

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO

SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS, SESA

CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, DECON

ALDO PRZYBYSZ

**A CONCENTRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO
PARANÁ: uma análise regional com ênfase em fontes renováveis**

**Guarapuava/PR
2025**

ALDO PRZYBYSZ

**A CONCENTRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO
PARANÁ: uma análise regional com ênfase em fontes renováveis**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof.: Dr. Amarildo Hersen.

**Guarapuava/PR
2025**

ALDO PRZYBYSZ

**A CONCENTRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO
PARANÁ: uma análise regional com ênfase em fontes renováveis**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Amarildo Hersen
Orientador

Prof. Dr. Vinícius Borba da Costa
Examinador 1

Prof. Dr. Claucir Roberto Schmidtke
Examinador 2

Aprovado em: 2025

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de sabedoria e força, por me sustentar em cada etapa desta jornada.

Ao Professor Dr. Amarildo Hersen, pela valiosa orientação, pela paciência, dedicação e companheirismo demonstrados ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, bem como pelo constante compartilhamento de seu conhecimento e experiência.

Ao meu pai (in memoriam), pela força, pelos valores e pelos ensinamentos que continuam guiando meus passos.

À minha mãe, por seu amor incondicional, apoio e incentivo em todos os momentos desta caminhada.

A minha Esposa Crislaine, pelo carinho, compreensão e afeto em todos os momentos.

Ao meu filho Pedro Eduardo, pelas brincadeiras, carinho e momentos de descontração compartilhados juntos.

Aos professores do departamento do curso pelo empenho, dedicação e compromisso em compartilhar conhecimento, contribuindo de forma essencial para minha formação acadêmica e pessoal.

A todos os colegas do curso e da instituição.

Ao departamento de Ciências Econômicas.

A Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO.

A todos os funcionários, professores e amigos da UNICENTRO que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos os funcionários, professores e amigos da UTFPR - Câmpus Guarapuava que indiretamente contribuíram de alguma forma.

“Investir em conhecimento sempre rende os melhores juros.”

Benjamin Franklin.

RESUMO

A necessidade de gradativamente substituir as unidades de geração de energia elétrica baseadas em combustíveis fósseis por fontes renováveis decorre, sobretudo, dos impactos ambientais associados ao modelo tradicional. O Paraná é o principal estado a responder positivamente na relação Geração Centralizada (GC) em geração de energia elétrica através de fontes renováveis. Sendo parte dessa geração realizada através das fontes hídrica, solar e biomassa. Diante do cenário descrito, o presente trabalho tem por objetivo identificar o nível de concentração, por origem (fonte), da geração de energia elétrica centralizada no estado do Paraná. Para tanto, a metodologia da pesquisa utiliza, são os indicadores como Coeficiente de Localização (CL) e Índice de Hirschman-Herfindahl (IHH). Os resultados evidenciam que o Paraná apresenta uma matriz energética predominantemente renovável (89%), com destaque para a fonte hidráulica, seguida pela biomassa e, em menor escala, solar. As Regiões Geográficas Intermediárias de Cascavel e Guarapuava se destacam pela elevada capacidade instalada em usinas hidrelétricas, enquanto Maringá e Londrina concentram-se na geração a partir da biomassa da agroindústria canavieira. A região de Ponta Grossa mostra forte presença da biomassa florestal, relacionada ao setor de papel e celulose, e na Região de Curitiba existe a concentração de fontes hídricas e fóssil. Conclui-se que fontes hídrica e eólica apresentaram baixo grau de concentração, refletindo maior dispersão territorial, a solar tem concentração intermediária, e as fontes fóssil e biomassa apresentam elevados níveis de concentração.

PALAVRAS-CHAVE: Economia regional; recursos renováveis; energia elétrica.

ABSTRACT

The need to gradually replace fossil fuel-based electricity generation units with renewable sources stems primarily from the environmental impacts associated with the traditional model. Paraná is the leading state to respond positively in the Centralized Generation (CG) ratio in electricity generation through renewable sources. Part of this generation is carried out through hydroelectric, solar, and biomass sources. Given this scenario, this work aims to identify the level of concentration, by origin (source), of centralized electricity generation in the state of Paraná. To this end, the research methodology uses indicators such as the Location Coefficient (LC) and the Hirschman-Herfindahl Index (HHI). The results show that Paraná has a predominantly renewable energy matrix (89%), with emphasis on hydroelectric sources, followed by biomass and, to a lesser extent, solar. The Intermediate Geographic Regions of Cascavel and Guarapuava stand out for their high installed capacity in hydroelectric plants, while Maringá and Londrina focus on generation from biomass from the sugarcane agro-industry. The Ponta Grossa region shows a strong presence of forest biomass, related to the paper and pulp sector, and the Curitiba region has a concentration of both hydroelectric and fossil fuel sources. It is concluded that hydroelectric and wind power sources showed a low degree of concentration, reflecting greater territorial dispersion; solar power has an intermediate concentration; and fossil fuel and biomass sources show high levels of concentration.

KEYWORDS: Regional economy; renewable resources; electrical energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Energia	11
2.1.1 Fontes não renováveis de energia	16
2.1.1.1 Petróleo	17
2.1.1.2 Carvão Mineral	18
2.1.1.3 Gás natural	19
2.1.1.4 Energia nuclear	20
2.1.2 Fontes renováveis de energia	21
2.1.2.1 Biomassa	22
2.1.2.2 Usina hidrelétrica	23
2.1.2.3 Energia eólica	23
2.1.2.4 Energia solar	24
2.1.2.5 Energia geotérmica	24
2.1.2.6 Biogás	25
2.2 Energia elétrica no Brasil	27
2.2.1 Energia elétrica no Paraná: breve retrospecto histórico	30
2.3 Economia Regional	33
2.3.1 Indicadores e métodos para análise regional	34
3 METODOLOGIA	35
3.1 Material	35
3.2 Métodos	37
3.2.1 Métricas de mensuração	40
3.2.1.1 Índice de Hirschman- Herfindahl	40
3.2.1.2 Coeficiente de localização	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma economia depende de suprimentos previsíveis de eletricidade para suprir a demanda industrial e residencial do Estado (Tiepolo *et al.*, 2018).

O Estado do Paraná, reconhecido como a quarta maior economia do Brasil, segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2025), é o líder na geração nacional de energia elétrica, respondendo por 16,74% da produção, mas também é um grande consumidor de energia elétrica, participando com 6,22% em escala nacional (IBGE, 2017; ANEEL, 2024).

Atualmente a energia elétrica em âmbito global é gerada na sua maior parte através de combustíveis fósseis e nuclear, com uma tendência de diminuição da participação na matriz elétrica mundial destas fontes, e ao mesmo tempo maior participação de outras fontes renováveis para geração de energia elétrica como a biomassa, eólica e solar (IPARDES, 2022).

No Brasil, a maior parte da geração de energia elétrica, portanto a matriz elétrica, é originária de três fontes renováveis: hídrica (55%), Eólica (14,8%) e Biomassa (8,4%). No que se refere às fontes não renováveis, as maiores são Gás Natural (9%), Petróleo (4%) e Carvão Mineral (1,75%) (EPE, 2023).

O estado do Paraná é o maior produtor de energia elétrica através das hidroelétricas, responsáveis por cerca de 96% da geração no estado (ANNEEL, 2022).

Apesar deste grande potencial hídrico, a expansão de hidroelétricas na matriz elétrica brasileira e paranaense encontra-se em declínio devido à dificuldade de explorar o potencial ainda não utilizado, e também devido às pressões da sociedade e entidades públicas e ambientais, necessitando ao estado investir em outras fontes de energia complementares (Magalhães, 2017).

As fontes renováveis de energia são soluções cada vez mais comuns e de fácil acesso. Os custos cada vez menores dos componentes, atraem à decisão de utilização deste tipo de fontes para a geração de energia elétrica (Alves, 2018).

Apesar da pesquisa direcionar olhar para a geração centralizada, é válido destacar que o Paraná se destaca na Geração Distribuída (GD), sendo que fechou o ano de 2024, pelo terceiro ano seguido, como o principal estado a responder positivamente na relação potência instalada/unidade consumidora em geração distribuída de energia. Essa modalidade permite a geração no local ou próximo ao

ponto de consumo, diferente da geração centralizada, que é composta por usinas de grande porte, necessitando serem conectadas ao sistema interligado nacional. A geração distribuída faz uso das fontes eólica, solar (que responde por quase 100% das instalações) e biomassa para gerar energia (Tiepolo *et al.*, 2018).

Em busca de entender o cenário da geração centralizada de energia elétrica no Estado do Paraná e sua dinâmica regional para o planejamento energético, uma vez que temos a inserção de fontes renováveis na composição da matriz elétrica no Estado, e de forma a contribuir para uma melhor gestão e suprimento dessa energia, qual é o cenário atual da concentração das fontes renováveis geradoras de energia elétrica no Estado do Paraná?

A hipótese é de que há concentração de fontes renováveis na geração de energia elétrica no Estado do Paraná. A geração de energia elétrica no Estado do Paraná, marcada pela predominância de grandes usinas hidrelétricas em regiões específicas, como a de Itaipu, no Oeste do estado, e outros parques de fontes renováveis.

No aspecto socioeconômico, as regiões que concentram usinas renováveis tendem a receber mais investimentos, empregos diretos e indiretos, além de compensações financeiras como *royalties*, enquanto outras permanecem com menor dinamismo econômico ligado ao setor energético (Girardi; Picinin; Rubbo, 2021).

Portanto, a concentração espacial da geração, apesar de garantir volume e estabilidade ao sistema, também reforça assimetrias regionais, exigindo políticas públicas e planejamento energético que distribuam de forma mais equilibrada as oportunidades e benefícios associados às fontes renováveis de geração de energia elétrica.

Desta forma o desempenho do sistema econômico é resultado da interação entre as diferentes fontes geradoras de energia que por consequência impulsiona o desenvolvimento econômico regional (Colatusso *et al.*, 2021).

A necessidade de gradativamente substituir as unidades de geração de energia elétrica baseadas em combustíveis fósseis por fontes renováveis decorre, sobretudo, dos impactos ambientais associados ao modelo tradicional. De acordo com o Global Carbon Project (2023), o uso intensivo de carvão, petróleo e gás natural é responsável por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global, a poluição atmosférica e a degradação dos ecossistemas. Nesse sentido, a transição energética se apresenta não apenas como uma alternativa

tecnológica, mas como um compromisso ético com as gerações presentes e futuras (Costabile; Simões; Costa, 2022).

Ao priorizar fontes renováveis, como a solar, a eólica, a hídrica e a biomassa, torna-se possível reduzir a dependência de recursos finitos e altamente poluentes, ao mesmo tempo em que se estimula o desenvolvimento sustentável. Essa mudança está alinhada diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), que propõe ampliar o acesso a uma matriz energética moderna, confiável e renovável; o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que defende o uso racional dos recursos naturais e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), que convoca à redução das emissões e à adoção de medidas urgentes frente às mudanças climáticas (ONU BRASIL, 2015).

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo geral, analisar as fontes geradoras de energia elétrica no Estado do Paraná, verificando a concentração regional das mesmas, com ênfase nas fontes renováveis. De forma específica, os objetivos são: i) levantar a composição (por fonte) da matriz elétrica do Estado do Paraná; ii) Realizar mapeamento do Estado do Paraná no que se refere ao potencial instalado de geração de energia elétrica para cada região; iii) Medir o grau de concentração (localização) das fontes utilizadas para geração de energia elétrica nas diferentes regiões paranaenses.

A substituição progressiva das fontes fósseis por alternativas renováveis não se restringe a um debate técnico, mas constitui parte de um esforço global pela sustentabilidade, integrando-se aos compromissos internacionais assumidos pelos países e contribuindo para um futuro ambientalmente equilibrado e socialmente justo, buscando a promoção de incentivo a práticas mais sustentáveis, além do debate e conscientização sobre a importância da transição para fontes de energia renovável e de baixo impacto ambiental.

A pesquisa está organizada em cinco capítulos, no intuito de gerar uma leitura de forma mais fácil e organizada. Sendo o primeiro capítulo esta introdução, é apresentada a proposta inicial do trabalho, os objetivos, justificativa e a relevância da pesquisa. No segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura e discutido o referencial teórico. O terceiro capítulo trata sobre os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. No quarto capítulo são apresentados os resultados alcançados e as discussões decorrentes e por fim tem-se as considerações finais da pesquisa, no quinto capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, será apresentada a trajetória histórica do desenvolvimento da energia elétrica para fortalecer a fundamentação teórica do estudo, e a inserção das fontes renováveis na matriz elétrica do Estado do Paraná, a importância da energia elétrica, e suas fontes de geração. Serão discutidos os principais conceitos relacionados às características dessas fontes e suas influências. Será abordado conceitos sobre uma economia regional, explicando suas particularidades, potencialidades e desafios, informações essas servirão como base para o desenvolvimento da metodologia.

2.1 Energia

Para fortalecer a fundamentação teórica do estudo, no que se refere à importância da energia elétrica, suas fontes geradoras e suas diversas aplicações, o trabalho desenvolve considerações bem estruturadas, organizadas de forma cronológica e coerentes com o processo de desenvolvimento do tema. Embora o conceito de energia possa assumir múltiplas interpretações, aquela que melhor sintetiza sua essência no contexto contemporâneo é a de um recurso imprescindível, especialmente porque a dinâmica da vida moderna e o funcionamento das sociedades no século XXI dependem diretamente de seu acesso e disponibilidade. Em termos técnicos, energia pode ser definida como a capacidade de um sistema realizar trabalho, destacando seu papel fundamental em processos naturais e tecnológicos (COPEL, 2011; Halliday; Resnick; Walker, 2014). A energia acompanha a humanidade desde os tempos mais remotos, inicialmente utilizada para a produção de fogo por meio do atrito entre pedras e madeira. Ao longo da história, seu uso evoluiu significativamente, passando a impulsionar embarcações nas grandes navegações entre continentes, por meio da força dos ventos, demonstrando seu papel fundamental no desenvolvimento das sociedades e na expansão das atividades humanas (Willis, 2020).

Já nos tempos modernos, surgiu a máquina a vapor, durante a Revolução Industrial durante os anos de 1700. A criação de locomotiva e teares mecânicos, em seguida navios que utilizavam vapor para o deslocamento. No século XIX o emprego do petróleo e a eletricidade foram os impulsionadores para o desenvolvimento mundial

(Silva, 2011; Birnfeld, 2014). A Revolução Industrial clássica pode, então, ser dividida em duas fases, sendo a primeira chamada de revolução do carvão e do ferro, e a segunda, da eletricidade e petróleo, e do aço. A partir da revolução industrial clássica, a energia marcou definitivamente sua importância no cotidiano da humanidade (Belluzzo; Almeida, 2002).

