



A Transição Energética no Brasil e China: avanços das tecnologias de energia eólica e solar

Iara Fernanda Venturine Machiavelli;¹
João Paulo Carvalho;²
Rogério Gomes³.

Resumo: A transição energética tem se consolidado como agenda central no debate econômico e ambiental global, impulsionada pela intensificação das mudanças climáticas e pela necessidade de reduzir emissões de gases de efeito estufa. Contudo, a expansão de fontes renováveis não implica, necessariamente, substituição efetiva de matrizes fósseis, o que torna analiticamente relevante distinguir transição energética de simples diversificação da matriz. Nesse contexto, este artigo analisa comparativamente as trajetórias de Brasil e China no avanço das energias renováveis, com ênfase em energia eólica e energia solar fotovoltaica. O objetivo é investigar em que medida o crescimento dessas fontes configura um processo de transição energética ou se aproxima de uma diversificação condicionada por trajetórias produtivas e institucionais. A análise é orientada pela teoria da diversificação de Penrose e pelo conceito de regime tecnológico, conforme Malerba, que enfatiza o papel das interações entre empresas, instituições e políticas públicas na conformação de caminhos tecnológicos. Metodologicamente, o estudo adota delineamento descritivo-analítico e comparativo, com base em dados secundários de capacidade instalada e geração de eletricidade por fonte energética, no período 2000–2023. Os resultados indicam que China e Brasil apresentam aumento de capacidade instalada e de geração elétrica em eólica e solar, embora partam de estruturas e trajetórias de matriz substancialmente distintas. Em termos interpretativos, o padrão observado é compatível com a influência de compromissos e diretrizes internacionais associados à agenda climática, que reforçam metas de mitigação e induzem a organização de instrumentos domésticos de política e investimento voltados à expansão de renováveis.

Palavras-chave: transição energética; diversificação energética; energia renovável; Brasil e China.

Código JEL: O33; Q42; Q54.

Área Temática: 7.3 Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade.

¹ Universidade Estadual Paulista UNESP. E-mail: iara.fernanda@unesp.br

² Universidade Estadual Paulista UNESP. E-mail: joao.p.carvalho@unesp.br

³ Universidade Estadual Paulista UNESP. E-mail: rogerio.gomes@unesp.br

Energy Transition in Brazil and China: advances in wind and solar energy technologies

Abstract: The energy transition has become a central agenda in global economic and environmental debates, driven by the intensification of climate change and the need to reduce greenhouse gas emissions. However, the expansion of renewable sources does not necessarily entail an effective substitution away from fossil-based energy systems, which makes it analytically relevant to distinguish an energy transition from a mere diversification of the energy mix. In this context, this article provides a comparative analysis of Brazil's and China's trajectories in the expansion of renewable energies, with an emphasis on wind power and solar photovoltaics. The main objective is to assess to what extent the growth of these sources constitutes an energy transition process or rather resembles an energy diversification path conditioned by productive and institutional trajectories. The analysis is grounded in Edith Penrose's diversification theory and in Malerba's concept of technological regime, which highlights the role of interactions among firms, institutions, and public policies in shaping technological pathways. Methodologically, the study adopts a descriptive-analytical and comparative design, based on secondary data on installed capacity and electricity generation by energy source for the period 2000–2023. The results indicate that both China and Brazil have expanded installed capacity and electricity generation in wind and solar, although they start from substantially different energy-system structures and historical trajectories. From an interpretive standpoint, the observed pattern is consistent with the influence of international commitments and guidelines associated with the climate agenda, which strengthen mitigation targets and foster the organization of domestic policy and investment instruments aimed at expanding renewables.

Keywords: energy transition; energy diversification; renewable energy; Brazil and China.

1. Revisão de literatura

1.1 Diversificação e Regime Tecnológico

A tradição evolucionária, consolidada a partir de Nelson e Winter (1982), encontrou em Penrose (1959) uma formulação decisiva para compreender a firma como organização que cresce e se transforma em ambiente de incerteza, por meio da recombinação de recursos, competências e conhecimentos. Nessa perspectiva, a vulnerabilidade associada à especialização estrita emerge quando as oportunidades produtivas e as condições de demanda mudam de forma relevante, de modo que a firma que depende de um único produto ou de um único mercado fica mais exposta a choques competitivos e a mudanças de trajetória tecnológica. É nessa chave que Penrose (1959) argumenta que, diante da “natureza mutável das oportunidades produtivas”, a aposta em apenas um produto tende a elevar a fragilidade estratégica frente à incerteza de mercado, especialmente em setores marcados por mudanças tecnológicas e por ciclos de investimento longos.

A comparação com a leitura ortodoxa da especialização permite explicitar a contribuição analítica dessa abordagem. Em leituras tradicionais, a especialização é frequentemente associada a ganhos de eficiência e aperfeiçoamento produtivo, de modo que o desempenho seria função do aprofundamento de capacidades em uma linha de produto. A tradição evolucionária também reconhece a centralidade do aperfeiçoamento, mas o interpreta por meio do conceito de rotinas, aprendizagem e busca tecnológica, entendendo a firma como agente que acumula capacidades e, por isso, pode tanto aprofundar quanto recombina competências. Penrose (1959) sustenta que o investimento tecnológico é relevante para sustentar vantagens competitivas, mas amplia o argumento ao observar que grandes firmas não estruturam expectativas de lucros extraordinários exclusivamente sobre um único produto; em vez disso, mobilizam sua base de recursos para explorar novas oportunidades de maneira cumulativa.

Nessa formulação, a diversificação não é mero espriamento de portfólio, mas um processo condicionado por uma base produtiva ou tecnológica preexistente, que delimita o conjunto de opções factíveis de expansão. Assim, a teoria da diversificação parte da ideia de que, a partir de um conjunto tecnológico bem conhecido e aplicado na firma, é possível produzir o produto principal e, simultaneamente, explorar derivativos desse mesmo conjunto de conhecimentos para ampliar o leque de produtos no mercado já atendido, ou para acessar novos mercados (Penrose, 1959).

A autora também considera a possibilidade de diversificação apoiada em tecnologias novas, fora da base produtiva original, tanto para o mesmo mercado quanto para mercados distintos, o que amplia o espectro de trajetórias possíveis, mas eleva custos de coordenação, riscos tecnológicos e exigências de investimento. Nessa lógica, quanto mais radical é a diversificação, no sentido de combinar nova tecnologia e novo mercado, maior tende a ser o esforço necessário para superar a concorrência já posicionada no nicho, o que faz com que a decisão de diversificar dependa do tamanho da oportunidade percebida e do potencial de lucratividade incremental (Penrose, 1959).

A articulação entre diversificação e inovação também depende do setor, pois padrões de geração e difusão tecnológica variam sistematicamente entre atividades econômicas. Nesse ponto, a taxonomia de Pavitt (1984) é mobilizada para sustentar que setores diferem quanto às fontes de inovação e quanto ao peso relativo de P&D, distinguindo, de forma geral, firmas dominadas por fornecedores, firmas intensivas em produção e firmas baseadas em ciência. O argumento relevante para este artigo é que, em setores baseados em ciência, a inovação e a diversificação de produtos tendem a requerer investimentos mais intensivos e organizados em pesquisa, uma vez que o diferencial competitivo é fortemente condicionado pela capacidade de produzir, absorver e aplicar conhecimento novo (Pavitt, 1984).

A partir dessa diferenciação setorial, torna-se necessário situar a firma em um contexto de interdependências que ultrapassa seus limites organizacionais. Malerba (2002) oferece uma formalização adequada ao propor o conceito de Sistemas Setoriais de Inovação e Produção, no qual a dinâmica competitiva e tecnológica decorre não apenas de estratégias empresariais individuais, mas da configuração de agentes, instituições e interações que estruturam a criação, produção e difusão de inovações em cada setor. Nessa abordagem, a concorrência coexiste com cooperação e com complementariedades produtivas, de modo que a trajetória tecnológica típica de um setor tende a refletir padrões de relação com fornecedores, distribuidores, prestadores de serviços, instituições de ciência e

tecnologia e organismos públicos.

