL, 2004)

Dentre todas, uma tem se destacado: a geração solar fotovoltaica, convertendo irradiação solar em energia elétrica. Para a International Renewable Energy Agency (IRENA), a expansão deste segmento é notável, apenas no ano de 2024 o setor cresceu 32,2%, adicionando 452 GW potenciais, elevando a capacidade instalada total para 1.865 GW em todo o mundo. Este salto fez da energia solar a que mais contribuiu, com 38,85%, com a expansão da capacidade energética instalada mundial, seguida da hidroelétrica, com 26,82%, da eólica com 23,12%, fontes não-renováveis com apenas 7,5% e outras fontes renováveis contribuído com 3,71% do acréscimo total (IRENA, 2025).

Como destaca a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), o Brasil não ficou alheio a este cenário, encerrando o ano de 2024 com o sexto maior potencial instalado em energia fotovoltaica. Atingindo a marca de 53 GW, fazendo com que crescesse, em 5 anos, 1028% frente ao pouco menos de 5 GW com os quais fechou 2019. (IRENA, 2025).

¹ Baterias de Bagdá: Artefatos arqueológicos descobertos na vila de Khujut Rabu, próxima a Bagdá, Capital do Iraque, a partir de 1936. Jarros de barro, com base feita de cobre da qual se projeta barras metálicas, que apresentam corrosão por substância eletrolítica ácida, possivelmente baseada em vinho, limão e vinagre.

Não obstante, para o mesmo período de cinco anos, o potencial fotovoltaico instalado no Paraná performou um aumento maior que dezoito vezes, 1800%, saltando de aproximadamente 176 MW, em 2019, para quase 3400 MW ao final de 2024 (ABSOLAR, 2025).

Este artigo se dispõe a verificar a evolução das instalações geradoras de energia fotovoltaica no Estado do Paraná nos últimos 10 anos. Buscando encontrar dados quantitativos sobre esta fonte de energia na série histórica proposta e a situação evolutiva atual.

Espera-se contribuir com dados sólidos, para futuras correlações, com a discussão contemporânea a volta da transição energética e suas relações ambientais e socioeconômicas. Desta forma, compondo o embasamento de decisões de investidores, formuladores de políticas públicas e comunidades.

Conjuntamente, auxiliar a comunidade de pesquisadores ao buscar, e referenciar, dados concretos sobre o tema, na expectativa de apoiar o enfoque de pesquisas acadêmicas para a produção de conteúdo relevante ao debate energético e suas relações com o meio ambiente e a sociedade, tema pertinente e cotidiano da atualidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica constitui um elemento fundamental da sociedade, desde aplicações domésticas até infraestruturas críticas (IEA, 2022). Trata-se de uma energia secundária, isto é, não abunda na natureza sem que haja transformação baseada na conversão de alguma energia primária, como a energia cinética e gravitacional retida no ar e na água, ou o potencial exotérmico oriundo, por exemplo, do carvão, do petróleo e do manto terrestre (EIA, 2021).

Deste último, o potencial térmico de combustíveis fósseis, foi movido o início da exploração elétrica. Particularmente o carvão mineral, que com a expertise sobre potência adquirida durante a primeira fase da Revolução Industrial, foi empregado em usinas termelétricas já no século XIX para produzir vapor e acionar turbinas geradoras (LAKOVIC et al, 2015). Este modelo tornou-se fundamental para a eletrificação das nações industrializadas, estabelecendo os padrões iniciais de geração centralizada de energia (FOUQUET, 2009).

O petróleo e o gás natural juntaram-se ao carvão como fontes primárias para geração de eletricidade no início do século XX, especialmente após avanços na refinação e no transporte desses combustíveis (YERGIN, 2023). A descoberta de grandes reservas petrolíferas e a expansão da infraestrutura de oleodutos e gasodutos permitiram que termelétricas a gás e óleo combustível se tornassem alternativas mais eficientes e facilitou a implantação de usinas em locais distantes de minas de carvão (MARTIN-AMOROS et al., 2019)

No entanto, a dependência de combustíveis fósseis trouxe desafios ambientais e geopolíticos que persistem até hoje (YERGIN, 2023). O impacto ambiental e a instabilidade no fornecimento devido a potenciais crises, como as do petróleo na década de 1970, levaram a uma busca por fontes mais confiáveis, estáveis e, por excelência, diminuta em poluição (MACKAY, 2008; IEA, 2018). Neste cenário emergiram duas fontes notáveis:

A hidroelétrica, até então escanteada, mas, dominada desde pelo menos 1882, quando a cidade de Appleton (EUA) começou a ser abastecida por usina proposta por Edward D. Adams (SMIL. V, 2004). Representando, em 2023, 16% da matriz elétrica global, cerca de 40% dentre as renováveis (IRENA, 2023). Sendo importante recurso para evitar as emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação do aquecimento global (BERGA, 2016); e

A termonuclear, onde a fissão atômica é utilizada para aquecer água, produzir vapor e subsequentemente mover turbinas geradoras, começaram a ser operadas na década de 50 como

oportunidade de uso civil das pesquisas bélicas na área realizadas pelos EUA e URSS (ALGERI, 2024). Representando cerca de 10% da matriz elétrica mundial, tem aumentado nos últimos anos após, principalmente, países europeus reativarem reatores em substituição a energia oriunda da Rússia, em protesto a guerra com a Ucrânia (IEA, 2022). Parte desses estavam desativados por medo e pressão popular em resposta ao incidente nuclear de Fukushima, em 2012. Espera-se, também, um aumento de aproximadamente 3% ao ano em virtude de novas usinas, especialmente na Índia e China (IEA, 2025).