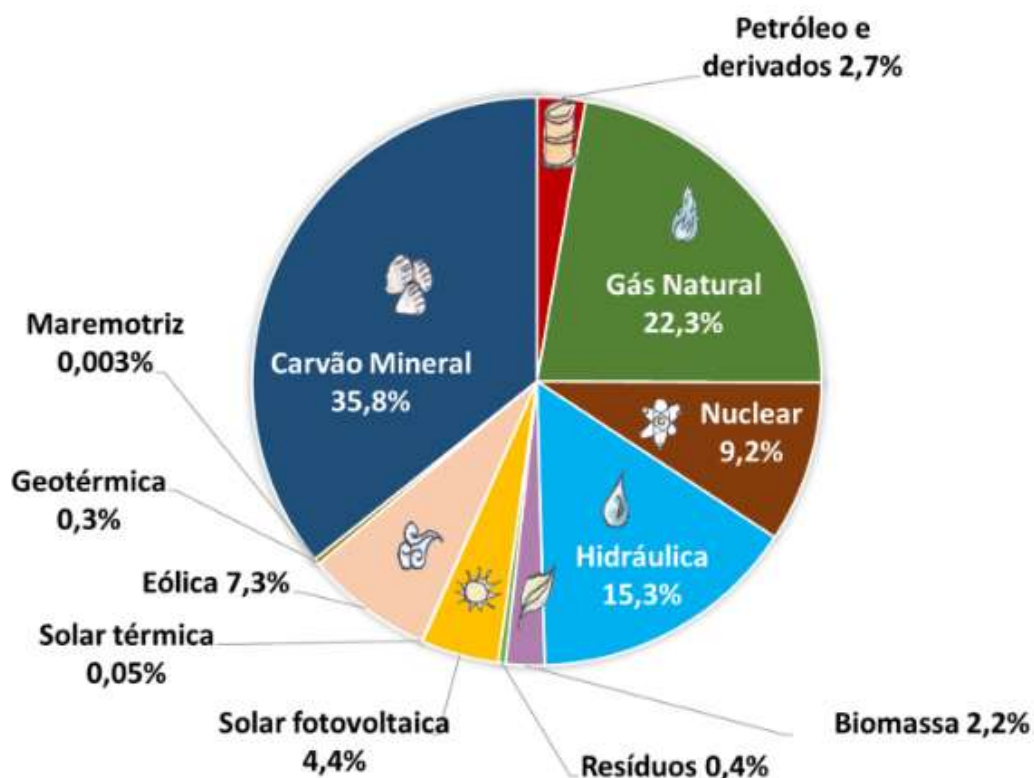
A energia possui diferentes aplicações: como força motriz de máquinas industriais ou motores de veículos, ou para gerar movimento em mecanismos. Por isso a energia está disponível de diversas formas. A energia elétrica atende os mais diversos setores da sociedade; pode-se citar os setores da economia, trabalho, ambiente, relações internacionais, assim como a vida humana, moradia, alimentação, saúde, transporte entre outros. Sobreviver sem energia elétrica significa abrir mão das facilidades da vida moderna, uma vez que, atualmente, a sociedade não consegue prescindir de equipamentos e serviços como televisão, telefonia móvel, refrigeração, aquecimento de água e acesso à internet, entre outros. Por outro lado, também é importante compreender o que a energia elétrica significa. Possuir o entendimento a respeito de suas fontes energéticas, suas limitações, também os prejuízos que o mau uso da mesma pode proporcionar ao meio ambiente (BRASIL, 2007; Birnfeld, 2014).

Entre a Revolução Industrial até os dias atuais a energia elétrica tem um peso muito grande para a sociedade, especialmente para o aparecimento da tecnologia (revolução tecnológica) que vivenciamos atualmente. Juntamente com os benefícios, veio a busca incessante para gerar cada vez mais lucros para os setores produtivos e mais comodidade para as pessoas. Ações sustentáveis são importantes para a manutenção e consolidação das fontes geradoras de energia elétrica na sociedade moderna (Morais, 2015).

As empresas necessitam de estratégias voltadas a ações sustentáveis, desenvolver-se e dar continuidade às suas atividades sem provocar danos ambientais e sociais são fundamentais (Lourenço; Silva, 2020). Com sua aplicação intensa no cotidiano de cidadãos comuns ou organizações, a energia elétrica tornou-se indispensável, a sociedade moderna está cada vez mais dependente da eletricidade e seu consumo é cada vez mais crescente ao passar do tempo (Birnfeld, 2014).

O mundo possui uma matriz energética, voltada para a produção de energia elétrica, composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural (Kishinami, 2017). A Figura 1 ilustra a distribuição de fontes geradoras de energia elétrica no cenário Mundial, referente ao ano de 2024.

Figura 1 – Panorama da matriz elétrica mundial



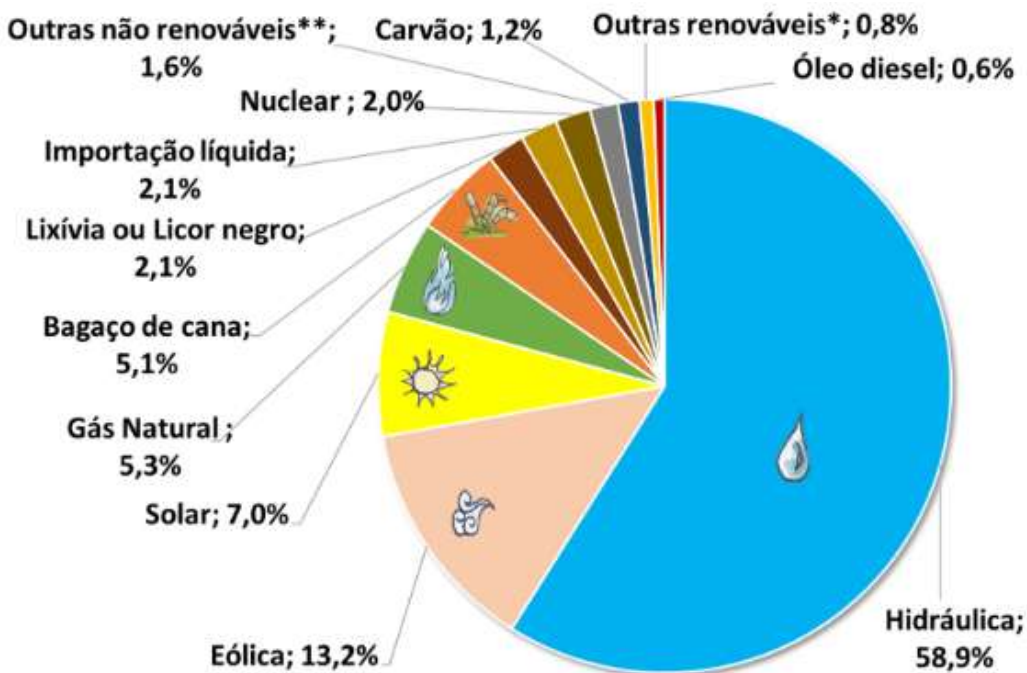
Fonte: EPE (2025).

A participação percentual das diversas fontes que integram a matriz elétrica mundial, destacando-se o grau de contribuição que cada tipo de fonte exerce sobre o total da oferta de eletricidade em escala global. Observa-se que o carvão mineral é a principal fonte (35,8%), seguido pelo gás natural (22,3%) e pela hidráulica (15,3%). Fontes como nuclear (9,2%) e eólica (7,3%) também possuem relevância, enquanto outras, como solar fotovoltaica, biomassa, resíduos, geotérmica e maremotriz, apresentam participações menores. A figura evidencia, portanto, uma matriz ainda fortemente dependente de fontes fósseis, embora diversas fontes renováveis estejam presentes, ainda que em proporções reduzidas (EPE, 2025).

A matriz energética mundial ainda é fortemente dominada por fontes fósseis, especialmente no consumo de energia primária, onde somam mais de 80 %. Contudo, a geração elétrica mostra sinais claros de transição: em 2024, fontes renováveis e nuclear já eram responsáveis por cerca de 41 % da eletricidade, atingindo 43,2 % no primeiro semestre de 2025 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2025). Essa evolução destaca o avanço das energias limpas, especialmente solar, eólica e hidroelétrica, embora a descarbonização total ainda esteja em curso (EMBER; REUTERS, 2025).

O Brasil por sua vez possui uma matriz energética composta, principalmente, por fontes renováveis de geração de energia elétrica. A Figura 2 ilustra a distribuição de fontes geradoras de energia elétrica Brasileira, referente ao ano de 2024.

Figura 2 – Panorama da matriz elétrica Brasileira



Fonte: EPE (2025).

A distribuição das fontes utilizadas na matriz Brasileira de oferta de energia elétrica, evidencia o peso relativo de cada fonte na geração nacional. Observa-se o claro predomínio da hidreletricidade, que responde por 58,9% da oferta total. Em seguida, destacam-se as fontes renováveis modernas, como a eólica (13,2%) e a solar (7,0%), que vêm ganhando espaço na matriz. Fontes térmicas, como gás natural (5,3%), bagaço de cana (5,1%) e lixívia/licor negro (2,1%), também contribuem de forma relevante. Outras fontes possuem menor participação, como importação líquida, nuclear, carvão, óleo diesel, outras renováveis e outras não renováveis. Em conjunto, o gráfico evidencia a forte dependência do país da geração hidráulica, acompanhada, nos últimos anos, pela crescente participação das energias renováveis alternativas (EPE, 2025).

A participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica no Brasil alcançou 88,2%, impulsionada principalmente pelas usinas hidrelétricas, que responderam por 59% da produção nacional. O crescimento expressivo das fontes

eólica e solar também se destacou, representando juntas 20,2% da geração. As usinas termelétricas, majoritariamente movidas a biomassa, complementaram o sistema elétrico brasileiro (EPE, 2024).

Em resumo a energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no Mundo para o ano de 2022 está representado pela Figura 3, que ilustra o cenário em relação a utilização de fontes utilizadas para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo.

Em 2022, a matriz geradora de energia elétrica no cenário mundial ainda é majoritariamente baseada em fontes não renováveis, com 70,5% da eletricidade gerada a partir de carvão, gás natural e petróleo, enquanto menos de 30% vêm de fontes renováveis, com destaque para solar, eólica e hidrelétrica, que registram crescimento acelerado (EMBER, 2025).

Figura 3 – Panorama das fontes renováveis e não renováveis geradores de energia elétrica no Brasil e no mundo



Fonte: EPE (2023).

No Brasil, a situação é mais favorável à sustentabilidade: cerca de 86% da eletricidade é gerada por fontes renováveis, sendo hidrelétricas responsáveis por 55%, seguidas por eólica (14,8%), biomassa (8,4%) e solar, enquanto termelétricas a gás, petróleo e carvão completam os 13,9% de energia elétrica gerada por fontes não renováveis (ANEEL, 2025).

2.1.1 Fontes não renováveis de energia

As fontes não renováveis de energia ocupam um papel central no desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade industrial moderna. No entanto, sua exploração contínua tem gerado impactos significativos no meio ambiente e levantado questionamentos sobre sua sustentabilidade a longo prazo.

Segundo Morais (2015), no decorrer das eras, nosso planeta sofreu inúmeras transformações sendo uma delas a origem das fontes fósseis de energia. Isso ocorreu devido ao acúmulo de matéria orgânica no subsolo terrestre. Os recursos dessa fonte são o petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso, a madeira entre outros (Morais, 2015).

Segundo Jannuzzi, Swisher e Redlinger (2018), fontes não renováveis são aquelas cuja taxa de reposição na natureza é extremamente lenta, tornando sua disponibilidade limitada no tempo.

De forma semelhante, alguns elementos químicos que sempre estiveram disponíveis na crosta terrestre são capazes de gerar energia através da fissão de seus núcleos: é o caso do urânio. Entretanto, as fontes de energia fóssil e nuclear são consideradas não-renováveis, visto que necessitam de um período geológico longo para se recompor. Desta forma, as fontes não renováveis de energia são aquelas que existem em quantidades limitadas na natureza e não podem ser repostas em um curto período de tempo. Uma vez esgotadas, não se regeneram em uma escala compatível com o consumo humano atual.

As fontes de energia não renováveis também são conhecidas como fontes de energia convencionais, e formam a base de suprimento (fornecimento) de energia disponível em nível mundial. Conforme escrito anteriormente os principais exemplos de fontes de energia não renováveis destacam-se o petróleo, o carvão mineral, o gás natural e os combustíveis nucleares, como o urânio (IPCC, 2021).

O petróleo é a fonte energética mais utilizada no mundo, sendo matéria-prima para a produção de combustíveis fósseis líquidos, como gasolina e diesel. O carvão mineral, por sua vez, teve papel decisivo durante a Revolução Industrial e ainda é amplamente utilizado em usinas termelétricas. E o gás natural, embora menos poluente que os anteriores, também é uma fonte de emissão de gases de efeito estufa.

Já a energia nuclear, baseada na fissão de átomos de urânio, não emite CO₂ durante a geração de eletricidade, mas envolve riscos relacionados ao descarte de

resíduos radioativos e à possibilidade de acidentes nucleares (Rondinelli Júnior, 2024).

Historicamente, a exploração das fontes não renováveis possibilitou o crescimento econômico, o avanço tecnológico e a consolidação de modelos industriais intensivos em energia (Santos; Santos, 2018). No entanto, a sua utilização em larga escala tem causado efeitos negativos no meio ambiente. A queima de combustíveis fósseis é responsável por cerca de 75% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), o que contribui para o aquecimento global e as mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Além disso, os processos de extração e transporte de petróleo e carvão estão associados a impactos como contaminação de solos e cursos d'água, emissão de partículas atmosféricas e degradação de ecossistemas naturais (Costa *et al.*, 2016). Em relação à energia nuclear, apesar da sua eficiência energética e baixa emissão de poluentes durante a operação, a geração de resíduos radioativos e o risco de acidentes como os de Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) geram forte resistência social.

A queima de combustíveis fósseis está diretamente relacionada à emissão de dióxido de carbono (CO₂), principal gás causador do aquecimento global. Além disso, a extração e o transporte dessas fontes geram riscos de contaminação do solo, da água e do ar (Costa *et al.*, 2016).

A crescente preocupação com a sustentabilidade energética e a segurança climática tem estimulado o debate em torno da transição para fontes renováveis. A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7, propõe assegurar o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos. Neste contexto, cresce o investimento em energia solar, eólica e biomassa, como formas de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais associados às fontes não renováveis (IPCC, 2021).

2.1.1.1 Petróleo

O petróleo é uma das fontes de energia mais importantes da sociedade moderna, sendo responsável por movimentar os principais setores produtivos e econômicos globais. Formado ao longo de milhões de anos por meio da

decomposição de matéria orgânica em ambientes sedimentares marinhos (Sion, 2021). Além de seu uso predominante nos transportes e na indústria petroquímica, o petróleo também é utilizado na geração de energia elétrica, sobretudo em regiões com pouca infraestrutura para outras fontes energéticas.

A geração de eletricidade a partir do petróleo ocorre principalmente em usinas termelétricas, onde o óleo combustível derivado do refino é queimado para aquecer a água, gerando vapor que movimenta turbinas conectadas a geradores (Jannuzzi; Swisher; Redlinger, 2018). Esse processo apresenta alta densidade energética, o que significa que pequenas quantidades de petróleo podem produzir grandes quantidades de energia. No entanto, esse tipo de geração é caracterizado por elevada emissão de dióxido de carbono (CO_2) e outros poluentes atmosféricos, como óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x), contribuindo para o aquecimento global e a poluição do ar (Costa *et al.*, 2016).

Países que não possuem grande diversidade na matriz energética — como algumas nações da América Central, Caribe e Oriente Médio — ainda dependem significativamente de usinas termelétricas movidas a derivados de petróleo, sobretudo por razões logísticas, geográficas ou econômicas (Santos; Santos, 2018).

De acordo com o IPCC (2021), a substituição gradual do petróleo por fontes renováveis é uma medida essencial para alcançar as metas de neutralidade de carbono e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Diversos países têm investido em políticas de transição energética, com foco na diversificação da matriz elétrica, buscando reduzir a dependência do uso do petróleo.