Malerba (2002) enfatiza, nessa direção, tanto as relações verticais, associadas à cadeia produtiva e a vínculos com fornecedores e usuários, quanto as relações horizontais, associadas a interações entre concorrentes e organizações no mesmo nível de mercado, além da distinção entre agentes de mercado e agentes de não-mercado, incluindo instituições públicas.

É nesse espaço de interações que se consolida um regime tecnológico setorial, entendido aqui como a combinação entre base de conhecimento, oportunidades tecnológicas, mecanismos de aprendizagem, condições de apropriabilidade e restrições técnicas e institucionais que condicionam a direção e o ritmo da inovação. Em termos analíticos, isso implica que decisões de investimento, diversificação e inovação não são tomadas em vácuo, mas em função das possibilidades e limites associados ao regime tecnológico e à arquitetura institucional do sistema setorial, o que orienta a firma a buscar soluções coerentes com as especificidades do setor e a responder a gargalos que são, frequentemente, coletivos e sistêmicos (Malerba, 2002).

Essa moldura é útil para interpretar processos de diversificação no setor energético quando se reconhece a mudança de escala analítica, da firma para o país, como uma analogia, onde a matriz pode ser interpretada como um portfólio de fontes energéticas condicionado por capacidades tecnológicas acumuladas, ativos instalados e instituições regulatórias. Nessa leitura, a diversificação de fontes pode ser compreendida como resposta a choques de preços, restrições de oferta e riscos geopolíticos, como no caso da expansão de hidrelétricas no Brasil após o choque do petróleo na década de 1970, associada a objetivos de segurança energética e redução de dependência externa (Werner; Lazaro, 2023).

De modo semelhante, o aumento de volatilidade e de preços do gás no contexto da guerra na Ucrânia recolocou a segurança de suprimento no centro da política energética europeia, intensificando esforços de diversificação e de coordenação de compras e estoques (Stojanović; Zakić, 2024). Em ambos os casos, a diversificação aparece como resposta racional a vulnerabilidades do sistema, mas não se confunde automaticamente com transição no sentido estrito, pois transição pressupõe, adicionalmente, direção deliberada de mudança tecnológica e institucional para redução sustentada de emissões e substituição progressiva de fontes intensivas em carbono.

É nesse ponto que a literatura recente enfatiza que a transição energética demanda mais do que recomposição incremental do portfólio energético, exigindo transformação institucional e coordenação de políticas para reorientar investimentos, padrões tecnológicos e comportamento dos agentes em direção a metas ambientais e climáticas (Werner; Lazaro, 2023). Nessa direção, o regime tecnológico da geração de energia tende a ser redefinido por uma combinação de instrumentos de política, mudanças regulatórias, investimentos em infraestrutura e alinhamento de incentivos, em um contexto em que a emergência climática opera como restrição global e como vetor de direcionamento tecnológico.

1.2 O Acordo de Paris e o Papel Estatal para a promoção de suas diretrizes

A mudança do clima deixou de ser apenas um tema de agenda discursiva e passou a estruturar um domínio de governança internacional com mecanismos formais de compromisso, monitoramento e revisão periódica de metas, operando como constrangimento e, simultaneamente, como orientação para políticas domésticas. Nesse contexto, a transição energética tende a ser tratada como compromisso público que ultrapassa a lógica microeconômica de maximização de lucros no curto prazo, dado que envolve externalidades globais, principalmente considerando a emergência climática (Devadasa; Laxminarayana, 2023; UNFCCC, 2025). O papel do Estado, nessa moldura, não se restringe a corrigir falhas de mercado em sentido estreito, mas inclui organizar prioridades, reduzir incertezas regulatórias, construir capacidades e sustentar instrumentos que viabilizem trajetórias tecnológicas ainda não plenamente competitivas em sua fase inicial.

A literatura histórica sobre *catching-up* e transformação produtiva reforça essa interpretação ao registrar que processos de mudança estrutural e superação de crises foram frequentemente acompanhados por pacotes de política industrial e por estratégias estatais persistentes, com coordenação entre instrumentos e objetivos de longo prazo. Nessa linha, Salazar-Xirinachs et al. (2014) articulam evidências históricas de que políticas industriais desempenharam papel relevante no período dos anos de ouro do pós-Segunda Guerra Mundial e em experiências asiáticas de desenvolvimento, nas quais estratégias sustentadas e institucionalmente ancoradas priorizaram formação de capacidades, base de

conhecimento e difusão tecnológica.

Essa discussão se torna particularmente relevante na transição energética porque tecnologias emergentes em estágios iniciais frequentemente apresentam riscos tecnológicos e financeiros elevados, com retornos privados incertos, o que reduz a atratividade do investimento exclusivo pelo setor privado. O Estado, então, tende a operar como agente de compartilhamento de riscos, seja por investimento direto, garantias, compras públicas, crédito direcionado, incentivos e regulação, seja por desenho de mercados que viabilizem demanda e aprendizagem tecnológica. Nessa direção, a literatura recente enfatiza que investimento público em tecnologias verdes pode reduzir risco, criar previsibilidade e, com isso, destravar investimento privado, especialmente quando articulado a regulação e coordenação institucional (Meckling et al., 2022). Em termos de objetivos, políticas industriais orientadas à transição podem incorporar simultaneamente metas ambientais e metas econômicas, como criação de empregos, adensamento produtivo, aumento de valor agregado e consolidação de setores estratégicos (Salazar-Xirinachs et al., 2014).

No caso brasileiro, o debate sobre transição energética frequentemente mobiliza o argumento de que condições naturais e trajetórias históricas específicas podem ampliar o espaço de política para tecnologias renováveis, com potencial de aprofundar capacidades produtivas e tecnológicas diante de uma demanda global crescente. A implicação analítica é que instrumentos de política observados em países com desempenho destacado em renováveis podem informar o desenho de uma política industrial verde doméstica, desde que haja compatibilização institucional e clareza sobre objetivos, prazos e instrumentos.

Nesse marco, o Acordo de Paris constitui referência central da governança climática contemporânea por ter sido adotado em 12/2015 no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, estruturando compromissos nacionais por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas e estabelecendo como objetivo manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para limitar esse aumento a 1,5°C (UNFCCC, 2025). Além disso, o Acordo orienta um horizonte de longo prazo de alinhamento entre emissões e remoções, frequentemente operacionalizado, nas políticas nacionais, como metas de neutralidade climática ou net zero, ainda que a concretização ocorra por caminhos institucionais e setoriais heterogêneos entre países (UNFCCC, 2025). Em consequência, o debate sobre transição energética passa a ser também debate sobre capacidade estatal de planejamento, coordenação e monitoramento, uma vez que o cumprimento de metas requer alteração de incentivos, expansão de infraestrutura e reconfiguração do regime tecnológico do setor energético, com efeitos distributivos e intersetoriais relevantes.

2. Brasil e China: suas trajetórias frente a fontes energéticas

A trajetória chinesa recente no campo de energia eólica e energia solar fotovoltaica pode ser interpretada como um caso de direcionamento estatal e coordenação institucional do regime tecnológico do setor elétrico, articulando planejamento, instrumentos econômicos e reorganização de incentivos. Embora a lógica dos planos quinquenais seja estrutural e anterior, a intensificação de metas climáticas e energéticas desde meados dos anos 2000 tornou mais explícita a combinação entre objetivos de redução de emissões, expansão de renováveis e fortalecimento do mercado interno associado a cadeias industriais estratégicas.