Ainda com estas possibilidades menos poluentes, especialmente quando se trata do efeito estufa, já se discute sobre seus impactos indiretos e de alta escala, como a, por vezes, supressão de fauna e flora e inundação de áreas agricultáveis para a formação dos reservatórios das hidroelétricas (SCHMUTZ, MOOG, 2018). Assim como, as dificuldades no descarte de resíduos gerados ao fim da vida útil do combustível usado nas usinas nucleares (WNA, 2021).

Preocupações como estas, alinhado a crescente busca por um consumo consciente e estilo de vida diretamente sustentável, tem levado a busca por novas fontes energéticas, por excelência mais tecnológicas, que assomam não só a baixa emissão de gás de efeito estufa, mas também uma baixa pegada de carbono e o mínimo impacto ambiental de qualquer que seja a forma (MANFREN, et al, 2011). O que pode incluir também a busca pela descentralização na geração, mitigando os impactos ao, literalmente, difundir sobre um território mais amplo módulos geradores de menor escala, rompendo com o *status quo* de concentrar a geração de energia de toda uma região em poucas usinas que, na prática, acabam concentrando a volta de si um polo industrial, o que torna mais complexo a cautela ambiental (SCHOLTEN, BOSMAN, 2016).

2.1.1 Geração Solar Fotovoltaica

Dentre as formas já possuídas para pôr este conjunto de requisitos em prática, a geração solar fotovoltaica tem sido um grande destaque nos últimos anos, sendo a fonte de energia elétrica que mais cresceu nos últimos cinco anos, tanto em proporção, quanto em números absolutos. Em 2024, por exemplo, 38,25% de toda a capacidade de geração elétrica adicionada foi de origem fotovoltaica (IRENA, 2025).

Na geração fotovoltaica a energia é gerada quando, dentro das placas, duas peças de silício tratadas, uma com elétrons excedentes e outra com faltantes, são induzidas pelos fótons solares, fazendo com que os elétrons se agitem entre ambas as peças de silício, sem que encontrem um ponto de equilíbrio. Desta movimentação de elétrons é gerada uma corrente elétrica, que é captada e canalizada para fora do sistema (NELSON, 2003).

Importante salientar a existência de outra forma de geração solar, a termossolar, onde a alta tecnologia é substituída por placas de materiais reflexivos, que atuam como espelhos e catalisam a luz solar em direção a um ponto específico, no qual a mesma aquecerá a água e o vapor moverá turbinas convencionais, como nas termoeletricas. É pouco usual, pois demanda condições climáticas específicas, e toma uma escala que a favorece somente para geração centralizada, usinas modelos começam a surgir na China, EUA, Israel e no Chile, levantadas no deserto do Atacama (IRENA, 2022).

2.2 GERAÇÃO CENTRALIZADA E DESCENTRALIZADA

A geração de energia elétrica pode ser organizada de duas formas principais: centralizada e descentralizada. Na geração centralizada, grandes usinas produzem energia em pontos específicos, tendo como principais agentes as concessionárias de energia (estatais ou privadas) e empresas geradoras tradicionais. Já na geração descentralizada, a produção ocorre

próxima ou no próprio local de consumo, através de fontes menores e diversas, tendo como principais agentes consumidores residenciais, comerciais e industriais e pequenos produtores locais (TOLMASQUIM, et al 2016)

A geração centralizada é o modelo tradicional e dominante na maioria das redes elétricas globais, caracterizando-se pela produção de energia em larga escala em unidades geradoras únicas ou poucos complexos de grande porte, localizados muitas vezes distantes dos centros de consumo. Esta energia é então transmitida por extensas redes de alta tensão até chegar às redes de distribuição de média e baixa tensão, que finalmente a levam aos consumidores finais (TAGELTIJA, et al, 2017).

É eficiente ao explorar a economia de escala e gestão centralizada unificada, mas apresenta desvantagens significativas, como: vulnerabilidade a falhas, sequer, sistêmicas que podem causar apagões extensos, perdas elétricas durante a transmissão, impacto ambiental localizado, demanda por infraestrutura de transmissão, além de tornar a oferta energética menos resiliente frente a desastres naturais ou eventos extremos pontuais (ARULAMPALAM, SAHA, 2010).

Em contrapartida, a geração descentralizada (GD) distribui a produção por inúmeras fontes menores, localizadas próximas aos consumidores ou, mesmo, integradas a eles. Engloba tecnologias como painéis solares fotovoltaicos em telhados, pequenas turbinas eólicas, micro-hidroelétricas e até geradores a biomassa ou biogás (FERREIRA, 2014). A energia pode ser usada no local, injetada na rede de distribuição ou armazenada. Oferece vantagens consideráveis, sendo notável o aumento da resiliência da rede, redução significativa das perdas na transmissão e distribuição, diversificação da matriz energética, maior inserção de renováveis, impacto ambiental dissolvido e mitigado no espaço físico (BAJAY, et al. 2018)

No entanto, conforme Ferreira (2014), também apresenta desvantagens: custos iniciais ainda são elevados para pequenos consumidores, desafios técnicos para integração massiva na rede existente e complexidade na gestão operacional da rede.