2.1.1.2 Carvão Mineral

O carvão mineral é uma das fontes de energia mais antigas utilizadas pelo ser humano, e apresenta elevado poder calorífico. A principal aplicação do carvão mineral no setor energético atual está na geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas. Nesses sistemas, o carvão é queimado em caldeiras para aquecer água e produzir vapor. Esse vapor, sob alta pressão, movimenta turbinas acopladas a geradores elétricos, completando o processo de conversão de energia térmica em energia elétrica (Rondinelli Júnior, 2024).

Apesar de seu uso estar em declínio em diversos países desenvolvidos, o carvão mineral ainda representa uma parte significativa da matriz energética mundial,

principalmente em países com grandes reservas e infraestrutura consolidada, como China, Índia, Estados Unidos e Austrália (Santos; Santos, 2018).

O uso do carvão mineral como fonte de energia elétrica apresenta vantagens como a alta disponibilidade, o custo relativamente baixo e a estabilidade de fornecimento. Além disso, a tecnologia para sua utilização está amplamente dominada e distribuída globalmente (Jannuzzi; Swisher; Redlinger, 2018).

Contudo, essa fonte é altamente poluente. A queima do carvão emite grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2), principal gás de efeito estufa, além de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), metais pesados e material particulado, que afetam diretamente a qualidade do ar e a saúde pública (Pereira; Costa, 2016). Outro impacto relevante é a geração de resíduos sólidos (cinzas) e o consumo intensivo de água, além da degradação ambiental causada pela mineração (Costa *et al.*, 2016).

2.1.1.3 Gás natural

O gás natural é uma fonte de energia constituído principalmente por metano (CH_4), além de pequenas quantidades de etano, propano, butano e outros hidrocarbonetos leves. É encontrado em reservatórios subterrâneos, geralmente associados a jazidas de petróleo (Sion, 2021). Por sua composição, o gás natural é considerado o combustível fóssil de menor impacto ambiental entre os mais utilizados, devido à sua queima mais limpa em comparação com o carvão mineral e o petróleo (Jannuzzi; Swisher; Redlinger, 2018).

O gás natural tem se destacado como uma importante fonte para a geração de energia elétrica, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Em centrais termelétricas, o gás é utilizado em ciclos simples ou combinados, conforme:

- Ciclo simples - o combustível é queimado para gerar calor, que transforma a água em vapor, acionando turbinas geradoras.

- Ciclo combinado - o calor residual dos gases de exaustão é reaproveitado para gerar vapor adicional, aumentando a eficiência do processo (Rondinelli Júnior, 2024).

Esse tipo de geração tem se tornado cada vez mais atrativo devido à maior eficiência energética, flexibilidade operacional e menor tempo de construção em relação às grandes usinas hidrelétricas ou nucleares (Costa *et al.*, 2016).

Uma das principais vantagens do gás natural é sua menor emissão de poluentes, especialmente de dióxido de carbono (CO_2), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado, quando comparado a outros combustíveis fósseis. Além disso, sua queima emite menor quantidade de óxidos de nitrogênio (NO_x) e não libera cinzas ou resíduos sólidos (Santos; Santos, 2018). Isso torna o gás natural uma fonte considerada de “transição” na passagem de uma matriz fóssil para uma matriz renovável (IPCC, 2021). Operacionalmente, usinas a gás possuem grande capacidade de resposta, podendo ser ligadas e desligadas com rapidez, o que as torna ideais para complementar fontes intermitentes como a solar e a eólica (Tavares *et al.*, 2023).

Apesar de suas vantagens, o uso do gás natural como fonte energética apresenta desafios. O transporte por gasodutos ou navios requer infraestrutura específica e investimentos significativos (Sion, 2021). Segundo o IPCC (2021), o aumento da eficiência energética e o avanço das fontes renováveis podem reduzir a necessidade de depender do gás natural a médio e longo prazo.

2.1.1.4 Energia nuclear

A energia nuclear é obtida a partir da fissão de núcleos de átomos pesados, especialmente o urânio-235 e o plutônio-239, processo que libera grandes quantidades de energia térmica. Essa energia, por sua vez, é utilizada para aquecer água e gerar vapor, que movimenta turbinas acopladas a geradores, produzindo energia elétrica (Sion, 2021).

A energia nuclear apresenta importantes vantagens, especialmente no que se refere à baixa emissão de gases de efeito estufa. Durante sua operação, as usinas nucleares não emitem dióxido de carbono (CO_2), óxidos de enxofre (SO_x) ou óxidos de nitrogênio (NO_x), o que a torna uma alternativa viável à queima de combustíveis fósseis no combate às mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Outro aspecto relevante é a sua alta densidade energética. Pequenas quantidades de urânio podem gerar grandes volumes de eletricidade por longos períodos, o que garante elevada estabilidade no fornecimento e baixo custo operacional em médio e longo prazos (Rondinelli Júnior, 2024).

A energia nuclear enfrenta críticas e desafios consideráveis. O principal deles é o risco de acidentes nucleares, que, embora raros, podem ter consequências

catastróficas para o meio ambiente e para a vida animal e humana. A poluição térmica também se configura como problema, pois altera artificialmente a temperatura do corpo d'água onde é despejada a água utilizada para resfriar o vapor que movimenta as turbinas em uma usina nuclear. Esse aumento térmico, mesmo sem a adição de contaminantes químicos, impacta diretamente os ecossistemas aquáticos ao reduzir a solubilidade do oxigênio na água e acelerar o metabolismo dos organismos, o que pode levar à perda de biodiversidade e à degradação do habitat (Derísio, 2012). Embora não seja visível, essa forma de poluição acarreta profundas mudanças na biota aquática, afetando a cadeia alimentar e comprometendo o equilíbrio ecológico. Além disso, a gestão dos resíduos radioativos gerados na fissão nuclear é um dos principais entraves da expansão dessa fonte, pois esses materiais permanecem perigosos por milhares de anos e requerem armazenagem segura e vigilância constante (Costa *et al.*, 2016).

Há ainda obstáculos econômicos, visto que os custos de construção, licenciamento e descomissionamento de usinas nucleares são elevados, e os projetos costumam levar décadas para serem concluídos (Santos; Santos, 2018).

2.1.2 Fontes renováveis de energia

O conceito de fontes de energia renováveis refere-se a recursos naturais que são geradas naturalmente e continuamente reabastecidos pela natureza, em um ritmo mais rápido do que o consumo humano, tornando-os inesgotáveis ou abundantes na natureza. Essas fontes representam uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, que são finitos e emitem poluentes prejudiciais ao meio ambiente (BRASIL, 2007; Birnfeld, 2014).

Entre os principais exemplos destacam-se a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica. Segundo Jannuzzi, Swisher e Redlinger, (2018), o uso de fontes renováveis para geração de eletricidade tem crescido mundialmente como resposta aos desafios das mudanças climáticas, à insegurança energética e à necessidade de diversificação das matrizes elétricas nacionais.

O uso de fontes renováveis para a geração de eletricidade é essencial para a transição energética global e o cumprimento das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris e pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial

o ODS 7, que busca assegurar o acesso à energia limpa, acessível e sustentável para todos (IPCC, 2021).

Além dos benefícios ambientais, o avanço das tecnologias renováveis tem estimulado o desenvolvimento econômico, a geração de empregos e a redução da dependência de combustíveis importados. Ainda assim, questões como armazenamento, intermitência e investimentos em infraestrutura precisam ser enfrentadas para a consolidação dessas fontes na matriz elétrica global (Santos; Santos, 2018).

2.1.2.1 Biomassa

A biomassa, se insere nas energias renováveis e vem tendo um papel importante e de destaque com a incorporação de novas possibilidades, exploração e usabilidade. A biomassa moderna compreende os biocombustíveis (etanol e biodiesel), e derivados do bagaço de cana de açúcar, da madeira de reflorestamento e de outras fontes, desde que sejam aproveitadas de maneira sustentável e com métodos tecnológicos avançados e eficientes. A biomassa é caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica (Ortega, 2016; Kelman, 2024).

A biomassa é usada desde os tempos antigos como fonte de energia (lenha), no entanto, sem um pensamento de produção sustentável. Por esse motivo o termo biomassa, durante muito tempo, foi associado à ideia de desmatamento. Somente no século XX teve início a utilização da biomassa moderna, com programa do álcool no Brasil e a prática do reflorestamento para produção de madeira. É possível observar que a biomassa é uma importante fonte de energia para estes países e que o modo como esse combustível é usado pode ser melhorado, com a utilização de novas tecnologias mais eficientes promovendo melhorias socioambientais, tais como a redução dos níveis de poluição, aumento da qualidade de vida, geração de emprego e renda (Silva, 2015; Araújo; Bastos, 2024; Kelman, 2024).

As vantagens do uso da biomassa na produção de energia, são o baixo custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente. Embora, a utilização de biomassa como fonte de energia traga inúmeras vantagens, é essencial ressaltar que se deve ter um amplo controle sobre as áreas

desmatadas, a preocupação ambiental, deve ser a prioridade na utilização da biomassa (SEBRAE, 2022; Araújo; Bastos, 2024).

2.1.2.2 Usina hidrelétrica

A água é o recurso natural mais abundante na Terra, possui um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos (km³) recobre 2/3 da superfície do planeta, sob forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos (ANEEL, 2018). Renova-se pelos efeitos da energia solar e da força da gravidade em nuvens, que retornam à superfície terrestre sob forma de chuva (USP, 2024).

Uma usina hidrelétrica é definida como sendo um conjunto de obras e equipamentos que tem por finalidade a geração de energia elétrica, por meio do aproveitamento do potencial hidráulico existente em um rio. O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis existentes, ao longo do curso do rio (ANEEL, 2018; FURNAS, 2025).

As usinas hidrelétricas no Paraná, embora fundamentais para a matriz energética do Estado, também apresentam diversos aspectos negativos que precisam ser considerados. A formação de grandes reservatórios implica alagamento extensivo de áreas naturais e produtivas, gerando perda de biodiversidade, fragmentação de habitats e impactos irreversíveis sobre ecossistemas aquáticos e terrestres. Comunidades rurais e ribeirinhas frequentemente sofrem deslocamentos compulsórios, resultando em perda de território, identidade cultural e meios de subsistência. Além disso, a alteração do regime natural dos rios modifica a qualidade da água, afeta a pesca e os ciclos hidrológicos, podendo agravar conflitos socioambientais. Esses impactos revelam que, apesar da relevância energética, o avanço hidrelétrico demanda planejamento criteriosos (Tiepolo; Rocha; Baumgartner, 2017).

2.1.2.3 Energia eólica

Segundo a ANEEL, denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o

emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade (ANEEL, 2018, Pereira *et al.*, 2022).

As principais vantagens da energia eólica para a sociedade, de modo geral são: é inesgotável, não emite gases poluentes nem gera resíduos e diminui a emissão de gases de efeito estufa. As vantagens para as comunidades onde se inserem os parques eólicos são: os parques eólicos são compatíveis com outras atividades e utilizações do terreno como a agricultura e a criação de gado. Já a desvantagem da energia eólica é que nem sempre o vento sopra quando a geração de eletricidade é necessária (Alves, 2018; Oliveira; Silva, 2020).

2.1.2.4 Energia solar

A energia solar chega à Terra nas formas térmica e luminosa. Segundo o estudo do Plano Nacional de Energia 2030, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética, sua irradiação, por ano, na superfície da Terra, é suficiente para satisfazer milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo (EPE, 2023). Essa radiação, porém, não chega na crosta terrestre de uma maneira uniforme. Fatores como latitude, estações do ano, condições atmosféricas, como nebulosidade e umidade relativa do ar interferem nesse processo. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível, de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. O uso de células fotovoltaicas ou conhecidos como painéis fotovoltaicos, captam essa radiação e o convertem em energia, resultando na eletricidade (ANEEL, 2008).

2.1.2.5 Energia geotérmica

A energia geotérmica é a energia térmica armazenada sob a superfície da Terra, proveniente do calor natural gerado pela decomposição de elementos radioativos no interior do planeta. Esse calor pode ser aproveitado para a geração de eletricidade ou para fins diretos, como aquecimento de ambientes e processos industriais (Jannuzzi; Swisher; Redlinger, 2018). Trata-se de uma fonte renovável e limpa, pois o calor terrestre é praticamente inesgotável em escala humana, e sua exploração emite baixos níveis de poluentes. No entanto, sua disponibilidade está

condicionada a características geológicas específicas, como a existência de reservatórios de água quente ou vapor a profundidades acessíveis (Sion, 2021).

As usinas geotérmicas utilizam o calor proveniente do interior da Terra para gerar energia elétrica. Existem três principais tipos de usinas geotérmicas:

- Usinas de vapor seco: captam diretamente o vapor de reservatórios subterrâneos para acionar turbinas geradoras.

- Usinas de vapor flash: utilizam água quente pressurizada, que ao subir à superfície sofre uma queda de pressão, transformando-se em vapor.

- Usinas binárias: transferem o calor da água geotérmica para um fluido secundário com ponto de ebulição mais baixo, que é vaporizado para acionar a turbina (Rondinelli Júnior, 2024).

Esses sistemas requerem tecnologia específica e geralmente são viáveis em regiões com intensa atividade vulcânica, como Islândia, Nova Zelândia, Indonésia e partes dos Estados Unidos.

A energia geotérmica apresenta diversas vantagens ambientais e operacionais, como:

- Baixíssima emissão de gases de efeito estufa;
- Alta disponibilidade e independência de condições climáticas;
- Capacidade de geração contínua (24h por dia);
- Menor ocupação de espaço físico em comparação com outras fontes renováveis (Costa *et al.*, 2016; Oliveira; Silva, 2020).

Somado aos custos operacionais que são relativamente baixos após a instalação inicial, o sistema pode garantir boa competitividade a longo prazo (Pryor; Kowalczyk; Heffernan, 2008).

2.1.2.6 Biogás

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), resultante da decomposição anaeróbica (sem presença de oxigênio) de matéria orgânica. Essa decomposição ocorre naturalmente em ambientes como aterros sanitários, fossas sépticas, ou pode ser induzida em biodigestores, utilizando resíduos agropecuários, esgoto doméstico, lixo orgânico urbano e efluentes industriais (Jannuzzi; Swisher; Redlinger, 2018).

Segundo Sion (2021), o conteúdo energético do biogás depende da concentração de metano, podendo variar entre 50% e 70%. Quanto maior o teor de metano, maior o poder calorífico do gás, tornando-o mais eficiente para aplicações energéticas.

O biogás pode ser utilizado diretamente como combustível em geradores térmicos, onde a queima do metano aquece água e produz vapor para acionar turbinas. Também pode ser empregado em motores a combustão interna adaptados, que acionam geradores elétricos, sendo uma alternativa viável especialmente em propriedades rurais (Rondinelli Júnior, 2024).

O uso do biogás como fonte de energia elétrica traz diversos benefícios ambientais. Primeiramente, reduz as emissões de metano — um gás com alto potencial de aquecimento global — que seria liberado na atmosfera em processos naturais de decomposição. Além disso, contribui para a gestão sustentável de resíduos, transformando lixo orgânico em energia útil (Santos; Santos, 2018).

Entre as vantagens energéticas estão:

- Geração de energia descentralizada e local;
- Redução da dependência de combustíveis fósseis;
- Potencial de uso em comunidades rurais e isoladas;
- Possibilidade de produção contínua, não sujeita à intermitência como solar e eólica.

A implantação de biodigestores demanda investimento inicial significativo e infraestrutura adequada para coleta, armazenamento e distribuição do gás. Além disso, a eficiência do processo depende da qualidade da matéria orgânica utilizada e do controle de variáveis como temperatura, pH e tempo de retenção nos reatores (Sion, 2021).