Nesse contexto, medidas regulatórias e diretrizes setoriais coordenadas pela Administração Nacional de Energia são tratadas na literatura como marcos relevantes de institucionalização do deslocamento da matriz para opções menos intensivas em carbono (Stojanović; Zakić, 2024). Em termos agregados, a evidência internacional tem indicado a China como vetor central do crescimento global de eólica e solar na década recente, tanto em capacidade instalada quanto na dinâmica de expansão, o que torna o país chave para explicar a aceleração global da eletricidade renovável.

No plano de investimento, a magnitude do esforço chinês em tecnologias de transição é frequentemente sintetizada por estimativas de investimento em *energy transition*, nas quais a China aparece como maior destino individual de capital em 2022, em cálculo que inclui renováveis, eletrificação do transporte e outras tecnologias relacionadas (Stojanović; Zakić, 2024). Essa escala opera

como mecanismo de aceleração de aprendizagem, redução de custos e consolidação de capacidades produtivas, reforçando o argumento de que a transição é um processo sistêmico, dependente de coordenação e de política pública, e não um simples ajuste espontâneo de mercado.

Um componente relevante dessa arquitetura institucional é a expansão de instrumentos de financiamento verde sob orientação regulatória, tratada na literatura como condição para ampliar crédito, títulos e mecanismos alinhados a projetos sustentáveis, ainda que com riscos de inconsistência regulatória e de alocação de recursos em atividades que não promovam descarbonização efetiva. Nesse sentido, Du et al. (2023) discutem a relevância de instrumentos como títulos verdes e crédito verde e, simultaneamente, a necessidade de aperfeiçoamentos regulatórios para reduzir arbitragens e evitar migração de financiamento para atividades não renováveis. A coerência do regime tecnológico, portanto, depende de como regras de elegibilidade, classificação e monitoramento evoluem e de como o Estado sustenta a disciplina do *policy mix* ao longo do tempo, com instrumentos que combinem expansão de oferta renovável, redes, armazenamento e sinalização econômica.

Em direção convergente, mecanismos de mercado, como certificados negociáveis de eletricidade renovável e dispositivos para promover produção, comercialização e consumo de energia verde, são tratados como instrumentos de integração das renováveis ao mercado convencional, contribuindo para reduzir barreiras de difusão e para criar rastreabilidade e incentivos de demanda (Yang; Xie; Tan, 2024).

A trajetória brasileira, por sua vez, tende a ser mais bem compreendida como um caso em que a diversificação de fontes renováveis no setor elétrico emerge simultaneamente de uma base histórica de elevada participação hídrica e de vulnerabilidades associadas a choques de oferta e risco hidrológico. A crise de 2001 é mobilizada na literatura como ponto de inflexão que tornou evidente o custo sistêmico da dependência de hidrelétricas e fortaleceu a agenda de diversificação, inclusive por razões de segurança de suprimento, com implicações para desenho regulatório e planejamento setorial (Wills; Westin, 2019; Werner; Lazaro, 2023).

Nesse quadro, programas como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, referido como Proinfa, aparecem como mecanismos de política para ampliar a participação de fontes alternativas no início dos anos 2000, combinando desenho institucional e contratos para viabilizar investimentos em eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (Wills; Westin, 2019). Do ponto de vista jurídico-institucional, o registro de que o Proinfa foi instituído pela Lei nº 10.438/2002 contribui para reforçar a rastreabilidade normativa do argumento quando o texto discute a institucionalização dessa agenda (Brasil, 2002).

Em paralelo, a difusão da geração distribuída, com protagonismo da tecnologia solar fotovoltaica, pode ser interpretada como mecanismo de diversificação descentralizada com efeitos sobre o regime tecnológico e regulatório, pois depende de regras de acesso à rede, compensação e sinalização econômica. A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 é o marco que institui as condições de micro e minigeração e o sistema de compensação, possibilitando que excedentes sejam injetados na rede e compensados no consumo, e sua importância aparece tanto em registros institucionais quanto na literatura utilizada no artigo (Brasil, 2012; Wills; Westin, 2019). Essa dimensão é crucial para a comparação com a China porque desloca o foco de grandes projetos para um arranjo de difusão tecnológica dependente de regulação de distribuição, crédito, tributação e padronização técnica, com desafios próprios de integração e de custos de sistema.

No ciclo mais recente, a Nova Indústria Brasil pode ser apresentada como eixo de política industrial associado à transição e à segurança energética, com missões e instrumentos que buscam coordenar atores, metas e financiamento (Nova Indústria Brasil, 2023). Para manter precisão conceitual e documental, a exposição tende a ficar mais robusta quando distingue, no próprio texto, o nível programático, relativo a missões, metas e governança; o nível instrumental, relativo a crédito, subvenção, compras públicas, regulação e mecanismos de indução de demanda; e o nível orçamentário-financeiro, relativo a montantes, horizonte temporal e distinção entre recursos públicos e privados, sempre conforme as discriminações explícitas do material oficial citado.

Por fim, para conectar a comparação Brasil-China ao arcabouço do Acordo de Paris e à mensuração de ambição climática, é relevante tratar as NDCs (Contribuições Nacionalmente Determinadas, em inglês) como mecanismo de compromisso, transparência e revisão. No ajuste formalizado pelo Brasil em 2023 junto à UNFCCC, o país reafirma o objetivo de neutralidade climática

em 2050 e explicita metas em termos absolutos para 2025 e 2030, o que permite ancorar empiricamente a discussão sobre ambição e sobre a coerência entre metas e instrumentos. Com isso, a comparação pode ser formulada com maior precisão: enquanto a China estrutura objetivos de pico de emissões e neutralidade em horizonte mais longo e sustenta expansão acelerada de renováveis com planejamento e instrumentos de coordenação, o Brasil combina matriz elétrica historicamente renovável com o desafio de reduzir vulnerabilidade hidrológica, expandir eólica e solar, integrar geração distribuída e alinhar política industrial e financiamento a metas climáticas formalizadas em NDC.

3. Metodologia

A partir da leitura do empenho de Brasil e China em reduzir emissões de gases de efeito estufa, em especial no contexto do Acordo de Paris de 2015, este trabalho objetiva demonstrar a evolução dessa agenda por meio de uma análise temporal, no período 2000–2023, baseada em dois indicadores centrais do setor elétrico: geração de eletricidade e capacidade instalada. A opção por esses indicadores busca captar, simultaneamente, a dinâmica efetiva de produção elétrica por fonte e a transformação da infraestrutura produtiva que sustenta essa produção, permitindo interpretar se a expansão de eólica e solar ocorre apenas como adição em um sistema em crescimento ou se indica substituição relativa de fontes mais intensivas em carbono.

A geração de eletricidade mensura a quantidade de energia produzida sob a forma elétrica, possibilitando analisar a variação da produção segundo diferentes fontes energéticas. Este indicador foi obtido junto à *U.S. Energy Information Administration* e considera geração líquida, isto é, desconta a parcela consumida pelas próprias unidades geradoras no processo de produção. A capacidade instalada, por sua vez, mensura o potencial máximo de geração associado ao parque gerador de cada país, sendo particularmente útil para identificar mudanças na estrutura de oferta e nos investimentos em infraestrutura elétrica ao longo do tempo. Esse indicador também foi coletado a partir da *U.S. Energy Information Administration*, assegurando comparabilidade entre países e consistência de conceitos e unidades ao longo do período analisado.

Além da coleta e interpretação de dados secundários, o estudo incorpora informações provenientes de relatórios internacionais para apoiar uma leitura qualitativa e documental das trajetórias observadas, considerando que tais relatórios sistematizam periodicamente tendências de investimento, difusão tecnológica e evolução setorial das energias renováveis. Foram utilizados, em particular, os relatórios *Renewables*, da *International Energy Agency*, e o *International Energy Outlook*, da *U.S. Energy Information Administration*. Complementarmente, foram mobilizadas literaturas voltadas ao acompanhamento institucional, com ênfase em estudos que descrevem e interpretam medidas normativas e instrumentos de política que interagem com o mercado de renováveis, sobretudo no caso de energia eólica e solar.