Desta forma, tanto a geração centralizada quanto a descentralizada são modelos essenciais e complementares para o sistema elétrico moderno (EPE, 2023). A centralizada mantém seu papel na oferta de energia de base e em grande escala, enquanto a descentralizada cresce rapidamente, impulsionada por renováveis e tecnologia, trazendo resiliência, eficiência local e empoderamento do consumidor. O futuro próximo tende a um sistema híbrido e inteligente, onde ambas coexistem e se integram, aproveitando as vantagens de cada modelo para construir uma rede elétrica mais robusta e sustentável (PANHWAR, et al, 2022).

O referencial teórico percorreu a evolução dos modelos de geração de energia, desde o paradigma centralizado baseado em combustíveis fósseis e grandes hidrelétricas até o surgimento das fontes renováveis modernas, com ênfase na tecnologia solar fotovoltaica. Abordou a distinção conceitual entre geração centralizada e distribuída, destacando como a solar fotovoltaica emerge como tecnologia capaz de operar em ambas as modalidades, impulsionada por avanços tecnológicos, redução de custos e pressões socioambientais, fornecendo a base para analisar a expansão desta fonte no Paraná.

3 METODOLOGIA

A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa-exploratória, fundamentada em pesquisa documental e bibliometria. Esta orientação metodológica permite investigar sistematicamente a evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no Paraná, utilizando exclusivamente dados secundários de fontes institucionais e literatura acadêmica para análise. O período analisado compreende os anos de 2015 a 2024, oferecendo uma

perspectiva decenal que possibilita identificar padrões e tendências significativas no desenvolvimento da energia solar no estado.

As fontes de dados foram selecionadas conforme sua relevância e autoridade no setor energético. Para dados quantitativos, recorreu-se a instituições como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), a Agência Internacional de Energia (IEA), a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Essas fontes fornecem registros oficiais e dados consolidados que permitem uma análise da capacidade instalada em escala estadual. Complementarmente, a literatura acadêmica foi acessada através de bases indexadas, como Scopus, Web of Science, SciELO, SPELL e ResearchGate.

A variável central da pesquisa consiste na capacidade instalada de energia fotovoltaica, expressa em megawatts (MW), que representa a potência acumulada dos sistemas solares no território paranaense. Esta variável foi operacionalizada através da coleta direta dos valores registrados anualmente nas fontes institucionais tanto civis, quanto estaduais, nacionais e, mesmo, internacionais, mencionadas anteriormente.

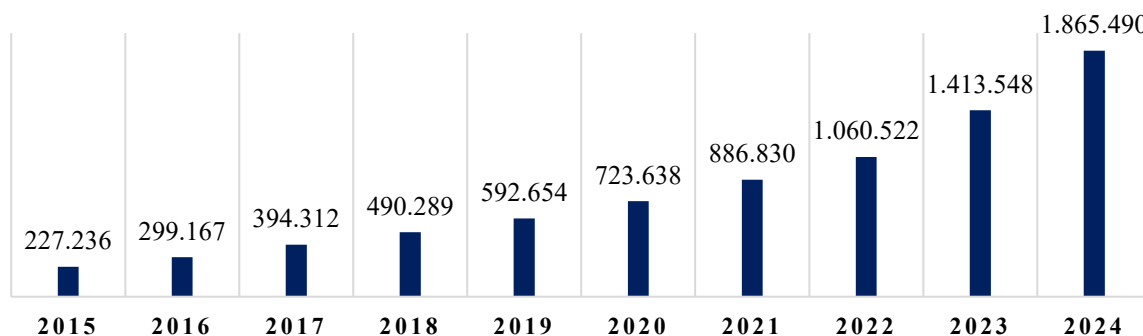
As técnicas de coleta seguiram protocolos distintos conforme a natureza das fontes. Para dados institucionais, realizou-se extração direta dos portais oficiais, aplicando filtros específicos para delimitar a localização ao estado do Paraná, a tecnologia à solar fotovoltaico, e o período ao intervalo de 2015 a 2024. Na literatura acadêmica, empregou-se estratégia de busca estruturada, utilizando termos: ("*solar energy*" OR "*photovoltaic*") AND ("*installed capacity*"). Posteriormente empregando, em conjunto aos anteriores, o termo AND ("*Paraná*" OR "*Brazil*").

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CENÁRIO GLOBAL

Conforme dados da International Renewable Capacity Statistics, compilados no *Gráfico 1*, referentes ao período de 2015 a 2024, há uma trajetória de crescimento constante da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo.

GRÁFICO 1 – ENERGIA FOTOVOLTAICA - MUNDO
CAPACIDADE INSTALDA (EM MW)



Fonte: Relatório INTERNATIONAL RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2025 (IRENA, 2025)

Como ilustrado pela série histórica, a potência global saltou de 227.236 MW em 2015 para 1.865.490 MW em 2024, o que representa um incremento absoluto de 1.638.254 MW em uma década. Para além do crescimento absoluto, a análise da taxa de crescimento anual evidencia um dinamismo constante. O período não registrou nenhum ano de contração, com os

saltos mais expressivos em termos percentuais ocorrendo, sobretudo, na segunda metade da série, particularmente entre 2022 e 2023, quando a capacidade global aumentou 33,28% (de 1.060.522 MW para 1.413.548 MW), e entre 2023 e 2024, com um crescimento acelerado de 31,97% (para 1.865.490 MW).