Por fim o biogás representa uma solução energética renovável, de baixa emissão de carbono, com potencial para integrar políticas de economia circular e transição energética sustentável. Em especial no setor agropecuário e de saneamento, seu uso pode gerar ganhos ambientais, econômicos e sociais, ao mesmo tempo em que promove a autossuficiência energética de pequenas comunidades ou propriedades rurais (IPCC, 2021).

2.2 Energia elétrica no Brasil

A eletricidade no Brasil iniciou-se no período imperial com Dom Pedro II articulando a instalação de aparelhos para iluminação pública na cidade do Rio de Janeiro. Em 1883 entrou em funcionamento a primeira usina hidrelétrica de pequeno porte, em Diamantina, Minas Gerais. A geração de energia elétrica nesse período contou com a participação de pequenas empresas privadas e nacionais e até mesmo com empresas de governos municipais (Gomes *et al.*, 2002; Silva, 2011).

Com o fim do Império e a instituição da República em 1889, foi promulgada a Constituição de 1891 estabelecendo que as concessões de serviços de eletricidade deveriam ser aprovadas pelas prefeituras municipais e que os estados poderiam aproveitar o potencial hídrico para geração de energia (Silva; Lopes, 2019). Entre 1883 e 1900 o Brasil elevou de maneira drástica a sua capacidade produtiva de energia, passando de 91 kW para 10.850 kW, sendo que mais de 50% foi de origem hidráulica (Gomes *et al.*, 2002).

No início do século XX empresas estrangeiras começaram a participar do setor permitindo o aumento da geração de energia e fornecimento para consumo urbano e industrial próximo as unidades geradoras. O crescimento do setor elétrico aliou-se com o desenvolvimento econômico motivado pela economia cafeeira do período, que impulsionava a criação de ferrovias, a expansão urbana e as atividades comerciais, industriais e de serviços (Gomes *et al.*, 2002).

Segundo Silva (2011), a partir de 1920 a demanda por eletricidade se elevou no Brasil devido aos excedentes de renda agrícola que começaram a ser investidos na indústria, gerando também expansão dos centros urbanos. Foi criada então a Comissão Federal de Forças Hidráulicas, o primeiro órgão oficial ligado a política para o setor (Silva, 2011). Nesse período, houve um processo de concentração em torno das empresas estrangeiras que acabaram adquirindo várias empresas privadas nacionais. Por conta disso, ocorreu significativo avanço técnico na construção de centrais elétrica, permitindo o aumento da oferta de eletricidade (Gomes *et al.*, 2002).

A crise da década de 1930, no entanto, alterou os rumos das várias economias no mundo, dentre elas o Brasil, ao passo que reduziu as exportações, diminuiu os termos de troca e cessou a entrada de capitais internacionais. Nesse mesmo período o Brasil passou pelas crises do setor cafeeiro, e precisou da atuação forte do Estado para se recuperar. Esse período foi marcado pela redefinição do papel do Estado,

objetivando diversificar a estrutura produtiva com crescente intervencionismo (Gomes *et al.*, 2002; Silva, 2011).

Em 1934 foi criado o Código das águas, sendo um marco institucional no setor elétrico brasileiro. O poder público passou a ter a responsabilidade de legislar e outorgar sobre as concessões de serviços públicos de energia elétrica, assim como a exploração da energia hidráulica, e os serviços de geração, transmissão e distribuição de energia (Lorenzo, 2001).

Em 1939, em meio à falta de energia em várias partes do Brasil, criou-se o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE). A partir dos anos de 1940 começou a surgir alguns órgãos e entidades regionais e também a criação de usinas de geração de energia. Algumas regulamentações mais rígidas com relação à fixação de tarifas acabaram desestimulando o setor privado estrangeiro, passando grande parte dos investimentos para as mãos do Estado, que começou a atuar diretamente na geração de energia (Morais, 2015).

No fim da década de 1940 e início da década de 1950, alguns planos e projetos foram elaborados com o objetivo de desenvolver o setor energético. No governo de Juscelino Kubitschek, de 1956 a 1961, foram criadas a maior parte das companhias estaduais de energia elétrica: Espírito Santo Centrais Elétricas (ESCELSA) em 1965, Centrais Elétrica do Maranhão (CEMAR), Companhia Elétrica de Alagoas (CEAL), e a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), em 1959. Esse governo teve como papel central acelerar o desenvolvimento econômico do país por meio do Plano de Metas (Gomes *et al.*, 2002; Silva, 2011).

Nas décadas de 1960 e início de 1970, a conjuntura econômica favorável permitiu amplos investimentos e novos interesses externos no setor elétrico, consolidando o Estado como agente financiador e executor da política de infraestrutura brasileira. Nesse período foram criadas as Usinas de Itaipu e Tucuruí, e o Programa Nuclear Brasileiro, além do Ministério de Minas e Energia. Em 1961 foi criada a Eletrobrás cujo objetivo era contribuir para aumentar a capacidade instalada do Brasil na geração de energia elétrica (Gomes *et al.*, 2002; Silva; Lopes, 2015).

A crise dos anos 70 casou rápida transformação no cenário econômico. A política fiscal no período tornou-se bastante restritiva, carga tributária elevada e os investimentos públicos reduzidos (Gomes *et al.*, 2002).

Na década de 1980 o cenário mundial se agravou e o Brasil entrou num período de recessão, com a dívida pública em níveis alarmantes. O Estado reduziu sua

capacidade de investimento e o setor energético foi comprometido, reduzindo a eficiência das empresas públicas (Silva, 2011). O consumo de energia, por outro lado, continuou se expandindo na década de 1980 em função da maturação dos investimentos implementados no final da década de 1970 (Gomes *et al.*, 2002).

No início dos anos 1990 os problemas do setor elétrico brasileiro persistiam principalmente relacionados às dificuldades de financiamento, impedindo o aumento e expansão da sua capacidade, somados à falta de energia em algumas regiões. O estado endividado não tinha condições de executar planos de correção e expansão. A fim de resolver o problema, os governos da época de Fernando Collor de Mello e Itamar Franco promoveram diversas privatizações, permitindo que o setor privado começasse a atuar novamente no setor. As privatizações do setor de energia elétrica aconteceram, no entanto, apenas a partir de 1995 (Gomes *et al.*, 2002). Além disso, dentro desse processo de reformulação, o governo dividiu o setor em vários segmentos: geração, transmissão, distribuição e comercialização (Silva, 2011).

Até o início dos anos 2000 o Brasil praticamente enfrentou uma situação de esgotamento da capacidade ociosa de infraestrutura elétrica existente, isso porque o consumo de energia cresceu a taxas crescentes enquanto a capacidade instalada de produção de energia elétrica manteve-se estável (Pires; Gostkorzewicz; Giambiagi, 2001).

O sucesso do Plano Real em conter a inflação nos anos 1990 teve impacto no setor elétrico. A apreciação cambial e a abertura comercial controlaram a inflação, mas acabaram deteriorando os termos de troca brasileiros. Isso acabou acelerando o processo de privatização, o que marca nesse período a retomada dos investimentos produtivos do setor privado (Silva, 2011).

Em 2001, ocorre novamente a participação ativa do setor público no setor elétrico brasileiro. O objetivo era concretizar o papel do governo como promotor da eficiência alocativa e dinâmica. As principais medidas tomadas foram no sentido de corrigir as falhas estruturais do setor, mas também foi preciso vários racionamentos de energia que acabou reduzindo as receitas das empresas de energia, gerando crise no setor (Silva, 2011; Mattei, 2021).

De modo geral, no Brasil, até metade da década de 1990, o modelo institucional do setor elétrico brasileiro era baseado na atuação forte do estado, regulando e controlando a geração, transmissão e distribuição de energia. A partir de então, houve duas mudanças importantes. Pós 1996 ocorreu privatizações de

companhias operadoras de energia e o governo deixou de exercer papel de principal investidor, passando a dividir com a iniciativa privada a responsabilidade pela expansão do sistema elétrico. O estado ficou com o papel apenas de regular as atividades no mercado. No entanto, a partir dos anos 2000, foi introduzido o Novo Modelo do Setor Elétrico, em que o estado retomou o controle do planejamento do setor de energia elétrica. O objetivo dessa nova fase seria estabelecer um marco regulatório para garantir os incentivos adequados aos novos investimentos, preservar os interesses dos diversos agentes do setor elétrico e consumidores, e promover o bem-estar e a eficiência econômica (Silva, 2011).

2.2.1 Energia elétrica no Paraná: breve retrospecto histórico

O estado do Paraná, assim como o Brasil de modo geral, apresenta grande potencial hídrico devido às características geomorfológicas, presença de rios de planalto, altos declives, corredeiras e vales. Isso explica o fato de os investimentos na maior proporção terem sido para geração de energia por fonte hídrica (Morais, 2015).

O primeiro registro de eletricidade no estado do Paraná foi em 1886 com a instalação de uma lâmpada para iluminação pública em Curitiba (Ortega, 2016). Mas a primeira usina de eletricidade no estado do Paraná foi iniciada em 1890 na cidade de Curitiba quando o presidente da Intendência Municipal de Curitiba, Dr. Vicente Machado, assinou contrato com a Companhia de Água e Luz do Estado de São Paulo para uma concessão de 20 anos. A usina ficou pronta em 1892 e gerava energia a vapor por meio da queima de madeira (COPEL, 2025).

Em 1910 foi inaugurada a primeira usina hidrelétrica do estado, a Usina de Serra da Prata, em Paranaguá. Essa usina esteve em funcionamento até o início da década de 1970 quando foi desativada. Em 1911 entrou em funcionamento em Ponta Grossa a Hidrelétrica de Pitanguí, que ainda hoje está em operação, e é a mais antiga usina do parque gerador próprio da COPEL - Companhia Paranaense de Energia Elétrica. Outras centrais hidrelétricas continuaram a ser instaladas no estado, mas somente em 1930 foi inaugurada uma usina considerada grande para os padrões da época, a de Chaminé, implantada na Serra do Mar nas proximidades de Curitiba. A usina foi ampliada e também permanece em operação até os dias atuais (COPEL, 2025).

Na década de 1930 foi criado o Serviço de Energia Elétrica do Paraná, que mais tarde transformou-se no Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (COPEL, 2025).

No fim da década de 1940 o estado do Paraná contava com atuação de várias empresas privadas de energia elétrica: Companhia Força e Luz do Paraná que atendia o entorno da região de Curitiba; Empresa Sul Brasileira de Eletricidade que atendia o Sul do Estado (regiões da Lapa, Rio Negro e Campo do Tenente); Empresa de Eletricidade Alexandre Schlemm que atendia União da Vitória e Porto União; Companhia Prada de Eletricidade que abastecia as cidades de Ponta Grossa, Castro e Piraí do Sul; Companhia Hidro Elétrica do Paranapanema que fornecia energia a 20 municípios do Norte Pioneiro; e Empresa Elétrica de Londrina S.A. que abastecia as cidades de Londrina, Arapongas, Cambé, Ibiporã, Rolândia e Jataizinho (COPEL, 2025).

Em 1954 foi criada a COPEL, empresa estatal de economia mista que deveria assumir gradativamente a responsabilidade pelos serviços de energia no Paraná, até então sob a responsabilidade do DAEE, prefeituras e concessionárias particulares (Souza, 2020; COPEL, 2025).

A partir da década de 1950, o governo do Paraná estabeleceu retomar os investimentos na estrutura econômica, social e política do estado, sendo o setor de energia elétrica foco deste processo, visando a industrialização e crescimento econômico do Estado (Souza, 2020).

Nas décadas de 1960 e 1970 várias usinas hidrelétricas de menor porte foram construídas no estado de acordo com a política de eletrificação rural. Essas obras tiveram parceria com as grandes cooperativas agrícolas do Paraná, como a Coamo de Campo Mourão e a Agrária de Guarapuava (Entre Rios), entre outras (Magalhães, 2017). Também na década de 1970, no período da ditadura militar no Brasil, iniciou-se a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, conhecida como Itaipu Binacional, devido pertencer ao Brasil e Paraguai. Atualmente é a segunda maior usina do mundo em tamanho, mas a maior em quantidade de geração de energia (COPEL, 2025).

Os anos 1980, mesmo com recessão da economia, o estado investiu em novos empreendimentos hidrelétricos para geração de energia (Magalhães, 2017).

No início dos anos 2000, os empreendimentos do setor de energia continuaram no estado do Paraná. Foram construídas várias usinas de médio e pequeno porte,

tanto térmicas como hidráulicas, também por iniciativa de produtores independentes de energia (Ortega, 2016, ANNEL, 2018).

Em 2024, o estado alcançou valor superior a 17 MW de potência instalada, em geração centralizada de energia elétrica (ANNEL, 2018). O Quadro 1 resume os valores da geração centralizada de energia elétrica do Paraná, nas principais fontes utilizadas no Estado.

Quadro 1 - Resumo da geração centralizada de energia elétrica no Paraná

Fonte	Potência Instalada	Observações
Eólica	2.502 kW	Parcela de parques eólicos centralizados no PR é pequena.
Hidrelétricas	15.415.821 kW	Itaipu, produz a maior parte desta energia.
PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas)	210.765 kW	Subcategoria dentro de hidrelétricas.
Termelétricas / Biomassa	1.812.368 kW	Inclui gás natural e carvão mineral / Biomassa disponível na região
Energia Solar	-	A maior parte vem da geração distribuída (GD).

Fonte: ANEEL (2025).

Hoje o estado conta com um parque hidrelétrico de grandes dimensões. Segundo o Banco de Informações da ANEEL (2025), o Paraná é responsável pela geração de aproximadamente 18.000.000,00 KW de energia elétrica (geração centralizada), correspondendo a 11,32% do total gerado no Brasil, ficando atrás apenas de São Paulo (15,78%), Pará (13,65%) e Minas Gerais (12,21%). Apesar de já ser destaque na geração de energia, tem potencial para crescer e explorar várias fontes de energia, como eólica, solar e biomassa (BRASIL, 2007; ANNEL, 2018).

A matriz energética do Paraná é caracterizada pela predominância de fontes renováveis, alinhando-se às diretrizes nacionais energética. Em 2024, o estado alcançou 17.761.687 kW de potência instalada em geração centralizada de energia elétrica, com destaque para as hidrelétricas que representam a maior parcela da geração de energia elétrica no Estado do Paraná (IPARDES, 2022). Outras fontes, como biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas, também contribuem para a diversificação da matriz elétrica do estado (Mattei; Parré, 2021).

2.3 Economia Regional

A economia regional, como subcampo da ciência econômica, dedica-se ao estudo da distribuição espacial das atividades produtivas e das disparidades de desenvolvimento entre diferentes localidades. Esse campo se desenvolveu em resposta às limitações da teoria econômica tradicional, que, por muito tempo, negligenciou a dimensão territorial do crescimento e do desenvolvimento (Furtado, 2000). A compreensão das desigualdades regionais é crucial, especialmente em países com grandes extensões territoriais e diversidade socioeconômica, como o Brasil (Becker, 1992).

Teorias como da divergência e da concentração, são fundamentais para entendimento do crescimento específico da economia em uma determinada região.

Teoria do crescimento desequilibrado, de Hirschman (1958), propõe que o desenvolvimento não ocorre de forma uniforme, mas sim de maneira descontínua, em que o crescimento em um setor ou região gera desequilíbrios que impulsionam o desenvolvimento em outras áreas por meio de efeitos de encadeamento.

Teoria dos polos de crescimento, de Perroux (1955), explica que o crescimento se concentra em polos ou indústrias motrizes que, por sua vez, irradiam o progresso para o seu entorno. Esses polos se formam por aglomeração de empresas de uma mesma cadeia produtiva.