Por fim, a estratégia de pesquisa combina análise qualitativa e quantitativa de dados secundários com pesquisa documental baseada em relatórios internacionais, conforme procedimento de investigação aplicado a fontes documentais e bibliográficas (Gil, 2002). A ênfase em energia eólica e solar decorre da expansão recente de sua participação no mercado global, bem como do avanço tecnológico que tem reduzido custos e ampliado viabilidade econômica e regulatória dessas fontes em distintos contextos nacionais.

4. Análise do avanço tecnológico em prol da Transição Energética

A difusão recente de tecnologias renováveis tem se consolidado como um componente central das estratégias nacionais de mitigação climática e de reconfiguração do setor elétrico. No conjunto de soluções usualmente enquadradas como tecnologias da transição, destacam-se, entre outras, energia solar fotovoltaica, energia solar heliotérmica, biocombustíveis, energia eólica, biogás e biomassa, hidrogênio verde e baterias associadas à eletrificação, com variações relevantes quanto à maturidade tecnológica, ao custo nivelado, aos requisitos de infraestrutura e às necessidades de coordenação regulatória (UNCTAD, 2023a).

Embora a energia hidráulica permaneça como a tecnologia com maior capacidade instalada global entre as renováveis, os vetores predominantes de expansão recente e de projeção de crescimento têm sido a energia eólica e, sobretudo, a energia solar fotovoltaica, em razão de seu perfil tecnológico e

industrial, da modularidade dos projetos e do recuo de custos observado na última década (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2023; UNCTAD, 2023a).

4.1 A Proeminência da Energia Eólica e Solar Fotovoltaica

Do ponto de vista da capacidade instalada global de energias renováveis, a energia hidrelétrica lidera com 45,6% do total, seguida por energia eólica, com 25,1%, e energia solar, com 24,5%, enquanto a bioenergia responde por 4,4% e alternativas somam 0,5% (UNCTAD, 2023a). Essa fotografia, entretanto, não deve ser confundida com a dinâmica de expansão: no horizonte de curto e médio prazo, as adições de capacidade renovável tendem a ser dominadas por solar fotovoltaica e eólica, que respondem por 96% do crescimento projetado de capacidade renovável, em função de custos de geração mais baixos e de políticas de apoio em múltiplas jurisdições. Nesse mesmo enquadramento, projeta-se que as adições de hidrelétricas e bioenergia sejam inferiores às observadas no quinquênio anterior, refletindo desaceleração de economias emergentes que haviam liderado a expansão e restrições de natureza econômica, regulatória e socioambiental associadas a projetos de maior escala (IEA, 2024).

A energia eólica, em sua configuração típica, depende de componentes como pás do rotor, gerador elétrico e torre de sustentação, sendo a altura da torre um elemento técnico relevante para capturar ventos com maior velocidade e menor interferência de obstáculos no solo. A conversão energética ocorre pela transformação da energia cinética do vento em movimento rotacional do rotor, com posterior geração elétrica a partir do conjunto gerador, de modo que ganhos de eficiência dependem da engenharia aerodinâmica das pás, do controle do sistema e do desenho da integração ao sistema elétrico (Manwell; McGowan; Rogers, 2010).

Já a energia solar fotovoltaica demanda, centralmente, módulos com células de silício ou outros semicondutores e inversores para conversão de corrente contínua em corrente alternada compatível com padrões de consumo e injeção em rede, sendo sua modularidade um atributo que favorece instalação distribuída e potencial redução de perdas de transmissão quando a geração ocorre próxima ao consumo (Lovegrove; Stein, 2012).

Apesar da difusão acelerada, a energia solar apresenta restrições relevantes do ponto de vista técnico-econômico e ambiental. Em muitos contextos, o custo de entrada e a necessidade de complementaridade com tecnologias de armazenamento para uso fora do período de incidência solar elevam o investimento total do sistema, sobretudo quando se busca ampliar confiabilidade e reduzir volatilidade de oferta. Em projetos centralizados de grande escala, tornam-se relevantes condicionantes ambientais associadas ao uso do solo, incluindo supressão de vegetação e alterações paisagísticas, ainda que os impactos operacionais sejam, em geral, inferiores aos de alternativas fósseis e que exista flexibilidade para implantação em áreas degradadas, sem ruído intrínseco ao funcionamento (Bahia, 2018).

A literatura de acompanhamento institucional recente reforça a centralidade de eólica e solar na expansão global. Em 2023, as adições globais de capacidade renovável aumentaram aproximadamente 60% em relação a 2022 e atingiram cerca de 565 GW, configurando o maior acréscimo anual registrado na série acompanhada. No recorte por países e regiões, o mesmo relatório atribui parte relevante da aceleração à expansão de mercado e à política pública, com destaque para o caso chinês, e registra que a intensificação recente de instalações de eólica e solar, embora amplie o potencial de geração, tem tornado mais salientes os gargalos de integração dessas fontes à rede elétrica, exigindo expansão de transmissão, flexibilidade e melhorias operacionais (IEA, 2024).

As projeções internacionais também convergem para a expansão de eólica, solar e armazenamento como núcleo da transição elétrica. O relatório *International Energy Outlook 2023*, da *U.S. Energy Information Administration*, associa a expansão da eletricidade renovável à adoção de políticas e, ao modelar cenários até 2050, projeta que tecnologias de carbono zero representem entre 81% e 95% da nova capacidade global. Nesse enquadramento, a energia eólica, a energia solar e tecnologias de armazenamento aparecem como contribuições particularmente relevantes, dado que o armazenamento tende a crescer como infraestrutura complementar à maior participação de fontes variáveis e à sua oscilação intradiária e sazonal (EIA, 2023).

O mesmo relatório destaca heterogeneidades regionais, incluindo a permanência do gás natural em certos sistemas por razões de custo relativo e infraestrutura preexistente, bem como a elevada

participação do carvão na região Ásia-Pacífico, o que aumenta a sensibilidade de trajetórias de transição a mudanças no custo relativo das tecnologias de carbono zero em economias onde o carvão permanece estruturalmente integrado ao sistema (IEA, 2023). Em perspectiva complementar, relatórios tecnológicos da própria IEA ressaltam que, em países com parque a carvão relevante, o gás natural pode operar como substituto parcial do carvão em determinadas trajetórias, com implicações para emissões e para o desenho de políticas de substituição e descomissionamento (IEA, 2017).

No horizonte mais curto, o relatório *Renewables 2025* projeta aceleração adicional das renováveis e estima que a capacidade renovável global possa crescer cerca de 4600 GW entre 2025 e 2030, com liderança da energia solar fotovoltaica na expansão, respondendo por aproximadamente 80% das adições de capacidade renovável no período projetado, em função de custos, rapidez de implantação e aceitação social relativamente elevada em diversos mercados. Ao mesmo tempo, o relatório enfatiza que a continuidade da transição depende de superar gargalos sistêmicos, em particular integração à rede, cadeia de abastecimento e condições de financiamento, além de desafios de operação associados à variabilidade. No caso da eólica offshore, são ressaltadas pressões de custo e vulnerabilidades associadas a cadeias globais de valor e insumos críticos, com implicações diretas para cronogramas e riscos de implantação (IEA, 2025).