Tal aceleração pode ser atribuída a um conjunto de fatores convergentes, como:

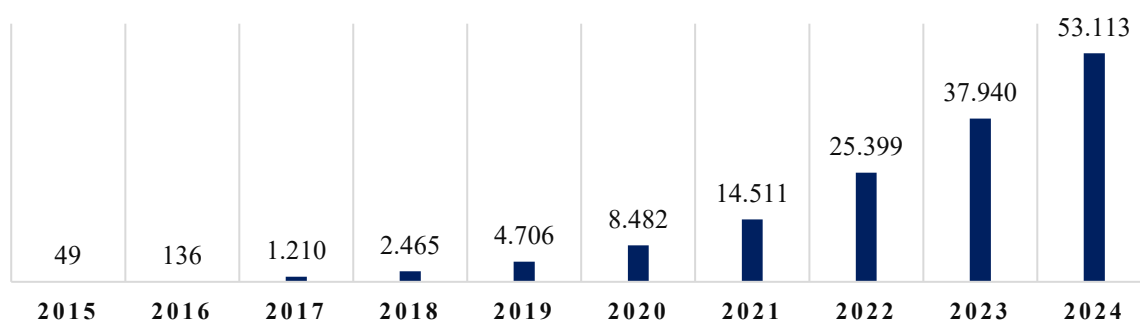
- *Redução de Custos*: A contínua queda no preço dos painéis fotovoltaicos e dos componentes do sistema, intensificada pelas economias de escala e avanços tecnológicos;
- *Políticas Públicas*: A implementação de marcos regulatórios favoráveis, subsídios e leilões de energia renovável por diversos países;
- *Pressões Geopolíticas e Ambientais*: A busca por segurança energética e os compromissos de descarbonização assumidos no Acordo de Paris, que tornaram a fonte solar uma alternativa estrategicamente vital.

Este panorama global consolida a energia fotovoltaica não mais como uma alternativa promissora, mas como uma realidade central e dominante na expansão da matriz elétrica mundial. A transição do crescimento linear para um padrão exponencial a partir de 2020 sugere que a fonte atingiu um ponto de inflexão, onde sua competitividade econômica passou a impulsionar sua adoção em massa.

4.2 CENÁRIO BRASILEIRO

A análise dos dados nacionais revela uma trajetória ainda mais explosiva que a observada no panorama global. Como ilustrado pelo Gráfico 2, a capacidade instalada no país evoluiu de um patamar ainda incipiente de 49 MW em 2015 para a expressiva marca de 53.113 MW em 2024. Este crescimento de mais de 108.000% em uma década é um fenômeno notável e pode ser decomposto em duas fases principais.

GRÁFICO 2 – ENERGIA FOTOVOLTAICA - BRASIL
CAPACIDADE INSTALADA (EM MW)



Fonte: Relatório *INTERNATIONAL RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2025* (IRENA, 2025)

Fase 1 – (2017-2020): A partir de 2017, observa-se uma primeira aceleração significativa, com a capacidade saltando de 136 MW para 8.482 MW ao final de 2020. Este movimento coincide com a consolidação da geração distribuída, impulsionada pela Resolução Normativa 687/2015 (que ampliou as regras da REN 482/2012) e pela crescente competitividade econômica da tecnologia perante as tarifas de energia elétrica.

Fase 2 – (2021-2024): A partir de 2021, a curva de crescimento assume uma inclinação ainda mais pronunciada, com a capacidade mais do que triplicando entre 2021 (14.511 MW) e 2024 (53.113 MW). Este período reflete a maturação do mercado, com a entrada em operação de grandes usinas centralizadas (fruto de leilões anteriores) e, principalmente, a expansão

massiva da geração distribuída, possivelmente incentivada pela crise hídrica do início da década, que elevou os preços da energia, e pela corrida de consumidores para instalar seus sistemas antes da entrada em vigor da Lei 14.300/2022, que estabeleceu o marco legal do setor.

4.2.1 Análise Comparativa com o Cenário Global

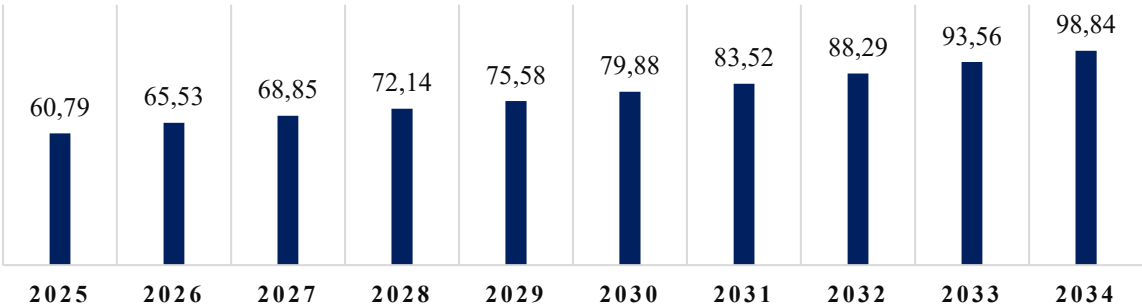
Enquanto o mundo cresceu aproximadamente 720% no período (de 227 GW para 1.865 GW), o Brasil expandiu sua capacidade em 108.000%. Essa disparidade percentual evidencia que o país partiu de uma base muito pequena, mas também destaca a velocidade com que internalizou a tecnologia. Em termos de ranking, o Brasil saltou de uma posição irrelevante para se consolidar entre os 6 primeiros países com maior capacidade instalada do mundo em 2024, conforme apontado pela IRENA (2025).