Posteriormente, Krugman (1991), incorporou os conceitos de economias de escala, custos de transporte e retornos crescentes para explicar a aglomeração de atividades econômicas em certos locais. Outra perspectiva importante é a do desenvolvimento endógeno, que enfatiza a importância dos fatores internos de uma região, como capital humano, inovações e instituições locais para o crescimento sustentável (Krugman, 1991; Vaz, 1999).

Desta forma, a análise da economia regional brasileira permite investigar como políticas públicas, ciclos econômicos e a dinâmica do mercado de trabalho contribuíram para a formação desse cenário de disparidade (Furtado, 2000). A concentração de renda e produção no Sudeste e Sul, por exemplo, é um tema recorrente, contrastando com o desenvolvimento diferenciado e muitas vezes mais lento de outras áreas, como o Norte e Nordeste (IPEA, 2011).

2.3.1 Indicadores e métodos para análise regional

A análise da economia regional exige o uso de indicadores e métodos específicos para mensurar as disparidades e a dinâmica espacial. O Produto Interno Bruto (PIB) per capita, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o índice de concentração de Hirschman-Herfindahl (IHH), o Coeficiente de localização (CL), indicadores de emprego e renda, além de dados sobre a distribuição de recursos e investimentos, são ferramentas essenciais para mapear o cenário regional (IPEA, 2011). Apesar de haver indicadores usualmente aceitos, as métricas possibilitam uma diversidade de outros indicadores. Também, a metodologia pode incluir a aplicação de modelos econométricos para testar hipóteses, bem como análises qualitativas para explorar fatores institucionais e sociais que influenciam o desenvolvimento (Vaz; Souza, 1999).

A avaliação de políticas públicas de desenvolvimento regional, como os programas de incentivos fiscais e as ações de fomento à infraestrutura, também é uma parte fundamental da análise dentro da economia regional, permitindo verificar sua eficácia na redução das assimetrias e na promoção de um crescimento mais equilibrado (Becker, 1992).

Assim, ao diagnosticar os gargalos e as potencialidades de cada região, é possível empreender ações eficazes. Isso permite direcionar investimentos de modo estratégico, promovendo um crescimento que leve em conta as particularidades e as interconexões espaciais do local (Becker, 1992; Furtado, 2000).

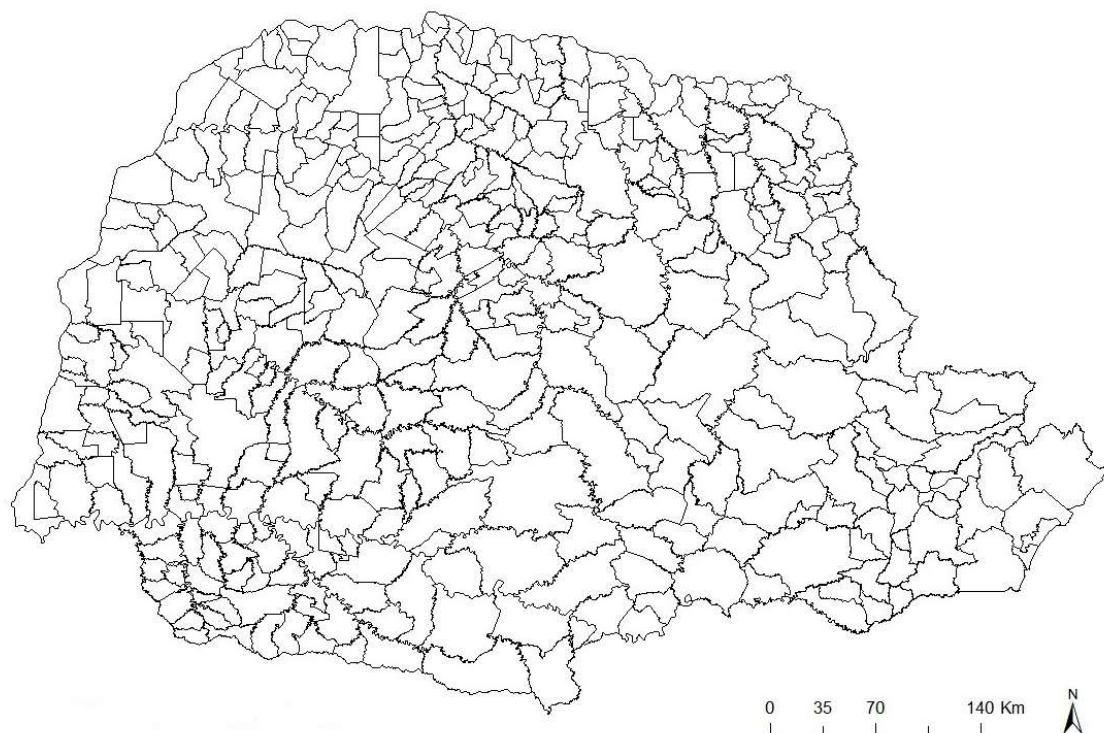
3 METODOLOGIA

O presente capítulo inicialmente busca apresentar os materiais da pesquisa, relacionados ao objeto de pesquisa. Na sequência é apresentado o enquadramento classificatório e procedimentos metodológicos adotados ao longo da pesquisa.

3.1 Material

Este estudo foi realizado com foco geográfico no estado do Paraná, região Sul do Brasil, conforme Figura 4.

Figura 4 – Mapa municipal do estado do Paraná.



Fonte: MAPASBR (2025).

O Estado do Paraná está localizado ao sul do Brasil. Faz divisa com o Estado de São Paulo ao norte e nordeste; com o Oceano Atlântico a leste; Santa Catarina ao sul; Mato Grosso do Sul a noroeste; e ainda com o Paraguai e a Argentina (província de Misiones) pelo oeste e sudoeste. A capital é Curitiba, e o estado é subdividido em 399 municípios (IBGE, 2024).

A área territorial é de aproximadamente 199.300 km², correspondente a cerca de 2,3% do território Nacional Brasileiro. A população é de cerca de 11,8 milhões de

habitantes, segundo dados do IBGE de 2024, com densidade demográfica de aproximadamente 57 habitantes/km² (IBGE, 2024).

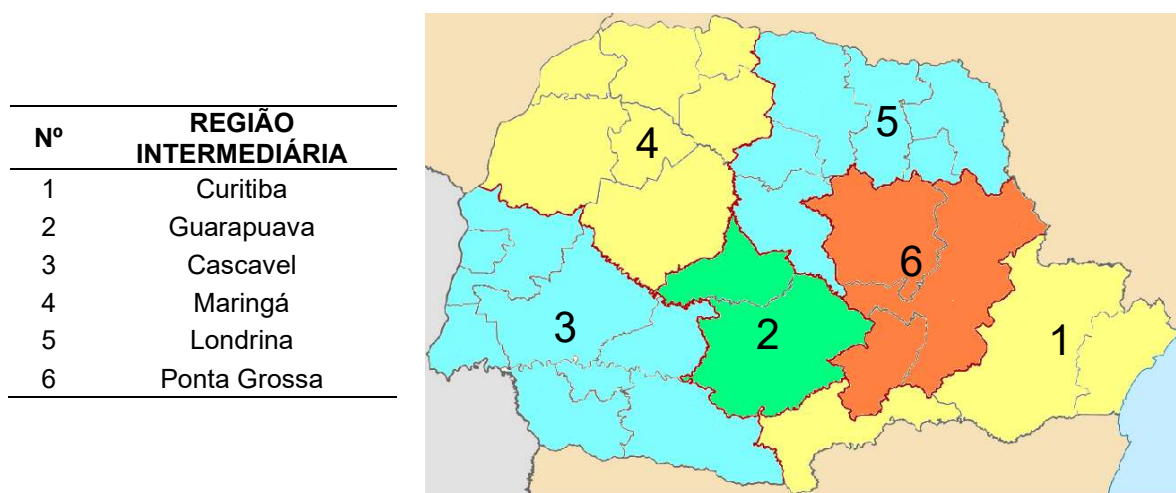
O Paraná é um dos estados mais desenvolvidos do Brasil e ocupa o quarto lugar em PIB, atrás apenas de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. É referência na produção agrícola, com destaque para a produção de grãos como soja, milho, trigo e feijão, também incluem a produção de café, erva-mate, laranja, cevada (IBGE, 2024).

No setor industrial, os principais segmentos são alimentícios, papel e celulose (onde é líder em produção de madeira para fibra), e destaque na indústria de eletroeletrônicos. Abriga o maior porto graneleiro da América Latina, em Paranaguá, e a gigante hidrelétrica de Itaipu, uma das maiores do mundo na geração de energia elétrica (Logweb, 2018; Itaipu Binacional, 2024).

As fontes de pesquisas e levantamento de dados utilizadas, serão de trabalhos e dados já concretizados referente a dados da geração de energia elétrica no Estado do Paraná. Dados secundários, referentes à potência outorgada da geração centralizada, estão disponíveis no banco de dados da ANEEL (2025). Mas é importante mencionar que esses dados não incluem a potência da geração distribuída (GD).

Para este estudo da distribuição das fontes geradoras de energia elétrica para o estado do Paraná, considerou-se a divisão do Estado em seis regiões intermediárias, a Figura 5 ilustra a distribuição geográfica do Paraná.

Figura 5 – Regiões intermediárias do Estado do Paraná



Fonte: IBGE (2017).

Essa regionalização foi adotada pelo IBGE a partir de 2017, e reflete a articulação urbana do estado, sendo definidas com base em centros que oferecem serviços especializados — como saúde, educação superior e infraestrutura — e concentram fortes influências econômicas e sociais (Nagel; Jannuzzi, 2022).

O Paraná possui uma matriz energética diversificada, destacando-se pela crescente adoção de fontes renováveis, tais como: Biomassa, que compreende os resíduos florestais, bagaço de cana de açúcar, resíduos sólidos urbanos e resíduos animais; Eólica, proveniente da cinética do vento; Fóssil, compreende o petróleo, gás natural e o carvão mineral; Hídrica, proveniente do potencial hidráulico; e Solar, proveniente da radiação solar.

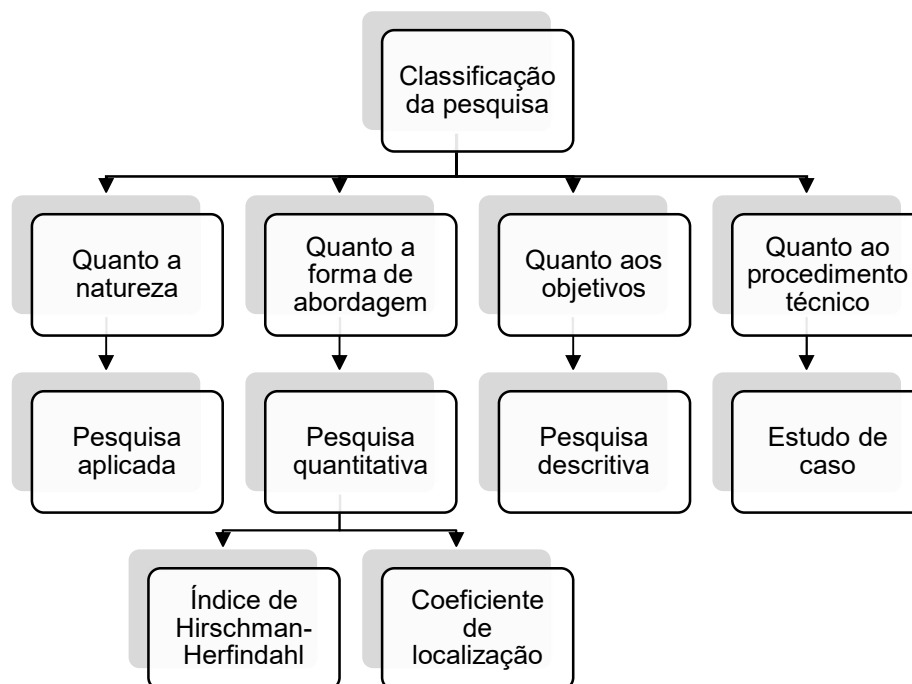
Os dados utilizados são de fonte secundária oficial, referente a potência outorgada, por unidade geradora, coletada em 08 de outubro de 2025, referente ao sistema de geração centralizada (GC) obtidos na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), e no Atlas de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025).

3.2 Métodos

A metodologia empregada na presente pesquisa é de natureza aplicada, onde de acordo com Alexandre e Aquino (2021), é definida como de interesse prático, capaz de permitir a aplicação dos seus resultados na resolução de problemas específicos. O enquadramento classificatório dos procedimentos adotados ao longo desta pesquisa, são apresentados na Figura 6, que pode servir também como um guia visual para a compreensão da estrutura dos procedimentos aplicados.

A pesquisa aplicada, abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas da sociedade, e tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação de forma que todos consigam replicar se necessário. Diante disso pode-se dizer que a pesquisa aplicada permite ao pesquisador delimitar sua investigação, no sentido de solucionar o problema levantado no projeto a partir de necessidades concretas (Lakatos; Marconi, 2021).

Figura 6 - Enquadramento classificatório da pesquisa.



Fonte: Adaptado de Prodanov; Freitas (2022).

Para Freitas e Carvalho (2020), a pesquisa aplicada envolve interesses e verdades locais, com intuito de resolver problemas sociais relevantes e utiliza-se de conhecimentos já disponíveis para viabilizar sua aplicação prática, preocupando-se em buscar soluções para problemas reais e imediatos. A pesquisa aplicada caracteriza-se por seu papel voltado à resolução de problemas concretos enfrentados por uma coletividade. Assim, compreende-se como a capacidade de transformar seus resultados em ações efetivas que promovam melhorias nas condições sociais e econômicas de uma localidade (Nogueira; Aguiar; Gisi, 2023).

A forma de abordagem é quantitativa, com uso de métricas já consolidadas na área da Economia Regional, denominados indicadores de análise espacial ou regional que, segundo Monasterio (2011), têm a capacidade de sintetizar informações e consistem em importante passo para estudos ainda mais avançados. Haggett (1990), destaca que os valores do coeficiente de localização regional indicam a concentração da atividade econômica em uma determinada região, voltadas para a identificação da distribuição setorial da atividade econômica no espaço (Coutinho, 2017). Para Mattei e Mattei (2017), o coeficiente de localização (CL) tem sido muito empregado em estudos dessa natureza, com diferentes variáveis conforme o objetivo da pesquisa. Outro indicador de grande aceitação para essa análise é o Índice de Hirschman-

Herfindahl (IHH). Segundo Monasterio (2011), esse índice na prática compara a estrutura da unidade sob análise com a do restante da região.

No que se refere aos objetivos da investigação, trata-se de uma pesquisa de caráter descritivo, cujo propósito é evidenciar e analisar aspectos observáveis e mensuráveis do objeto em questão. Conforme destacam Dantas e Souza (2023), esse tipo de estudo busca descrever as características de uma população, de um fenômeno ou das relações entre variáveis. Por ser de natureza conclusiva, a pesquisa descritiva emprega técnicas padronizadas de coleta de dados, a fim de examinar com rigor as particularidades do tema abordado (Lakatos; Marconi, 2021).

Quanto a Pesquisa descritiva, essa tem como finalidade reunir informações sobre uma determinada situação, detalhando a forma como ela ocorre. Esses dados possibilitam ao pesquisador construir uma visão analítica que servirá de subsídio para críticas ou para a tomada de decisões em contextos específicos. Assim, a pesquisa descritiva busca examinar, registrar e analisar relações entre fatos, a fim de identificar problemas, justificar circunstâncias e oferecer elementos que orientem decisões e planejamentos futuros (Lakatos; Marconi, 2021).