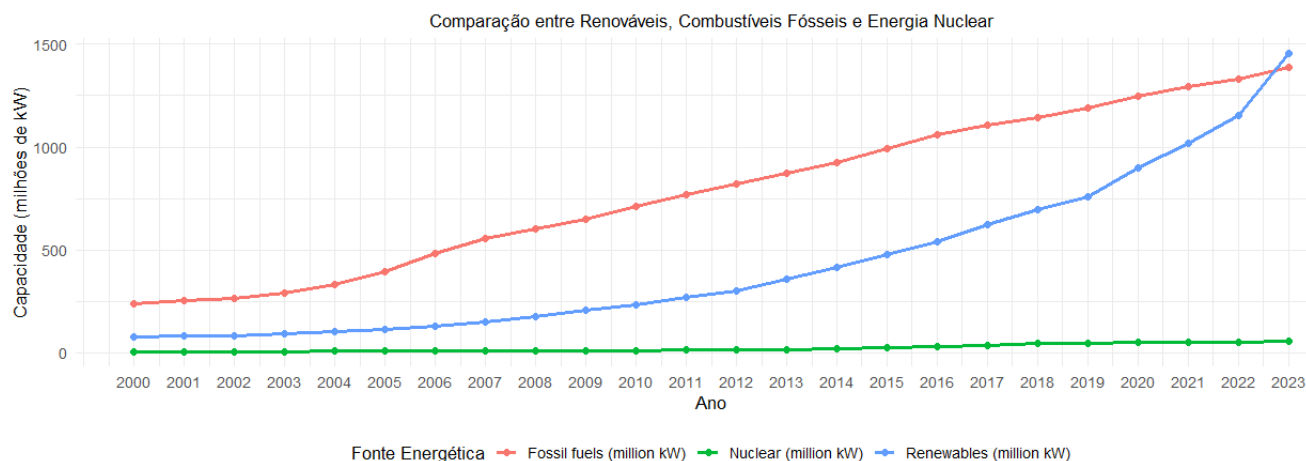
Em termos de operação do sistema, a maior penetração de fontes variáveis tem sido acompanhada por episódios de *curtailment* e pela ocorrência de preços negativos em determinados períodos, sinalizando limitações de flexibilidade e de capacidade de acomodação de picos de geração, especialmente solar. Por fim, a IEA registra que a expansão de renováveis reduziu importações de combustíveis fósseis em diversos países, com estimativas de economia acumulada de aproximadamente US\$ 1,3 trilhão entre 2010 e 2023 em gastos com carvão e gás natural, reforçando a conexão entre transição energética, segurança energética e balanço externo em economias importadoras (IEA, 2025).

4.2 Indicadores de Avanços Tecnológicos: capacidade instalada e geração de energia elétrica

4.2.1 O Caso da China

A leitura conjunta dos gráficos de capacidade instalada e de geração de eletricidade permite distinguir dois movimentos que são centrais para interpretar a trajetória chinesa sem confundir expansão com substituição. A Figura 4.1 evidencia que a capacidade instalada de fontes renováveis acelera de forma intensa a partir de 2007, com trajetória já ascendente antes de 2015, ano do Acordo de Paris, ao mesmo tempo em que a capacidade instalada associada a combustíveis fósseis também cresce. Esse padrão é consistente com a interpretação de que, durante a industrialização acelerada e a expansão do consumo elétrico no ciclo 2000–2015, a incorporação de renováveis operou, em parte relevante, como cobertura de nova demanda, sem deslocamento proporcional imediato do carvão e do petróleo, o que é enfatizado na literatura ao discutir a energia como restrição de escala do crescimento chinês e a defasagem temporal entre investimentos em renováveis e a recomposição efetiva do mix energético (Juncal, 2019; Lemos et al., 2024).

Figura 4.1. China: capacidade instalada total de eletricidade por fonte, 2000–2023



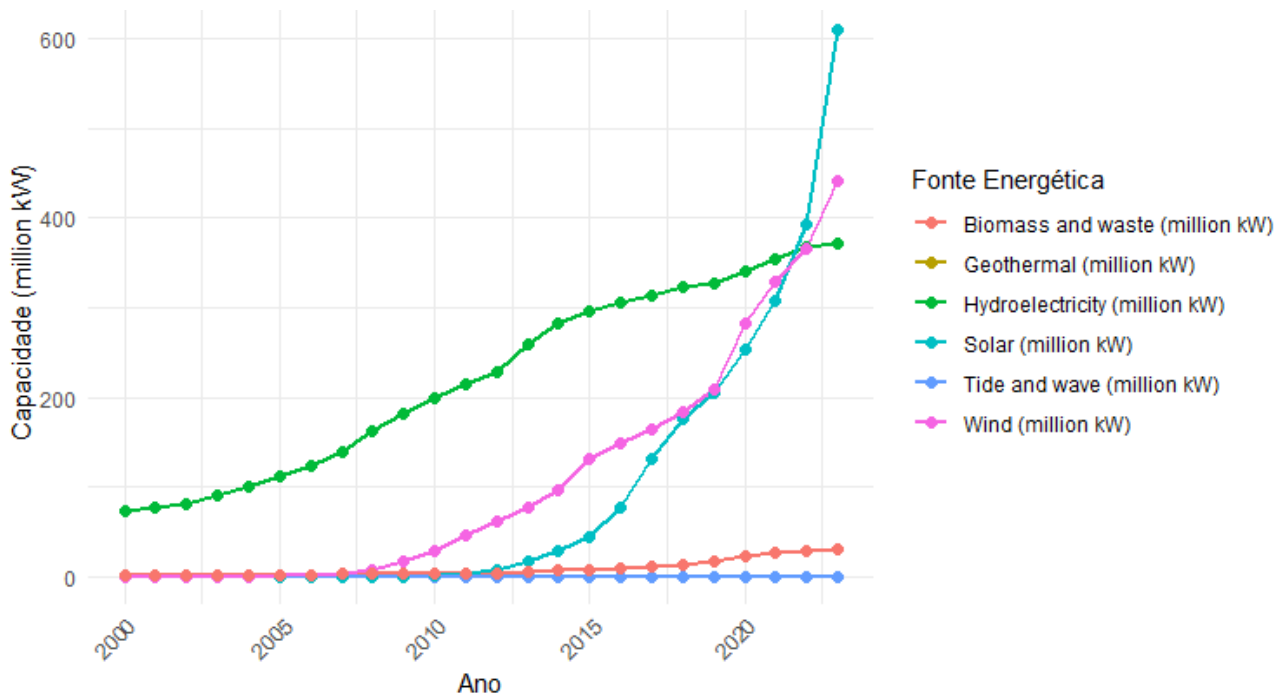
Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

A persistência do componente fóssil, portanto, não deve ser lida como ausência de política, mas como resultado de um regime tecnológico e institucional em que fontes despacháveis e infraestrutura fóssil preexistente preservam papel operacional em sistemas com forte crescimento de carga e metas simultâneas de segurança de suprimento, expansão industrial e mitigação climática. Nessa moldura, marcos regulatórios e instrumentos de política reorganizam incentivos e criam trajetória de difusão tecnológica, sem implicar, no curto prazo, desativação proporcional da base instalada fóssil, o que reforça a necessidade de observar, conjuntamente, capacidade e geração (Juncal, 2019; Lemos et al., 2024).

Do ponto de vista institucional, a aceleração da capacidade renovável é frequentemente associada à consolidação de marcos normativos e à coordenação estatal de investimentos. A Figura 4.2 permite visualizar que a difusão de eólica e, sobretudo, de solar se intensifica de maneira mais nítida após 2015, ainda que a formação das capacidades industriais e de implantação preceda esse marco. Esse comportamento é compatível com a leitura de que investimentos estatais já estavam em curso desde os anos 2000, mas a Lei de Renováveis de 2006 contribuiu para elevar previsibilidade regulatória e consistência do escalonamento, favorecendo resultados mais estáveis e cumulativos na trajetória de adoção (Han, 2009; Paixão; Miranda, 2018).