Este desempenho excepcional consolida a fonte fotovoltaica como pilar da diversificação da matriz elétrica brasileira, contribuindo para a segurança energética e a sustentabilidade. A trajetória nacional não apenas acompanhou a tendência global, mas, em termos de taxa de crescimento, a superou em larga escala, demonstrando a existência de um mercado vigoroso e com potencial ainda a ser explorado. –

4.2.2 Análise das Projeções do Plano Decenal

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (EPE, 2025) projeta um crescimento contínuo para a fonte fotovoltaica, prevendo que a capacidade instalada nacional avance dos atuais 53.113 MW (2024) para aproximadamente 98.840 MW em 2034, como ilustrado no *Gráfico 3*. Esta projeção consolida a energia solar como um pilar estratégico de longo prazo na matriz elétrica brasileira, sinalizando confiança e planejamento para investidores.

**GRÁFICO 3 – ENERGIA FOTOVOLTAICA - BRASIL
PREVISÃO PARA O PRÓXIMO DECÊNIO (EM MW)**



Fonte: Consolidação do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (EPE, 2025)

Contudo, uma análise crítica revela que a trajetória linear de crescimento proposta pela EPE parece conservadora e desconectada da dinâmica exponencial recente do setor. O plano projeta um acréscimo médio de cerca de 4.500 MW/ano, patamar significativamente inferior ao salto de mais de 15.000 MW verificado apenas entre 2023 e 2024. Essa disparidade levanta questionamentos sobre se as previsões oficiais podem estar subestimando fatores aceleradores, como a contínua redução de custos da tecnologia, a pressão por descarbonização e o potencial de inovações no segmento de armazenamento.

Desta forma, a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), estatal a serviço do Ministério de Minas e Energia, por tanto, o próprio Ministério, responsável pelo planejamento do sistema elétrico nacional, podem estar sob risco de despreparo frente uma expansão mais acelerada e

robusta, como a série histórica indica, de geração elétrica fotovoltaica sendo injetada no sistema.

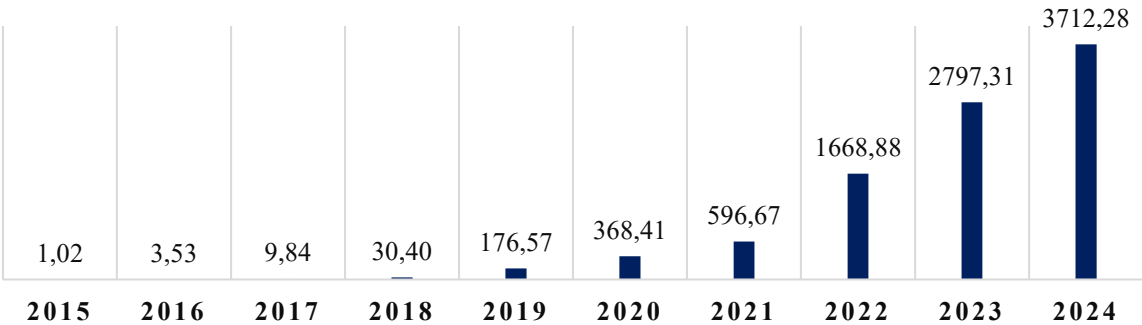
4.3 CENÁRIO PARANAENSE

A análise da série histórica de 2015 a 2024, como ilustrado no *Gráfico 4*, revela que o Paraná se consolidou como um caso notável na implementação da energia fotovoltaica, mesmo frente aos altos indicadores de crescimento traçados a nível internacional e nacional. Sua trajetória pode ser compreendida em quatro fases distintas, cada uma marcada por dinâmicas específicas de crescimento e, crucialmente, por marcos regulatórios que moldaram o desenvolvimento do setor.

A fase embrionária (2015-2017) caracterizou-se pela geração irrisória, capacidade inferior a 10 MW, onde a tecnologia solar iniciava sua inserção na matriz estadual. Este período foi fundamentalmente impulsionado pela Resolução Normativa ANEEL 482/2012, que estabeleceu o sistema de compensação de energia (net metering), criando as bases técnicas e jurídicas para a geração distribuída. A segurança jurídica proporcionada por este marco permitiu os primeiros investimentos, ainda que tímidos, no estado.

Um período de expansão (2018-2020), que registrou um crescimento de mais de 11 vezes no período, com a capacidade instalada superando 100 MW, ainda em 2019, e chegando em 368,41 MW ao final de 2020. Esta fase coincidiu com a consolidação da RN 687/2015, que ampliou as 15 possibilidades de empreendimentos de geração distribuída, e com o início de políticas estaduais paranaenses de incentivo. A regulamentação trouxe previsibilidade, atraindo investidores e permitindo o surgimento de uma cadeia local de fornecedores. Outro fator relevante no período foi o início do fenômeno La Niña, que iniciou um período de estiagem relevante para a matriz hídrica regional, levando a investimentos alternativos, como o investimento na matriz solar e a reativação de usinas termoeletricas.