O procedimento metodológico adotado neste trabalho corresponde a um estudo de caso. Conforme Santos et al. (2021) e Yin (2015), esse tipo de abordagem configura-se como uma investigação empírica voltada à análise de fenômenos contemporâneos em seu contexto real, sobretudo quando não há delimitação nítida entre o fenômeno e o ambiente em que ocorre (Alexandre; Aquino, 2021). No presente estudo, será aplicado ao estado do Paraná, permitindo examinar de forma aprofundada as particularidades regionais que influenciam o fenômeno analisado.

O estudo de caso tem como finalidade reunir informações de forma sistemática e detalhada acerca de determinados acontecimentos. Essa estratégia metodológica prioriza a compreensão do contexto investigado, sem negligenciar sua representatividade, ao buscar interpretar a dinâmica em curso. Trata-se, portanto, de um procedimento que possibilita a análise aprofundada do objeto de estudo, proporcionando uma visão abrangente e detalhada (Freitas; Jabbour, 2011).

Os estudos de caso podem ser classificados em três tipos: intrínsecos, instrumentais e coletivos. Nos estudos intrínsecos, a investigação concentra-se em um caso particular, com a finalidade de compreendê-lo de forma exclusiva, sem buscar conexões com outros casos ou temáticas mais amplas. Já nos estudos instrumentais, o caso analisado possui relevância secundária, servindo como meio

para compreender uma problemática mais abrangente. Por sua vez, os estudos coletivos envolvem a análise de múltiplos casos, permitindo uma visão mais ampla e a formulação de hipóteses mais consistentes. Nesta pesquisa, a abordagem adotada corresponde a um estudo de caso intrínseco, voltado à análise do Estado do Paraná, uma vez que busca compreender de forma aprofundada as especificidades e dinâmicas que caracterizam esse contexto regional (Santos; Souza; Pereira, 2021).

3.2.1 Métricas de mensuração

As métricas de mensuração adotadas nesta pesquisa compreendem o Índice de Hirschman-Herfindahl (IHH) e o Coeficiente de Localização (CL), ambos amplamente utilizados em estudos de análise espacial e concentração econômica.

3.2.1.1 Índice de Hirschman- Herfindahl

A concentração de determinadas fontes de geração de energia elétrica de uma região será comparando a uma outra região maior, por exemplo. O indicador utilizado para essa análise será o índice de concentração de Hirschman-Herfindahl (IHH), conforme a equação 1, adaptada para a presente pesquisa. Desta forma é possível identificar a concentração dessas fontes geradoras por região.

$$IHH_K = \sum_i \left[\frac{P_{Ki}}{P_K} - \frac{P_i}{P} \right]^2 \quad (1)$$

Onde:

P_{Ki} = Potência outorgada de origem k na Região Geográfica Intermediária i ;

P_i = Potência outorgada na Região Geográfica Intermediária i ;

P_K = Potência outorgada de origem k no Paraná;

P = Potência outorgada no Paraná.

O índice de Hirschman-Herfindahl varia entre 0 e 2, sendo que próximo de 2 indica elevada concentração espacial da fonte/origem e à medida que tende a 0 (zero)

têm uma distribuição mais homogênea de fontes de geração de energia elétrica pelas unidades espaciais em análise (Hirschman, 1958).

3.2.1.2 Coeficiente de localização

Também será utilizado o Coeficiente de localização (CL) como indicador para identificar a concentração das fontes renováveis geradoras de energia elétrica. O Coeficiente de Localização é uma medida usualmente empregada para mensurar a concentração espacial de uma atividade econômica. Em comparação com uma área de referência mais ampla, ele permite identificar se uma determinada região possui concentração produtiva. No contexto desta pesquisa, o coeficiente será utilizado com o objetivo específico de analisar a concentração de fontes renováveis geradoras de energia elétrica no estado do Paraná, considerando o estado como área de referência (Paiva; Maciel, 2017; Figueiredo, 2020). Essa ferramenta é bastante aplicada em estudos de geografia econômica, planejamento regional e análise de desenvolvimento territorial, para verificar se uma atividade está concentrada, dispersa ou proporcionalmente distribuída em relação à média nacional ou regional. A equação 2, evidencia o cálculo do coeficiente, adaptado para a presente pesquisa:

$$CL_K = \frac{1}{2} \sum_k \left| \frac{P_{Ki}}{P_K} - \frac{P_i}{P} \right| \quad (2)$$

P_{Ki} = Potência na fonte k em uma região específica i ;

P_i = Potência total na região específica i ;

P_k = Potência na fonte na área de referência k ;

P = Potência total na área de referência (Paraná).

Coeficiente de Localização é análogo ao Coeficiente de Especialização (CE), contudo são as fontes de geração e não as regiões que estão sob escopo nesse coeficiente. Sua interpretação é de que fontes com Coeficiente de Localização próximo de 1 serão bastante concentrados espacialmente e fontes com Coeficiente de Localização tendendo a 0 (zero) têm uma distribuição mais homogênea pelas unidades espaciais em análise (Figueiredo, 2020).

A aplicação do Coeficiente de Localização é importante em pesquisas por diversos motivos, dentre eles a capacidade de identificar vocações regionais e evidenciar concentração regional. Contudo, esse parâmetro não se aplica adequadamente à fonte solar, uma vez que sua distribuição está fortemente associada a fatores físicos, como disponibilidade de radiação solar, e não necessariamente a uma concentração regional de natureza econômica ou produtiva, isto é, atividades que apresentam maior intensidade relativa em uma localidade do que na média do espaço de referência. Essa identificação é essencial para subsidiar políticas públicas de desenvolvimento regional, atração de investimentos e fortalecimento de cadeias produtivas locais (Cavalcante, 2008).

Além disso, o Coeficiente de localização contribui para comparações entre regiões, favorecendo a análise de disparidades regionais. Também permite verificar a evolução temporal da concentração regional de uma determinada atividade econômica, mostrando se a atividade está se consolidando ou perdendo relevância em determinada área (Cavalcante, 2008; Diniz, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Estado do Paraná destaca-se no cenário brasileiro pela diversificação e expansão de suas fontes renováveis geradoras de energia elétrica (PARANÁ, 2025). A combinação de recursos naturais abundantes, como a água, a biomassa e o sol, com políticas públicas eficazes, têm desempenhado papel fundamental na consolidação da matriz energética do Estado do Paraná. Entre essas políticas destacam-se incentivos fiscais, linhas de financiamento específicas e a criação de um ambiente regulatório favorável à expansão de fontes de baixo impacto ambiental, especialmente a energia solar (Franco; Menezes; Vasconcellos, 2020; PARANÁ, 2025).

Com foco na geração centralizada (GC), o Paraná gera energia elétrica a partir de fontes, que são compostas por usinas hidrelétricas, de biomassa, fóssil, eólica e solar e estão conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

A Tabela 1 apresenta os valores de potência instalada das diferentes fontes de geração de energia elétrica para as Regiões Geográficas Intermediárias do Paraná.

Tabela 1 – Potência instalada (kW) de geração centralizada de energia elétrica para as Regiões Intermediárias do Paraná, por fonte.

Origem (*)	Regiões Geográficas intermediárias					
	Curitiba	Guarapuava	Cascavel	Maringá	Londrina	Ponta Grossa
Biomassa	41.582,00	18.730,00	4.080,00	501.814,80	106.600,00	593.002,80
Eólica	0	0	2.500,00	0	0	0
Fóssil	575.624,60	10.729,00	21.831,60	8.521,20	30.652,20	2.385,15
Hídrica	1.215.219,76	1.946.178,61	12.025.131,82	40.153,91	19.216,40	459.667,31
Solar	10.316,06	600,00	1.280,65	8.597,50	2.320,00	1.767,10
Total	1.842.742,42	1.976.237,61	12.054.824,07	559.087,41	158.788,60	1.056.822,36

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANEEL, (2025).

Nota: (*) os combustíveis correspondentes são: i) Biomassa: Floresta, Resíduos sólidos urbanos, Resíduos animais, Agroindustriais; ii) Eólica: Cinética do vento; iii) Fóssil: Petróleo, Gás natural, Carvão mineral; iv) Hídrica: Potencial hidráulico; v) Solar: Radiação solar.

Com os dados da Tabela 1 é possível identificar que cada região apresenta particularidades específicas das fontes geradoras de energia elétrica utilizadas, refletindo seu o potencial energético na geração centralizada de energia elétrica.

Com relação a geração de energia elétrica que utiliza a biomassa como fonte de produção, destacam-se as regiões intermediárias de Maringá e Ponta Grossa

baseada no aproveitamento de biomassa proveniente da agroindústria canavieira e biomassa florestal respectivamente, como as regiões que mais utilizam deste tipo de fonte. O somatório da potência instalada de energia a partir da biomassa como fonte geradora de energia elétrica, contemplando todas as regiões intermediárias do estado, é superior a 1.265MW que corresponde a 7,2% da energia elétrica gerada no Estado do Paraná.

Os dados referentes a geração de energia elétrica utilizando fonte eólica destaca a região intermediária de Cascavel, que gera 2,5MW de potência instalada de energia elétrica. Para as demais regiões intermediárias do Paraná, a geração é baixa, apresentando valores desprezíveis quando se trata da geração centralizada de energia elétrica. Esse valor corresponde a menos de 0,1% do total de energia gerada no Estado do Paraná.

O uso de fontes fósseis para a geração de energia elétrica, ainda é utilizado em todas as regiões intermediárias do Paraná, mas com alerta para a região intermediária de Curitiba, pois se trata de uma fonte não renovável de energia. A região de Curitiba possui mais de 575MW de potência instalada de energia elétrica fazendo uso de fontes fósseis, com destaque para o uso de petróleo e gás natural, provenientes da refinaria do município de Araucária. Esse valor representa 88,5% da energia elétrica gerada no Paraná através de fontes fósseis. A região intermediária de Londrina é a segunda que mais gera energia com o uso de fontes fósseis, influenciada principalmente pela Usina Termoelétrica do município de Figueira, suprida com carvão mineral resultando em potência instalada de 20MW, o que contribui 4,6% da energia elétrica gerada no Paraná através deste tipo de fonte (Farjado; Hersen, 2024). No total são 3,7% de potência instalada de energia elétrica gerada a partir de fontes fósseis no estado do Paraná.

A geração de energia elétrica a partir de fontes hídricas está presente nas seis regiões intermediárias do Paraná, com destaque para a região intermediária de Cascavel, que concentra a maior parcela da capacidade instalada do estado. Nessa região, considerando o critério de rateio da energia produzida pela Usina Hidrelétrica de Itaipu, já que esse valor representa metade da potência instalada da usina, e juntamente com as demais usinas hidrelétricas de menor porte, juntas possuem 12.025GW de potência instalada, evidenciando a relevância da região de Cascavel no contexto da matriz hidroenergética paranaense (Farjado; Hersen, 2024).

Essa capacidade corresponde há 76,4% do total de energia elétrica produzida através de fontes hídricas no estado do Paraná. A região de Guarapuava seguida pela região de Curitiba ocupam a segunda e terceira posição respectivamente na geração de energia elétrica fazendo uso de fontes hídricas. A região de Guarapuava corresponde a 12,4% do total de energia elétrica produzida através de fontes hídricas no Estado, com destaque para as usinas de Foz do Areia e de Segredo, já a região de Curitiba compreende a 7,7% (Farjado; Hersen, 2024).

Mas a produção de energia elétrica por meio de fontes hídricas se distingue das demais fontes geradoras de energia elétrica no Estado do Paraná, devido ao potencial hídrico favorável que o Estado apresenta, fato este que a produção de energia elétrica através de fontes hídricas, corresponde a 89% de toda a potência instalada de energia elétrica, levando em relação as outras quadro fontes geradoras de energia elétrica do Estado.

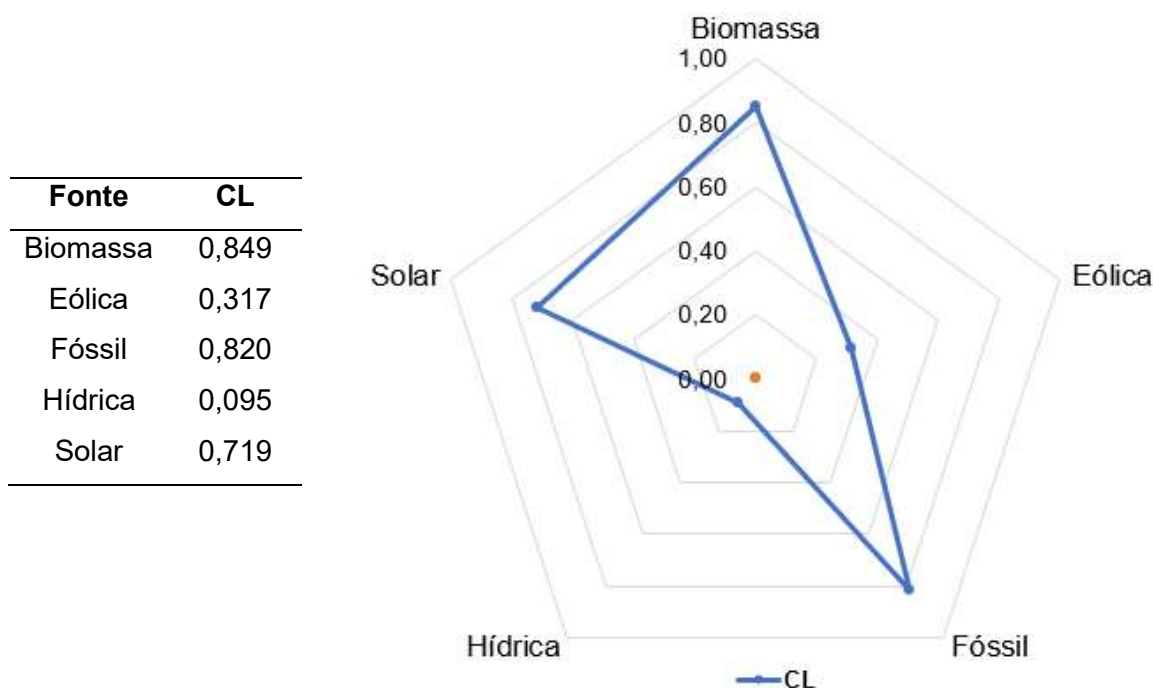
A geração de energia elétrica utilizando fontes solar, é aproveitada em todas as regiões intermediárias do Paraná. A região de Curitiba gera uma potência instalada superior as demais regiões, passando de 10MW de potência instalada, e seguida pela região de Maringá, 8,5MW de potência instalada. No total são 24,8MW que representa apenas 0,1% de potência instalada de energia elétrica gerada a partir de fontes Solar no estado do Paraná.

No total, o Estado do Paraná supera 17,6GW de potência instalada de energia elétrica centralizada, utilizando as cinco fontes diferentes de geração de energia elétrica.

O Coeficiente de Localização foi empregado para mensurar o grau de concentração das distintas fontes de geração de energia elétrica nas regiões intermediárias do estado do Paraná. Sua aplicação permitiu comparar o peso relativo de cada região intermediária em relação ao total estadual, evidenciando o nível de concentração ou dispersão das fontes geradoras de energia elétrica.

A Figura 7 apresenta dados do comportamento do Coeficiente de Localização por fonte de geração.