Em termos interpretativos, percentuais extremamente elevados em solar até 2015 devem ser compreendidos como efeito de base inicial próxima de zero e, portanto, como sinal de mudança de regime de adoção, e não como crescimento “orgânico” em patamar maduro; é no intervalo posterior, em que os níveis já são substantivos, que a expansão em múltiplos sucessivos expressa, com maior robustez, a consolidação do *policy mix* e da capacidade produtiva associada (Han, 2009; Lemos et al., 2024).

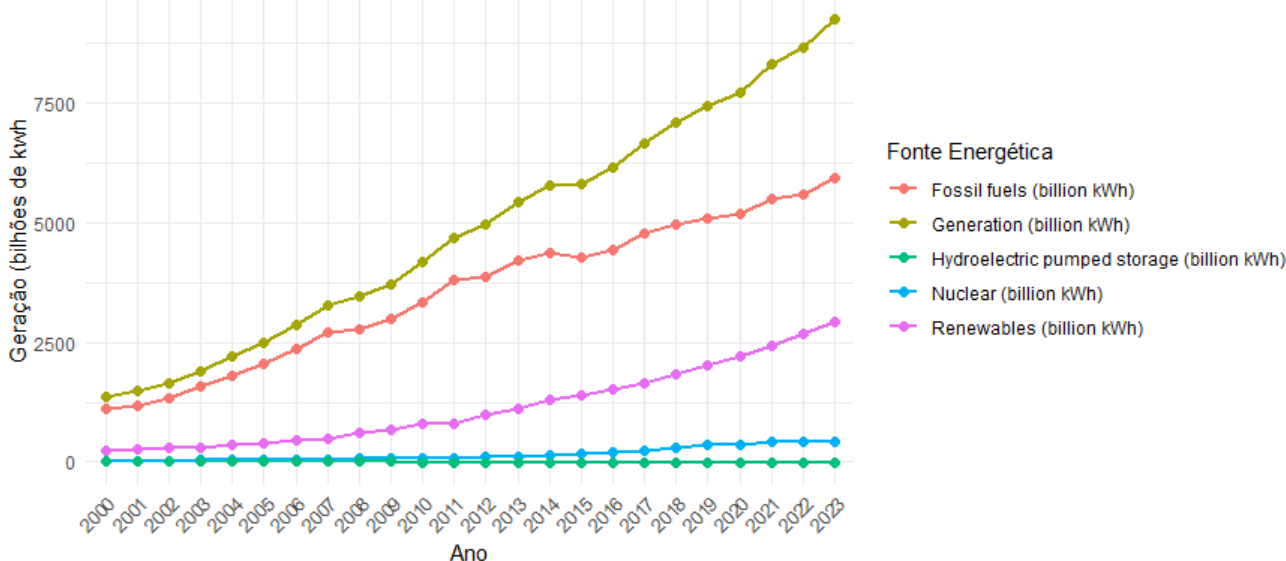
Figura 4.2. China: capacidade instalada de eletricidade de fontes renováveis, 2000–2023



Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

A diferença entre capacidade instalada e geração de eletricidade é o ponto crítico para qualificar a noção de avanço tecnológico no setor elétrico. A Figura 4.3 mostra que a geração proveniente de combustíveis fósseis permanece em níveis superiores às renováveis no período, o que não implica superioridade tecnológica em sentido estrito, mas reflete fatores de operação do sistema, como despachabilidade, fatores de capacidade médios e a necessidade de garantir estabilidade e confiança em um contexto de demanda crescente. A série de geração total, por sua vez, reforça o argumento de que a carga elétrica cresce intensamente e ajuda a sustentar a interpretação de que parte relevante do crescimento renovável foi absorvida pela expansão do consumo agregado, sem, necessariamente, deslocar fontes fósseis no mesmo ritmo (Juncal, 2019; Lemos et al., 2024).

Figura 4.3. China: geração líquida total de eletricidade por fonte, 2000–2023

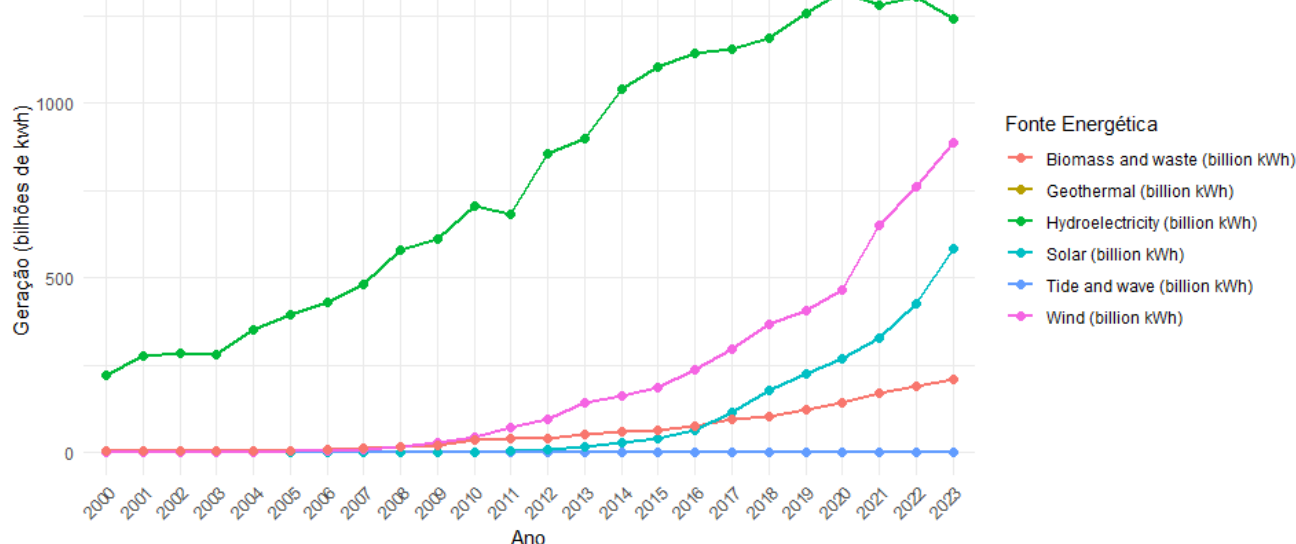


Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

Ao decompor a geração renovável, a Figura 4.4 indica que, mesmo com forte aceleração da capacidade solar, a geração eólica pode permanecer superior em diversos anos, o que é compatível com diferenças de fator de capacidade, perfil do recurso e integração ao sistema. A maior variação anual da

geração renovável, descrita entre 2011 e 2012, pode ser interpretada como consistente com o ciclo de subsídios e de políticas de difusão de fotovoltaica e eólica no período, bem como com a incorporação estruturada de renováveis aos Planos Quinquenais como parte de um arranjo de política industrial e climática que reforça direção e escala do esforço tecnológico (Han, 2009; Lemos et al., 2024). No final do período, os máximos de geração entre 2021 e 2023 podem ser discutidos como coerentes com o reforço de governança associado a pacotes recentes, como o arranjo “1 + N” e o 14º Plano Quinquenal, que estruturam metas intersetoriais e organizam campos de ação em temas como transporte, eficiência energética, financiamento, mercado de carbono, infraestrutura e inovação, o que tende a retroalimentar a expansão renovável e a coordenação institucional do regime tecnológico (Lemos et al., 2024).