GRÁFICO 4 – ENERGIA FOTOVOLTAICA - PARANÁ
CAPACIDADE INSTALADA (EM MW)



Fonte: Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2025)

Já entre 2021 e 2022, ocorreu uma larga aceleração, saindo dos 370 MW no início do ano de 2021 para quase 1700 MW ao final de 2022. Culminando na entrada do Paraná no ranking dos seis maiores geradores solares do país. Dois fatores foram determinantes: a crise hídrica provocada pelo La Niña havia se agravado, evidenciando a urgência da diversificação matricial, e a tramitação da Lei 14.300/2022, que estabeleceu o marco legal da geração distribuída. A expectativa de mudanças no marco regulatório criou um "rush" de instalações antes da transição de regras, demonstrando como a segurança jurídica impacta diretamente o ritmo de expansão.

A atual fase, de consolidação (2023-2024), tem sido marcada por crescimento robusto em base instalada, com o estado estabilizando-se entre os cinco maiores do Brasil na geração

fotovoltaica. A implementação da Lei 14.300/2022, apesar de inicial controvérsia, trouxe nova segurança jurídica ao setor, estabelecendo regras de transição claras e abrindo caminho para novos modelos de negócio, como a geração compartilhada.

4.3.1 Evolução da Matriz e Transição Energética

A matriz energética paranaense passou por transformação estrutural significativa na última década. Como ilustrado na *Tabela 1*, a fonte hídrica, embora ainda predominante, viu sua participação relativa reduzir-se de 97,1% para 88,9% entre 2015 e 2024, representando queda de 8,2 pontos percentuais.

Este movimento foi contrabalanceado pelo crescimento expressivo da fonte solar, que evoluiu de participação marginal de 0,002% para patamar relevante de 4,124% no mesmo período. O avanço do solar coincidiu com movimento de substituição energética, sendo acompanhado pela redução da participação das termoeletricas, ativadas frente a crise hídrica.

Tabela 1 - Composição da Matriz Energética Paranaense 2015-2024

Ano	~%Hidráulica	~%Solar	~%Térmica	~%Outras fontes
2015	97.074%	0,002%	2.924%	-
2016	96.095%	0,003%	3.863%	0.039%
2017	94.882%	0,010%	5.087%	0.021%
2018	94.602%	0,032%	5.346%	0.020%
2019	93.436%	0,216%	6.294%	0.054%
2020	89.432%	0,551%	9.968%	0.049%
2021	88.423%	0,857%	10.687%	0.033%
2022	90.859%	1,941%	7.160%	0.040%
2023	91.531%	2,900%	5.551%	0.018%
2024	88.917%	4,124%	6.922%	0.037%

Fonte: Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2025)

4.3.2 Comparativos com Outros Estados

No contexto nacional, o Paraná posiciona-se de forma destacada, encerrando 2024 como o quinto maior gerador de energia solar do país, com capacidade instalada de 3.712 MW (5,3% do total nacional). Esta performance consolida o estado como líder na Região Sul, superando Rio Grande do Sul (3.672 GWh) e Santa Catarina (1.593 GWh).

Tabela 2 - Ranking dos Maiores Geradores Solares - 2024

Posição	Estado	Capacidade Instalada	%Nacional
1º	Minas Gerais	16.433,18 MW	23,3%
2º	São Paulo	7.697,73 MW	10,9%
3º	Bahia	6.738,74 MW	9,5%

4º	Piauí	4.189,77 MW	5,9%
5º	Paraná	3.712,28 MW	5,3%
6º	Rio Grande do Sul	3.672,28 MW	5,2%

Fonte: Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2025)

Este desempenho superou estados tradicionalmente associados ao potencial e alta irradiação solar, como Ceará e Rio Grande do Norte, demonstrando que o Paraná soube potencializar suas vantagens e capacidades logísticas, tecnológicas e de investimento, frente à crise e incertezas jurídicas.

4.3.3 Impactos Regulatórios e Perspectivas Futuras

A experiência paranaense evidencia o papel crucial da segurança jurídica no desenvolvimento do setor energético. Cada fase de crescimento coincidiu com avanços normativos que proporcionaram previsibilidade aos investidores. A estabilidade regulatória permitiu o planejamento de longo prazo e a atração de capitais necessários para a expansão da capacidade instalada.

Para a próxima década, medidas regulatórias em discussão poderão moldar nova fase de desenvolvimento. A regulamentação de mercados de energia descentralizados, a implementação de leilões específicos para fontes renováveis complementares e a criação de frameworks para armazenamento energético representam oportunidades para consolidar a transição energética em curso.

A manutenção da segurança jurídica será fundamental para enfrentar desafios emergentes, como a integração da geração distribuída em larga escala e a modernização das redes de distribuição. O arcabouço regulatório futuro deverá equilibrar incentivos à expansão com a sustentabilidade econômico-financeira do sistema.

Com base na tendência histórica e considerando a evolução regulatória, projeta-se que a participação solar na matriz paranaense poderá alcançar patamares entre 12% e 15% até 2030. O caso paranaense demonstra que a combinação entre recursos naturais, empreendedorismo do setor privado e marco regulatório estável constitui fórmula exitosa para a transição energética, posicionando o estado como referência nacional em políticas energética sustentáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou analisar a evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Estado do Paraná no período de 2015 a 2024, contextualizando-a dentro das tendências global e nacional. Os resultados demonstram uma trajetória notável de transformação da matriz energética estadual, caracterizada por um crescimento exponencial e diversificação de fontes, embora a matriz hídrica ainda seja inalienável.

A análise confirmou que o Paraná se consolidou como um caso de sucesso na transição energética brasileira. O estado evoluiu de uma capacidade instalada insignificante, pouco maior que 1 MW em 2015, para atingir a marca de 3.712 MW em 2024, posicionando-se como o quinto maior produtor nacional de energia solar.