Figura 7 - Coeficiente de Localização por fonte de geração de energia elétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O uso da fonte de biomassa apresenta elevado grau de concentração regional, evidenciando que determinadas regiões intermediárias do Paraná possuem forte concentração na geração de energia elétrica a partir desse recurso. Essa concentração manifesta-se, sobretudo, nas regiões intermediárias de Ponta Grossa, Maringá e Londrina, onde a produção está associada ao aproveitamento de matérias-primas provenientes de resíduos florestais na primeira região e de processos agroindustriais (Londrina e Maringá), destacando-se, neste último caso, a utilização da cana-de-açúcar como principal insumo energético.

O uso de fontes fósseis também revela alto grau de concentração regional. Tal concentração sugere a existência de infraestruturas energéticas específicas e de condições locais favoráveis que tornaram essa área mais propícia à instalação e operação desse tipo de fonte. Fajardo e Hersen (2024), em pesquisa que objetivou identificar a especialização na geração de energia elétrica nas diferentes regiões do Estado do Paraná apontam que a Região Intermediária de Curitiba se especializou na geração de eletricidade com uso de combustíveis fósseis, principalmente gás de refinaria e gás natural.

A fonte solar apresenta uma tendência de concentração moderada a elevada, indicando que a expansão da geração de energia fotovoltaica no Paraná ainda ocorre

de forma desigual entre as regiões intermediárias. Observa-se maior predominância na região intermediária de Curitiba, enquanto as demais regiões participam de maneira menos expressiva.

A fonte eólica apresenta baixo grau de concentração regional o que indica uma distribuição mais homogênea, porém caracterizado por uma reduzida representatividade dessa modalidade de geração de energia elétrica nas diferentes regiões intermediária do Paraná. Como já mencionado, esse valor corresponde a menos de 0,1% do total da capacidade instalada de energia gerada no Estado.

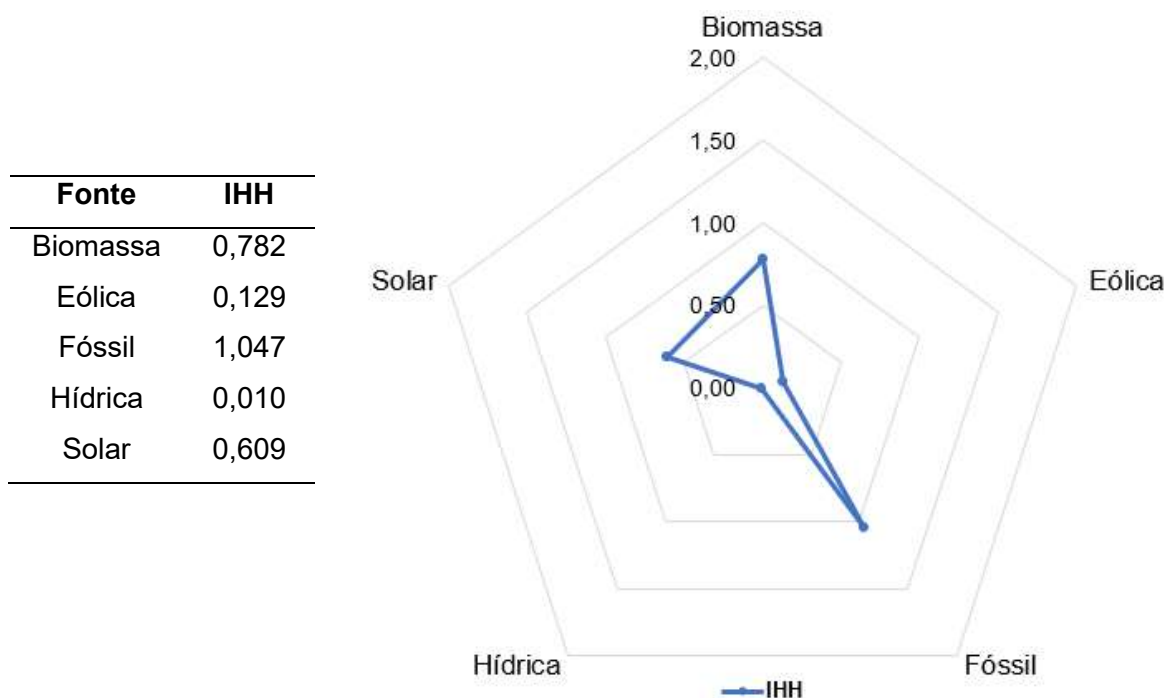
A fonte hídrica apresenta baixo grau de concentração regional, evidenciando que a geração de energia a partir dos recursos hídricos encontra-se amplamente distribuída entre as regiões intermediárias do Paraná. Essa característica reflete a tradicional predominância e capilaridade histórica da matriz hidrelétrica no Estado, consolidada ao longo do processo de desenvolvimento energético paranaense.

Desta forma os resultados evidenciam que o Paraná apresenta concentração regional mais acentuada nas fontes de Biomassa e Fóssil, enquanto as fontes Hídrica e Eólica demonstram menor concentração, refletindo uma distribuição mais equilibrada ou menor representatividade setorial. A energia solar, por sua vez, ocupa uma posição intermediária, revelando um processo de expansão regional ainda em consolidação na geração centralizada.

O índice de Hirschman-Herfindahl foi empregado como instrumento complementar para mensurar o grau de concentração ou dispersão das fontes de geração de energia elétrica no Estado. A utilização desse indicador permitiu avaliar o nível de diversificação das fontes energéticas, bem como a dependência das regiões geográficas intermediárias do estado em relação às diferentes fontes geradoras de energia elétrica.

A Figura 8 apresenta o índice de Hirschman-Herfindahl para as diferentes fontes de energia exploradas no estado do Paraná.

Figura 8 - Índice de Hirschman-Herfindahl por fonte de geração de energia elétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com base nas grandezas identificadas para o índice de Hirschman-Herfindahl nas diferentes fontes de geração de energia elétrica no Estado do Paraná, nota-se também, semelhante ao CL, uma variação significativa no grau de concentração entre as fontes geradoras de energia elétrica exploradas.

A fonte hídrica apresenta o menor IHH (0,010), evidenciando uma alta dispersão geográfica o que favorece a diversificação da geração hidrelétrica no território paranaense. Esse resultado reflete a forte presença histórica e a ampla distribuição das pequenas e médias centrais hidrelétricas (PCHs) em diversas regiões do estado, consolidando-se como a principal fonte tradicional de geração de energia elétrica no Estado (ANEEL, 2024).

Em contraste, a fonte fóssil apresenta o maior IHH (1,047), o que indica elevado grau de concentração da geração de energia elétrica em poucas unidades ou regiões específicas, como é o caso da região intermediária de Curitiba, principalmente vinculadas a grandes empreendimentos a exemplo, segundo a EPE (2024), a Usina Termelétrica de Araucária. Tal resultado sugere dependência localizada dessa fonte, com baixa representatividade espacial no conjunto do território paranaense.

Destaca-se que a geração de energia elétrica proveniente de fontes fósseis não é classificada como renovável, uma vez que depende da queima de combustíveis de

origem não renovável, como o gás natural e o carvão mineral. Tais recursos apresentam formação geológica de longo prazo e não são reabastecidos em escala compatível com o tempo de consumo humano. Esse tipo de fonte está associado a impactos ambientais significativos, incluindo a emissão de gases de efeito estufa, a poluição atmosférica e a contribuição para o aquecimento global (IPCC, 2023). Diante desse contexto, torna-se fundamental o investimento contínuo por parte do Estado e a implementação de políticas públicas voltadas à transição energética, com foco na substituição gradual das fontes fósseis por alternativas renováveis, como a solar, eólica e biomassa, promovendo assim uma matriz elétrica mais sustentável, diversificada e ambientalmente responsável (Souto, 2018; UEM, 2023).

As fontes biomassa e solar apresentam índice intermediário, 0,782 e 0,609 respectivamente, sugerindo um nível moderado de concentração. A biomassa se destaca pela concentração em regiões com forte base agroindustrial, enquanto a solar demonstra crescimento recente, porém ainda com distribuição territorial desigual (Vicentini, 2013; Souto, 2018; UEM, 2023).

Por fim, a geração eólica, IHH de 0,129, indica baixa concentração. Sua grandeza está diretamente ligado a baixa potência instalada, corresponde a menos de 0,1% do total de potência outorgada, não sendo sequer explorada na maioria das regiões do Estado.

De modo geral, a análise do índice Hirschman-Herfindahl revela que o Paraná apresenta uma matriz elétrica diversificada, embora algumas fontes como a fóssil e a biomassa ainda demonstrem concentração regional significativa. Outras, como a hídrica, se caracterizam por ampla dispersão e abrangência territorial. Esses resultados reforçam a importância de se implementar políticas públicas voltadas à expansão equilibrada das fontes renováveis e evitar a exploração de fonte fóssil, visando maior resiliência e sustentabilidade energética no Estado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em busca de entender o cenário da geração centralizada de energia elétrica no Estado do Paraná e sua dinâmica regional para o planejamento energético, uma vez que temos a inserção de fontes renováveis na composição da matriz elétrica no Estado, e de forma a contribuir para uma melhor gestão e suprimento dessa energia, foi possível identificar o cenário atual da concentração das fontes renováveis geradoras de energia elétrica no Estado do Paraná.

O estudo confirmou a hipótese inicial, demonstrando que existe concentração de fontes geradoras de energia elétrica no Estado do Paraná, como é o caso da fonte fóssil, presente na região intermediária de Curitiba.

O objetivo da pesquisa foi analisar as fontes geradoras de energia elétrica renováveis no Estado do Paraná, verificando a concentração regional destas fontes.

Para alcançar os objetivos, foi utilizado o Coeficiente de Localização como indicador estatístico destinado a mensurar o grau de concentração das distintas fontes de geração de energia elétrica nas regiões intermediárias do estado do Paraná, e o índice de Hirschman-Herfindahl, também como instrumento estatístico para mensurar o grau de concentração ou dispersão das fontes de geração de energia elétrica no Estado.

Os resultados sugerem a existência de distintos padrões de concentração regional das fontes de geração de energia elétrica no Estado do Paraná. Evidenciando a heterogeneidade da matriz elétrica estadual. Os resultados demonstram que as fontes fóssil e biomassa apresentam elevados níveis de concentração, como a região intermediária de Curitiba, no caso da geração termelétrica (fontes fósseis). Já a biomassa, nas regiões de Ponta Grossa, Maringá e Londrina. Essa configuração revela um perfil energético ainda parcialmente centralizado, condicionado por fatores locais, disponibilidade de insumos e infraestrutura e recursos naturais existentes.

Por outro lado, as fontes hídrica e eólica apresentaram baixo grau de concentração. A fonte hídrica apresenta maior dispersão territorial entre as regiões intermediárias do Estado e a fonte eólica praticamente não se faz presente no Estado. A predominância da geração hidrelétrica, associada à abrangência histórica desse tipo de empreendimento, reforça a relevância dessa fonte para a segurança energética do Paraná. A energia solar, por sua vez, apresenta um padrão intermediário de concentração.

Em termos estruturais, a avaliação do índice de Hirschman-Herfindahl evidencia que o Paraná possui uma matriz elétrica parcialmente concentrada e que ainda incorpora fonte fóssil em função da infraestrutura existente. Tal constatação reforça a necessidade de planejamento energético integrado e de políticas públicas voltadas à transição energética, incentivando o investimento em fontes renováveis e a descentralização de fontes renováveis de geração elétrica.

Dessa forma, conclui-se que a continuidade da diversificação e a ampliação das fontes renováveis, aliadas à redução da dependência de combustíveis fósseis, representam caminhos estratégicos para a sustentabilidade e segurança do setor de geração de energia elétrica do Estado do Paraná.

Tais medidas contribuem para o aperfeiçoamento estrutural do sistema energético estadual, promovendo maior equilíbrio territorial e ambiental, ao mesmo tempo em que fortalecem o alinhamento do Paraná aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles voltados à dimensão ambiental. Entre eles, destacam-se o ODS 7 (Energia acessível e limpa), o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), que orientam a transição para uma matriz energética de baixo carbono e o cumprimento das metas nacionais e internacionais de descarbonização (ONU, 2015).

Como limitação da pesquisa, os indicadores utilizados medem a concentração e dispersão relativa, mas não captam a totalidade das dinâmicas territoriais, econômicas e tecnológicas associadas à geração de energia. Esses indicadores refletem apenas a estrutura quantitativa da distribuição espacial das fontes de geração de energia elétrica no estado do Paraná, sem considerar variáveis qualitativas, como capacidade tecnológica, eficiência operacional, incentivos fiscais e fatores socioambientais regionais.

Nessa linha de estudo, recomenda-se para trabalhos futuros, realizar uma análise temporal do Coeficiente de Localização e do índice de Hirschman-Herfindahl ao longo dos últimos anos, de modo a identificar tendências evolutivas na diversificação e concentração das fontes de energia elétrica no Paraná, e também desenvolver estudos voltados à análise espacial da geração distribuída (GD), especialmente para as fontes solar (fotovoltaica), que apresenta crescimento acelerado nos últimos anos.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, T. B.; AQUINO, M. C., **Pesquisa aplicada como inovação metodológica no jornalismo: dimensões teórica, empírica e experimental**. Revista Observatório, v. 7, n. 3, p. 1–23, jul.–set. 2021. DOI: 10.20873/uft.2447-4266.2021v7n3a10pt. Acesso em: 19 ago. 2025.
- ALVES, J. E. D., **O crescimento da energia eólica no mundo em 2017**. set. 2018. Disponível em: < <https://www.ecodebate.com.br/2018/02/19/o-crescimento-da-energia-eolica-no-mundo-em-2017-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2025.
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. 3º edição. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Dados abertos, 2025. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/signa-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 3 nov. 2025.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Portal Gov.br, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz elétrica teve aumento de 10,9 GW em 2024, maior expansão da série histórica**. Canal Solar, 7 jan. 2025. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/expansao-matriz-eletrica-2024-recorde/>. Acesso em: 13 ago. 2025
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 282/2024-SFT/ANEEL** (informações sobre a UTE Araucária e operação comercial). Brasília: ANEEL, 2024. Acesso em: 23 out. 2025.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Potência de micro e minigeração distribuída no Brasil atinge 39,2 GW**. Portal Gov.br, 14 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/em-quatro-meses-micro-e-minigeracao-distribuida-cresce-2-8-gw-no-brasil>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- ARAÚJO, A.C. S. da; BASTOS, F. A. de, O. de,. **A biomassa como fonte energética no Brasil**. Revista Gestão - RGSA, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 116-125, 2024. Disponível em: <https://revista.esuda.com.br/index.php/rgsa/article/view/100/100>. Acesso em: 29 set. 2025.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Brasil: uma nova potência regional na economia-mundo**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

BELLUZZO, L. G. M.; ALMEIDA, J. G. **Depois da queda: a economia brasileira da crise da dívida aos impasses do real**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2002.

BIRNFELD, A. **Estudo sobre as opções tecnológicas em energia renovável para aplicação da região Oeste de Santa Catarina**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Estratégica de Negócios) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Empresa de Pesquisa Energética: matriz energética nacional 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz_energetica_nacional_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CAVALCANTE, L. R. M. T. Produção teórica em economia regional: uma proposta de sistematização. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 2, n. 1, p. 65–83, 2008. Disponível em: <https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/download/12/65/162>. Acesso em: 21 ago. 2025.

COLATUSO, R.; ARAÚJO, C.; GOBBI, E. F.; ANDREOLI, F., O aproveitamento da energia solar e as relações com a Educação Ambiental em dois estudos de caso no Paraná. **Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 16, n. 2, p. 293-315, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.10519>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Balanco Energético do Paraná: 1990/2025**. Curitiba: COPEL, 2025. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2025-ano_base_2024/\\$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2025_Ano_Base_2024.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2025-ano_base_2024/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2025_Ano_Base_2024.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2025.