Figura 4.4. China: geração líquida de eletricidade de fontes renováveis, 2000–2023

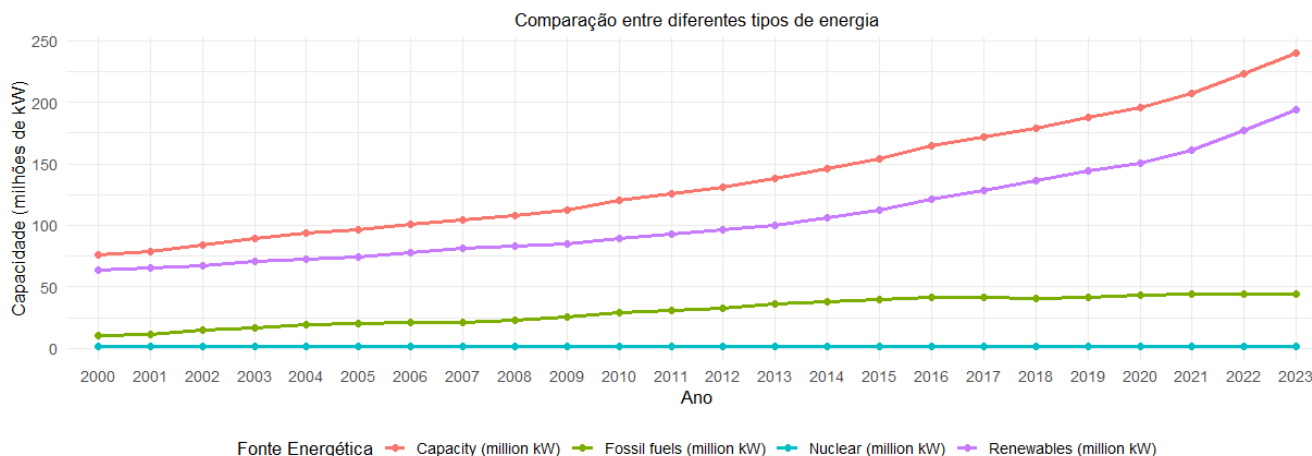


Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

4.2.2 O caso do Brasil

A trajetória brasileira deve ser interpretada a partir de um ponto de partida estruturalmente distinto, pois o setor elétrico nacional apresenta, historicamente, elevada participação de renováveis, especialmente hidrelétricas, o que desloca o foco analítico para diversificação autorenovável, redução de vulnerabilidade hidrológica e prevenção de uma trajetória de reforço fóssil em resposta ao aumento de demanda. A Figura 4.5 mostra que a capacidade instalada associada a renováveis cresce de modo relevante no período, mas que a expansão associada a combustíveis fósseis é ainda maior, sinalizando que o crescimento da carga pode ser acomodado por diferentes combinações de investimentos e decisões de despacho, com implicações para a direção da política e para o grau de alinhamento a uma transição em sentido estrito (Ungaretti et al., 2024).

Figura 4.5. Brasil: capacidade instalada total de eletricidade por fonte, 2000–2023

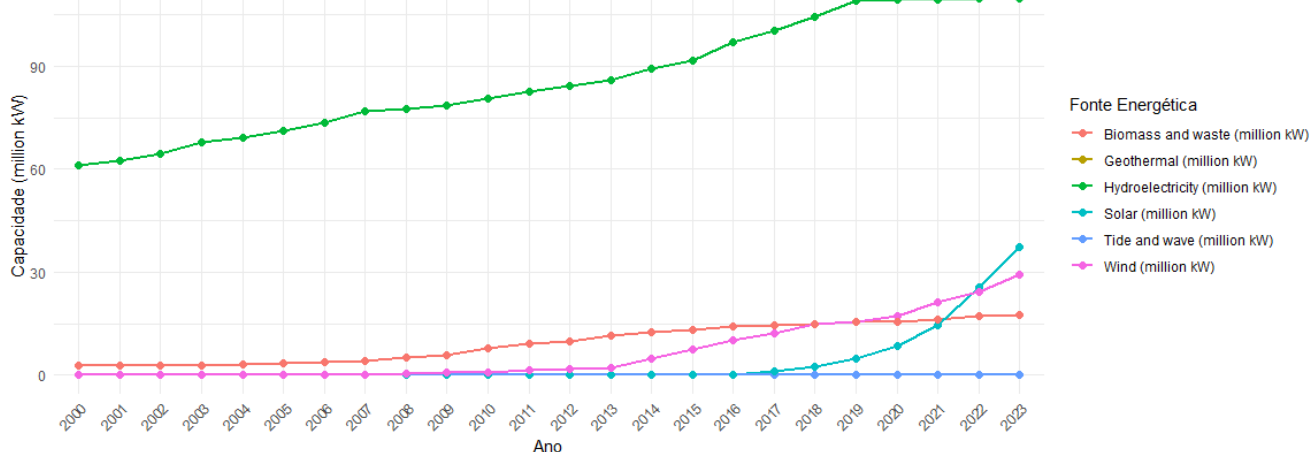


Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

Essa leitura é compatível com a literatura que identifica contradições e tensões de *policy mix* no país, na medida em que coexistem instrumentos e capacidades voltados ao avanço de petróleo e gás, com suporte regulatório e investimentos em infraestrutura e P&D, ao mesmo tempo em que se afirma uma agenda de baixo carbono (Ungaretti et al., 2024). Nessa moldura, a distinção conceitual entre diversificação e transição torna-se analiticamente relevante para interpretar os dados: a diversificação pode ocorrer pela adição de novas fontes para suprir aumentos de demanda, enquanto a transição requer, além da adição, deslocamento relativo e, idealmente, absoluto de fósseis ao longo do tempo, o que exige coordenação institucional mais exigente e instrumentos que afetem investimento e despacho (Ungaretti et al., 2024).

Ao decompor as renováveis, a Figura 4.6 confirma a dominância histórica das hidrelétricas e evidencia, ao mesmo tempo, sinais de diversificação ao longo do período, com biomassa ganhando relevância a partir de 2009, consolidação eólica a partir de 2013 e aceleração solar mais visível a partir de 2018. No recorte 2015–2023, o crescimento mais acelerado da matriz solar em comparação à eólica é compatível com um padrão de difusão tardia, no qual a tecnologia entra em regime de expansão após redução de custos e maturação regulatória, ainda que os níveis de geração permaneçam, inicialmente, inferiores aos das fontes já consolidadas (Ungaretti et al., 2024).

Figura 4.6. Brasil: capacidade instalada de eletricidade de fontes renováveis, 2000–2023

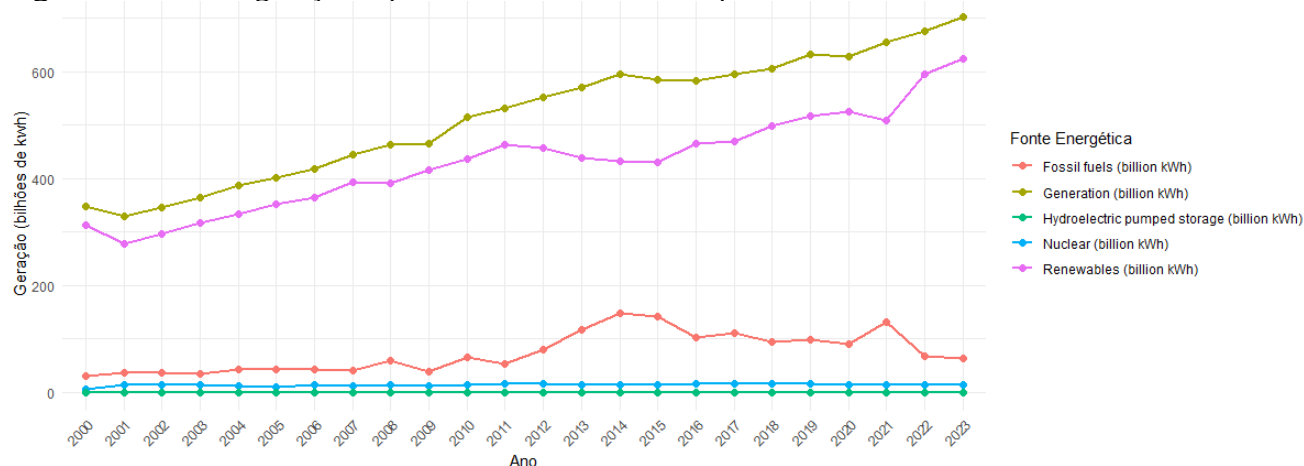


Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

A análise da geração complementa e qualifica a leitura de capacidade. A Figura 4.7 sugere que, apesar do aumento da geração fóssil em parte do período, há inflexão após 2015 com redução dessa geração. Essa inflexão deve ser interpretada com cautela, pois a geração elétrica é sensível a hidrologia, despacho térmico, preços relativos e ciclo econômico, de modo que não se recomenda atribuição causal direta ao Acordo de Paris sem identificação empírica específica; ainda assim, o marco de 2015 é útil

para organizar a leitura do ciclo de difusão de solar e eólica no país e para discutir a evolução de mecanismos domésticos que viabilizam renováveis em novos patamares (Ungaretti et al., 2024).