A transição energética paranaense revelou-se um processo estruturado em quatro fases distintas: embrionária (2015-2017), expansão (2018-2020), aceleração (2021-2022) e consolidação (2023-2024). Cada fase foi marcada por dinâmicas específicas de crescimento e, crucialmente, por marcos regulatórios que moldaram o desenvolvimento do setor. A segurança jurídica proporcionada por instrumentos como a Resolução Normativa ANEEL 482/2012, a RN

687/2015 e a Lei 14.300/2022 mostrou-se fundamental para atrair investimentos e garantir a previsibilidade necessária ao planejamento de longo prazo.

A análise da composição da matriz energética evidenciou uma mudança estrutural. A fonte hídrica, embora ainda predominante, reduziu sua participação de 97,074% para 88,917% entre 2015 e 2024, enquanto a solar evoluiu de participação marginal (0,002%) para patamar relevante (4,124%) no mesmo período. Um movimento que contribui para aumentar a resiliência do sistema elétrico estadual frente a eventos climáticos extremos e, especialmente, crises hídricas.

No contexto nacional, o desempenho paranaense destaca-se não apenas pelo volume absoluto, mas pela capacidade de superar estados com condições naturais mais favoráveis, demonstrando que fatores institucionais, logísticos e de segurança jurídica podem ser tão determinantes quanto o potencial solar natural.

Um contraponto relevante emergiu, durante a análise de dados de nível nacional, ao contrastar a trajetória esperada de crescimento da energia solar com as projeções oficiais do governo federal. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (PDE) projetou para o Brasil um crescimento linear e conservador desta fonte, partindo de aproximadamente 54 GW em 2024 para cerca de 99 GW em 2034. Esta projeção demonstra notável descuido frente ao dinamismo observado no setor onde o crescimento exponencial e as taxas médias anuais de crescimento de 30% evidenciam uma realidade mais acelerada que o planejado. Esta desconexão entre projeções e realidade operacional pode implicar em inadequações no planejamento da infraestrutura de transmissão e na segurança energética nacional.

As projeções baseadas na tendência histórica indicam que a participação solar na matriz paranaense poderá alcançar patamares entre 12% e 15% até 2030. Para tanto, será essencial a manutenção de um ambiente regulatório estável, com avanços em temas como mercados de energia descentralizados, frameworks para armazenamento energético e modernização das redes de distribuição.

O caso paranaense demonstra que a combinação entre recursos naturais, empreendedorismo do setor privado e marco regulatório estável constitui fórmula exitosa para a transição energética. Esta experiência oferece valiosas lições para outras unidades federativas e consolida o Paraná como referência nacional em políticas energéticas sustentáveis, contribuindo para a segurança energética e a sustentabilidade na economia brasileira.

Conclui-se que o objetivo geral proposto - verificar a evolução das instalações geradoras de energia fotovoltaica no Estado do Paraná no período 2015-2024 - foi plenamente alcançado, produzindo um diagnóstico abrangente que confirma não apenas o crescimento quantitativo, mas a consolidação qualitativa da fonte solar como pilar estratégico na expansão da matriz estadual.

Este estudo abre caminho para diversas investigações futuras, incluindo: (a) análises aprofundadas sobre a distribuição mesorregional da capacidade instalada dentro do território paranaense; (b) estudos sobre os impactos socioeconômicos da expansão solar, incluindo geração de emprego e renda; (c) pesquisas sobre a integração entre geração distribuída e centralizada; (d) investigações sobre a complementaridade entre fontes renováveis no estado; (e) análises comparativas com casos internacionais de transição energética em regiões com características similares; e (f) pesquisas que se proponham a elaborar previsões de expansão para o setor mais aderentes a realidade observada. Tais pesquisas poderão aprofundar o entendimento sobre os desafios e oportunidades da expansão solar, contribuindo para o contínuo avanço do setor energético brasileiro.

REFERÊNCIAS

- FINGER, S.; PICCOLINO, M. **The Shocking History of Electric Fishes: From Ancient Epochs to the Birth of Modern Neurophysiology**. New York: Oxford University Press, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/288395685_The_Shocking_History_of_Electric_Fishes_From_Ancient_Epochs_to_the_Birth_of_Modern_Neurophysiology. Acesso em 01/06/2025.
- VAN HANDORF, D.E. **The Baghdad Battery** - Myth or Reality?. Surface Technology Environmental Resource Center: Plating & Surface Finishing Magazine. 2002. Disponível em: <https://www.nmfr.org/pdf/psf2002/050284.pdf>. Acesso em 01/06/2025.
- MORUS, I. R. **When Physics Became King**. Chicago: University of Chicago Press, 2005. Disponível em: <https://dokumen.pub/when-physics-became-king-9780226542003.html>. Acesso em 01/06/2025
- SOVACOOOL, B. K.; MULDER, K. **Energy and Society: A Critical Perspective**. Energy Research & Social Science, v. 65, p. 101, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101462>. Acesso em 01/06/2025.
- SCHOLTEN, D; BOSMAN, R. **The geopolitics of renewables**; exploring the political implications of renewable energy systems. Technological Forecasting and Social Change. 2016. Disponível em: https://pure.tudelft.nl/ws/files/6529346/The_Geopolitics_of_Renewables_revised_postprint.pdf. Acesso em: 01/06/2025.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). **RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2025**. Portal IRENA. (2025) Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf. Acesso em: 19/05/2025.
- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Brasil é 6º colocado no ranking global de energia solar de 2024**. Portal ABSOLAR (2025). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-e-6o-colocado-no-ranking-global-de-energia-solar-de-2024/>. Acesso em 19/05/2025.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2024**. Portal EPE (2024). Disponível em: dashboards.epe.gov.br/apps/livro-ben. Acesso em 20/05/2025.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. (2025) Portal EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/dados-abertos/dados-do-anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em 20/05/2025.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Dados Abertos do Painel de Consolidação do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034**. Portal EPE (2025). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/dados-abertos/dados-abertos-do-painel-de-consolidacao-do-plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>. Acesso em 20/05/2025
- SMIL, VACLAR. **World History and Energy**. Encyclopedia of Energy, v. 1, p. 549-561. 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281211353_World_History_and_Energy. Acesso em 08/06/2025.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Nuclear Power and Secure Energy Transitions**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>. Acesso em: 27/06/2025.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity 2025**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>. Acesso em: 27/06/2025.