COSTA, S. P. B. et al., Pacto Global no Brasil: uma confrontação entre os compromissos assumidos e os avanços divulgados. **Revista Holos**, ano 32, v. 3, p. 274–289, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.1905. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/1905/1498/12815>. Acesso em: 26 set. 2025.

COSTABILE, F. O.; SIMÕES, A.F.; COSTA, H. K. M. de., **Transição energética justa no Brasil: análise crítica sobre a Lei 14.299 de 2022 com base no framework analítico proposto por McCauley e Heffron para transições justas**. Sociedade e Território, v. 37, n. 1, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/37865>. Acesso em: 26 set. 2025.

COUTINHO, M. R. A contribuição das atividades econômicas de base agropecuária na geração de emprego e massa salarial para os municípios de Mato Grosso do Sul. 2017. **Dissertação** (Mestrado em Administração) – Curso de Administração, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017.

DERÍSIO, J. C., **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DINIZ, C. C., **A busca de um projeto de nação: o papel do território e das políticas regional e urbana**. Revista *Economia Anpec*, v. 7, n. 4, p. 1–18, 2006. Disponível em: https://portaltantigo.ipea.gov.br/cursodimacccf/conteudo_belo_horizonte/PDFS/Campolina2006RevAnpec.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.

EMBER. **El 41% de la electricidad mundial se genera ya con fuentes sin emisiones: nueve gráficos para entender la transición energética global**. *El País*, 8 abr. 2025. Disponível em: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-04-08/el-41-de-la-electricidad-mundial-se-genera-ya-con-fuentes-sin-emisiones-nueve-graficos-para-entender-la-transicion-energetica-global.html>. Acesso em: 13 ago. 2025.

EMBER. **Global Electricity Review 2025**. Londres: Ember, 2025. Disponível em: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2024: Ano base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 6 nov. 2025.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2025: Relatório Síntese – Ano base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-relatorio-sintese-do-balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 13 ago. 2025.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia**. Nota Técnica DEA 13/15. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2023> >. Acesso em: 17 abr. 2025.

FAJARDO, S.; HERSEN, A., A geração de energia elétrica das diferentes regiões do Paraná: origem e especialização. In: SIMPÓSIO EM BIOENERGIA, 4., 2024, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: Unicentro, 2024. p. [informar a numeração das páginas]. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/iv-simposio-em-bioenergia-globalizando-a-energia-sustentavel-473886/974223-a-geracao-de-energia-eletrica-das-diferentes-regioes-do-parana---origem-e-especializacao/>. Acesso em: 23 out. 2025.

FIGUEIREDO, A., Economia Regional em R: **Indicadores de localização**. Netlify, 6 maio 2020. Disponível em: <https://adrianofigueiredo.netlify.app/post/economia-regional-em-r-indicadores-de-analise-3/>. Acesso em: 30 set. 2025.

FRANCO, R. M.C.; MENEZES, W. F.; VASCONCELLOS, F. C., Análise sinótica e de mesoescala de ventos intensos com impacto destrutivo em linhas de transmissão de energia elétrica no Paraná. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3177–3194, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3177-3194>>. Acesso em 23 abr. 2025.

FREITAS JUNIOR, V.; CARVALHO, W. Os Desafios para a consolidação da pesquisa aplicada no Instituto Federal Catarinense. **Revista Metodologias e Aprendizado**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 63-79, 2020.

FREITAS, W.; JABBOUR, C., Utilizando estudo de caso (s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. **Revista Estudo & Debate**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 1-16, 2011.

FURNAS. **Sistemas Furnas de geração e transmissão**. 2025. Disponível em: <http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema-furnas/usina_hidr_funciona.asp>. Acesso em: 24 abr. 2025.

FURTADO, Celso. **Formação econômica do Brasil**. 29. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

GIRARDI, G. C.; PICININ, C. T.; RUBBO, P. Evolução do desenvolvimento socioeconômico de municípios lindeiros no Oeste do Paraná. **Revista Científica Multidisciplinar RECIMA21**, v. 2, n. 9, 2021.

GLOBAL CARBON PROJECT. **Emissões de CO₂ por combustíveis fósseis devem bater recorde em 2023, diz estudo**. Jornal Cana, 2023. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/administracao/gestao-administrativa/emissoes-de-co2-por-combustiveis-fosseis-deve-bater-recorde-em-2023-diz-estudo/>. Acesso em: 23 set. 2025.

GOMES; A. C. S.; ABARCA, C. D. G.; FARIA, E. A. S. T.; FERNANDES, H. H. O. **O setor elétrico**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13975/3/BNDES%2050%20anos%20-%20O%20setor%20el%C3%A9trico_P_BD.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

HAGGETT, Peter. *Geografia: Uma Síntese Moderna*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1990.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentals of Physics**. 10. ed. New York: Wiley, 2014.

HIRSCHMAN, Albert O. **The strategy of economic development**. New Haven: Yale University Press, 1958.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Geográfica Intermediária do Paraná**. IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/Regi%C3%B5es%20Geogr%C3%A1ficas%20Intermedi%C3%A1rias%20%28IBGE%29%20-%20Paran%C3%A1.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto (PIB) de 2022** — Paraná: R\$ 614,61 bilhões; 4ª maior economia brasileira, atrás de SP, RJ e MG. (Fonte: Governo do Estado do Paraná, 14 de novembro de 2024).

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Resumo para formuladores de políticas. IPCC, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

IPEA. **Desigualdades regionais no Brasil: década de 2000**. Brasília: Ipea, 2011.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Condições e perspectivas da oferta de energia elétrica no Paraná**. Curitiba: IPARDES, 2025. Disponível em: https://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_sumario_executivo.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu entra no Guinness World Records como maior produtora de energia acumulada**. 12 jun. 2024. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/noticias/sala-de-imprensa/itaipu-entra-no-livro-dos-records-como-maior-produtora-de-energia-acumulada>. Acesso em: 12 ago. 2025.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J.; REDLINGER, R., **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: oferta, demanda e suas interfaces**. 2. ed. Rio de Janeiro: IEI Brasil, 2018. Disponível em: <https://iei-brasil.org/livro-pir/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

KELMAN, N., **Usinas despacháveis e intermitentes**. Folha de S. Paulo, São Paulo, 22 ago. 2024. Opinião. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/kelman/2024/08/usinas-despachaveis-e-intermitentes.shtml>. Acesso em: 29 set. 2025.

KISHINAMI, R. **Impactos de mudanças na matriz elétrica brasileira**. Instituto Escolhas: 2017. Disponível em: http://escolhas.org/wpcontent/uploads/2017/04/FD_210x280mm_ENERGIA_14.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

KRUGMAN, Paul R. **Geography and trade**. Cambridge: MIT Press, 1991.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A., **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LOGWEB. **Paranaguá é o maior porto graneleiro da América Latina**. 18 set. 2018. Disponível em: <https://logweb.com.br/paranagua-e-o-maior-porto-graneleiro-da-america-latina/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

LOURENÇO, I.; SILVA, A. **Gestão sustentável nas empresas**: estratégias para o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Atlas, 2020.

MAGALHÃES, M. B. **Paraná**: política e governo. Curitiba: (Col. História do Paraná, 2. edição eletrônica) Seed, 2017. Disponível em: http://bibliotecadigital.tse.jus.br/xmlui/bitstream/handle/bdtse/5317/2017_magalhaes_parana_politica_governo.pdf?squence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 abr. 2025.

MAPASBR. 2025. Disponível em: https://www.mapasbr.com.br/baixar/parana-municipios-regioes-powerpoint/?srsltid=AfmBOopkKpQMBVSEt11Kpp73p2VI2sHWucr_cUSyUvQcBXvq77xMwN_i. Acesso em: 12 ago. 2025

MATTEI, T. F.; MATTEI, T. S., Métodos de Análise Regional: um estudo aplicado nas macrorregiões do Paraná. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 574-597, mai/ago. 2017.

MATTEI, T. F.; PARRÉ, J. L., **Panorama do Setor de Energia Elétrica no Brasil e no Paraná: Políticas e desafios para Energia Alternativas**. Revista faz Ciência, [S. l.], v. 23, n. 38, 2021. DOI: 10.48075/rfc.v23i38.26751. Disponível em: <https://e- revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/26751>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MONASTERIO, L. M., *Notas sobre o uso de indicadores de concentração e especialização regional*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2011. (Texto para Discussão, nº 1573).

MORAIS, L. C., **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de São Paulo, Bauru-SP, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/132645>. Acesso em: 14 abr. 2025.

NAGEL, P., C. A.; JANNUZZI, P. Indicadores socioeconômicos e análise regional: fundamentos da centralidade do Quociente Locacional. **Informe GEPEC**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 378–399, 2022.

NOGUEIRA, H. A. S.; AGUIAR, R.S.; GISI, M. L. A importância dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia para a redução da desigualdade educacional no Brasil. **Política e Gestão Educacional**, Araraquara, v. 27, n. 00, e023029, 2023. e-ISSN: 1519-9029. DOI: <https://doi.org/10.22633/rpge.v27i00.18005>.

OLIVEIRA, G. A.; SILVA, F. C. Análise da viabilidade técnica e ambiental da energia eólica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 78-95, 2020.

ONU BRASIL. ODS 7: **Energia acessível e limpa**. Nações Unidas Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/07>. Acesso em: 23 set. 2025.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 06 nov. 2025.

ORTEGA, M. R. **O Paraná na era da eletricidade**. A era da eletricidade, 2016. Disponível em: < <https://aeradaeletricidade.blogspot.com/2016/07/energia-parana.html> >. Acesso em: 15 abr. 2025.

PAIVA, C. R.; MACIEL, C. S., Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 133, p. 227-243, jul./dez. 2017. Disponível em: <http://observatoriodageografia.uepg.br/files/original/33daa603975504f1d085314ddeb4baf6a2151ed.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

PARANÁ. Governo do Estado. Comitê de Infraestrutura debate o planejamento energético do Paraná em reunião semanal. **Movimento Pró-Paraná**, 22 ago. 2025. Disponível em: <https://proparana.org.br/noticia/comite-de-infraestrutura-debate-o-planejamento-energetico-do-parana-em-reuniao-semanal/>. Acesso em: 14 out. 2025.

PEREIRA, V.; et al., **Análise da compatibilidade de parques eólicos com a agricultura em regiões de baixa densidade populacional**. In: Congresso Brasileiro de Energia Renovável, 2022, Recife. Anais... Recife: CBE, 2022.

PERROUX, François. Note sur la notion de "pôle de croissance". **Économie Appliquée**, Paris, v. 8, n. 1-2, p. 307-320, 1955.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de, *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 3. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2022.

PRYOR, T.; KOWALCZYK, J.; HEFFERNAN, D. **Exemplo que vem da Islândia**. Plurale, [S. l.], 11 fev. 2008. Disponível em: <https://www.plurale.com.br/site/noticias-detalhes.php?cod=732&codSecao=3>. Acesso em: 29 set. 2025.

REUTERS. **A mid-year check-up on global energy transition progress**. 24 jul. 2025. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/mid-year-check-up-global-energy-transition-progress-2025-07-24/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

RONDINELLI JÚNIOR, F. **Energia nuclear no Brasil: avanços, desafios e a necessidade de um debate equilibrado**. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/ultimas-noticias/cnen-comenta-reportagem-do-fantastico-sobre-conclusao-de-angra-3-exploracao-de-minerio-e-necessario-um-debate-equilibrado>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SANTOS, J.; SOUZA, M.; PEREIRA, A. Estudos de caso na pesquisa científica: abordagem metodológica e aplicações. **Revista de Pesquisa e Metodologia**, v. 12, n. 3, p. 45–61, 2021.

SANTOS, R. S.; VALE, C. P. do; BOGONI, B.; KIRKEGAARD, P. H., **Investigação de Campo Qualitativa em Contexto Educacional**: definição e considerações. *Novas tendências em pesquisa qualitativa*, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 190–199, 2021. DOI: 10.36367/ntqr.7.2021.190-199. Disponível em: <https://publi.ludomedia.org/index.php/ntqr/article/view/319>. Acesso em: 12 ago. 2025.

SANTOS, T.; SANTOS, L., **Economia do meio ambiente e da energia**: fundamentos teóricos e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SEBRAE. **Saiba como é produzida a energia a partir da biomassa**. Brasília, DF, 18 fev. 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saiba-como-e-produzida-a-energia-a-partir-da-biomassa,a815a51c4a034810VgnVCM100000d720020aRCRD>. Acesso em: 29 set. 2025.

SILVA, A.; LOPES, M., **Energia renovável no Paraná**: desafios e perspectivas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <https://www.ufpr.br/revistas/energia-renovavel-parana.pdf>. Acesso em: 26 set. 2025.

SILVA, B. G., **Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12032012-091848/en.php>>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SILVA, M. A. da., **Potencial da biomassa florestal para produção energética em uma empresa do ramo madeireiro no estado de Minas Gerais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SION, A. O. **Energia e Meio Ambiente – Tomo II**. Synergia Editora, 2021.

SOUTO, ... et al. (vários autores) Potencial da bioenergia através da biomassa da cana-de-açúcar no Brasil: análise e implicações. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 11, n. 2, p. 409-429, abr./jun. 2018.

SOUZA, M. A. de., **Modelo e estudo de sobretensões de energização e descarga atmosférica nos padrões compacto e supercompacto urbanos de linhas de distribuição de alta tensão 138 kV**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

TAVARES, R.; et al., **A flexibilidade operacional das térmicas e os reservatórios**. PSR, Inc., 2023. Disponível em: <https://www.psr-inc.com/wp-content/uploads/2023/04/Tavares-A-flexibilidade-operacional-das-termicas-e-os-reserv.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

TIEPOLO, G. M. et al., Atlas de energia solar do estado do Paraná - Resultados. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 1, p. 01-10, 2018. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/229>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

TIEPOLO, L. M.; ROCHA, C. C.; BAUMGARTNER, G. *Impactos ambientais de aproveitamentos hidrelétricos no Brasil*. Curitiba: UFPR, 2017.

UEM - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ. Projeto / notícia: aproveitamento de bagaço de cana-de-açúcar — iniciativas de pesquisa e transferência tecnológica (ex.: projeto Biosolutions / Max G2). Seti / UEM, 2023. Disponível em: <https://www.seti.pr.gov.br/Noticia/Projeto-da-UEM-aproveita-bagaco-de-cana-de-acucar-para-aumentar-producao-de-etanol>. Acesso em: 23 out. 2025.

USP. **Água e Ciclo hidrológico**. In: E-AULAS USP, 2024. 1 vídeo (aprox. 14 min). Disponível em: <https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=399>. Acesso em: 29 set. 2025.

VAZ, J. C.; SOUZA, F. C.; O desenvolvimento regional no Brasil: uma análise histórica e perspectivas. In: CANO, Wilson; DINIZ, Clélio C. (org.). **Economia regional e políticas públicas**. Belo Horizonte: CEDEPLAR/UFMG, 1999. p. 11-40.

VICENTINI, M. E. Biomassa de resíduos da cana-de-açúcar: usos e potencial no Paraná. Monografia/Relatório — Universidade Estadual de Londrina (UEL), 2013 (ou s.d.). Disponível em: <https://repositorio.uel.br/bitstreams/13a01abc-759c-449c-9cd0-47ecc56cc521/download>. Acesso em: 23 out. 2025.

WILLIS, R., **A História do Fogo e da Energia na Evolução Humana**. São Paulo: Editora Ciência, 2020.

YIN, Robert K. Estudo de caso: **planejamento e métodos**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.