ALGERI, Carla. **Energia nuclear: perigo ou alternativa sustentável?**. IFSC Verifica. Instituto Federal de Santa Catarina, 2024. Disponível em: https://www.ifsc.edu.br/web/ifsc-verifica/w/energia-nuclear-perigo-ou-alternativa-sustentavel-?p_1_back_url=%2Fsearch%3Fq%3DEnergia%2Bnuclear. Acesso em: 27/06/2025

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **How Electricity is Generated**. Washington: EIA, 2021. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php>. Acesso em 23/06/2025.

LAKOVIC, M et al. **Coal-Fired Power Plants: Energy Efficiency and Climate Change-Current State and Future Trends**. Working and Living Environmental Protection Vol. 12, p 217-227. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299600314>. Acesso em: 24/06/2025.

FOUQUET, R. **Heat Power and Light: Revolutions in Energ Services**. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291576823>. Acesso em 24/06/2025.

MARTIN-AMOROS, P. et al. **Thermal Power Plants: Evolution and Environmental Impact**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 112, p. 170-183, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews/vol/112/suppl/C>. Acesso em: 24/06/2025

MACKAY, D.J. **Sustainable Energy Without the Hot Air**. UIT Cambridge. 2008. Disponível em: <http://www.dspace.cam.ac.uk/handle/1810/217849>. Acesso em 24/06/2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Role of Coal in Electricity Generation**. Paris: IEA, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/coal-2018>. Acesso em 24/06/2025.

YERGIN, Daniel. **O Novo Mapa: Energia, Clima e o Conflito entre Nações**. Porto Alegre: Bookman, 2023. E-book. p.i. ISBN 9788582606018. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582606018/>. Acesso em: 24/06/2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **The changing role of hydropower: Challenges and opportunities**. IRENA, Abu Dhabi. 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/The-changing-role-of-hydropower-Challenges-and-opportunities>. Acesso em 26/06/2025.

BERGA, Luis. **The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: a Review**. Engineering, v 2, issue 3, p 313-318. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.004>. Acesso em: 25/06/2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 23/06/2025.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **Radioactive Waste Management**. Londres: WNA, 2021. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/>. Acesso em: 15/07/2025.

SCHMUTZ, S; MOOG, O. **Dams: Ecological Impacts and Management**. Riverine Ecosystem Management. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325026730>. Acesso em: 15/07/2025.

SCHOLTEN, D.; BOSMAN, R. **The geopolitics of renewables: exploring the political implications of renewable energy systems**. Technological Forecasting and Social Change, v. 103, p. 273-283, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.015>. Acesso em: 15/07/2025.

IRENA (International Renewable Energy Agency). **Concentrating Solar Power: Technology Brief**. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 15/07/2025.

NELSON, J. *The Physics of Solar Cells*. Londres: Imperial College Press, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259282595> .Acesso em: 15/07/2025.

MANFREN, et al. **Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models**. Applied Energy. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223002997> .Acesso em: 16/07/2025.

TOLMASQUIM, M. T. **Geração Distribuída no Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 16/07/2025.

BAJAY, et al. **Geração distribuída e eficiência energética: reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. 1ª Edição. Campinas: 2018. Disponível em: <https://iei-brasil.org/wp-content/uploads/2018/01/Gera%C3%A7%C3%A3o-distribu%C3%ADa-e-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-Reflex%C3%B5es-para-o-setor-el%C3%A9trico-de-hoje-e-do-futuro.pdf>. Acesso em: 18/07/2025.

FERREIRA, L. A. **Micro e Mineeração Distribuída: Aspectos técnicos e econômicos de sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/bitstreams/320c5810-64c1-477e-9324-29ee7c7700d4>. Acesso em: 18/07/2025.

ARULAMPALAM, A; SAHA, T. **Power System Blackouts** - Literature review. IEEE Xplore: Industrial and Information Systems. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224124150> . Acesso em: 19/07/2025.

TAGELTIJA, et al. **Risk Management: challenges in large-scale energy**. The 9th IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems. 2017. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/317337219>. Acesso em: 19/07/2025.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. Portal EPE: 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032>. Acesso em 20/07/2025.

PANHWAR, et al. **Integration of Renewable Energy: Present and Future Energy Systems**. Tsinghua University: 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/365891029> Acesso em: 20/07/2025.