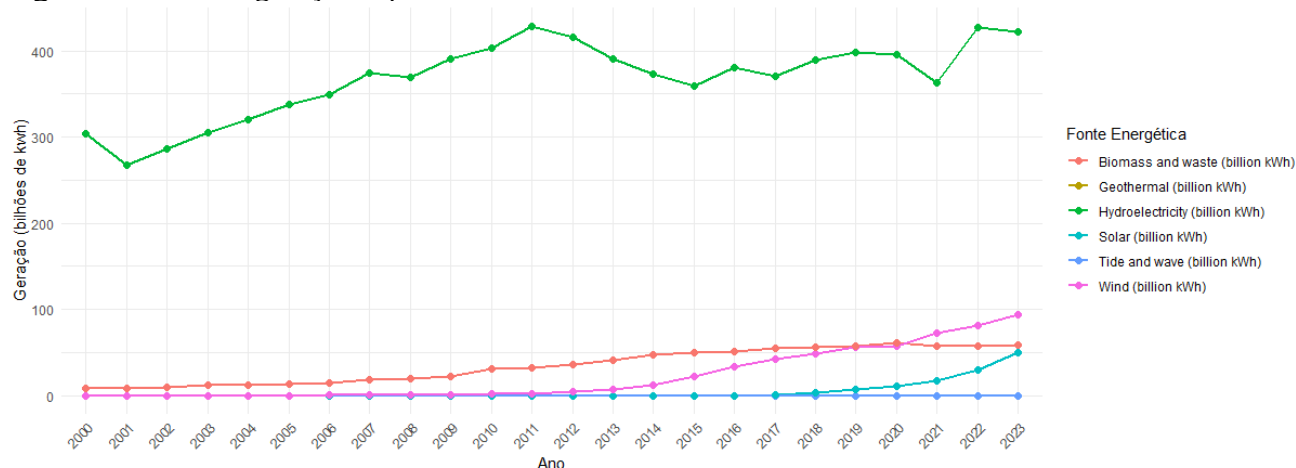
Figura 4.7. Brasil: geração líquida total de eletricidade por fonte, 2000–2023



Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

Por fim, a Figura 4.8 explicita que 2015 também funciona como referência temporal para a diversificação de fontes limpas, quando solar e eólica passam a aparecer de maneira mais nítida na geração, ainda que em níveis iniciais se comparados às hidrelétricas, enquanto a biomassa já apresentava tendência de crescimento no ciclo 2009–2010. Em termos interpretativos, o resultado sugere que o caso brasileiro é caracterizado menos pela entrada de renováveis e mais pela diversificação autorenovável e pelo desafio de evitar que a expansão de fósseis se consolide como resposta estrutural ao crescimento da demanda, em um contexto de tensões no desenho e na coordenação das políticas energéticas e industriais (Ungaretti et al., 2024).

Figura 4.8. Brasil: geração líquida de eletricidade de fontes renováveis, 2000–2023



Fonte: elaboração do autor com dados do U.S. EIA (2025).

O conjunto de evidências apresentado permite sustentar que o avanço tecnológico em eólica e solar, quando observado simultaneamente por capacidade instalada e por geração de eletricidade, deve ser interpretado como mudança estrutural em curso, porém condicionada por restrições que diferem entre países. No caso chinês, a expansão acelerada de capacidade renovável ocorre em contexto de forte crescimento da demanda e de manutenção de parcela relevante de geração fóssil, o que indica que a difusão tecnológica, ainda que intensa, se combina com a necessidade de assegurar suprimento em escala e com a inércia do parque instalado, em linha com leituras que enfatizam coordenação estatal, marcos regulatórios e planejamento como vetores da trajetória recente (Han, 2009; Paixão; Miranda, 2018; Juncal, 2019; Lemos et al., 2024).

No caso brasileiro, a elevada participação histórica de hidrelétricas desloca o foco para a diversificação autorenovável e para a incorporação de fontes variáveis como mecanismo de redução de vulnerabilidade e ampliação da oferta, em um ambiente de tensões de *policy mix* e de crescimento de demanda, o que exige análise cautelosa da relação entre expansão de capacidade, padrões de geração e condições de operação do sistema (Ungaretti et al., 2024).

Em termos gerais, a leitura conjunta dos elementos tecnológicos e institucionais discutidos neste item indica que a difusão recente de energia eólica e solar fotovoltaica combina três vetores complementares: a queda de custos e o amadurecimento técnico de tecnologias variáveis, a presença de políticas e marcos regulatórios que reduzem risco e coordenam investimentos e, por fim, a emergência de gargalos sistêmicos ligados à integração à rede, ao armazenamento e à gestão de variação ligada ao clima, os quais condicionam a conversão de capacidade instalada em geração efetiva e impõem limites de curto prazo à trajetória de substituição de fósseis, mesmo em contextos de forte expansão de ativos renováveis (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2024; ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2025; EIA, 2023).

5. Conclusão

Considerando a teoria da diversificação de Penrose, observa-se, no âmbito corporativo, a tendência de ampliação de portfólios como mecanismo competitivo e como estratégia para reduzir vulnerabilidade quando um único produto se torna menos atrativo em cenários de transformação e mudanças inesperadas. Em termos analíticos, essa lógica pode ser transposta, de modo heurístico, ao plano setorial e nacional, na medida em que diversos países buscaram compor um mix de matrizes energéticas para reduzir dependência de insumos e preços no mercado internacional, sobretudo em contextos de incerteza geopolítica e ocorrência de crises de oferta. Nesse enquadramento, a diversificação energética emerge como resposta racional a riscos de segurança de suprimento, ainda que não implique, por si, transição energética em sentido estrito, isto é, substituição progressiva de fontes intensivas em carbono por fontes de baixo carbono.

No entanto, a agenda climática internacional passou a enquadrar a redução de emissões como requisito de coordenação global, deslocando a análise do campo exclusivo de segurança energética para um domínio de governança ambiental. Nesse contexto, a Organização das Nações Unidas, por meio da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, consolidou instrumentos multilaterais que estruturam compromissos nacionais e mecanismos de monitoramento. Um marco nesse processo foi o Acordo de Paris, adotado em 2015, que orienta os países a estabelecerem Contribuições Nacionalmente Determinadas e a alinhar políticas domésticas a trajetórias de mitigação compatíveis com a redução sustentada das emissões líquidas ao longo do tempo (UNFCCC, 2025).

É nesse ponto que a distinção entre diversificação e transição ganha relevância para interpretar trajetórias nacionais: a diversificação pode acomodar crescimento de demanda com adição de novas fontes, enquanto a transição exige, adicionalmente, direção deliberada para reduzir o peso relativo e, idealmente, absoluto das fontes fósseis.

Diante desse cenário, a capacidade estatal de coordenar instrumentos, induzir investimento e reorganizar incentivos passa a ser componente decisivo para que tecnologias de baixo carbono se consolidem e se difundam em escala. Essa dinâmica pode ser compreendida à luz do conceito de regime tecnológico e de sistemas setoriais de inovação, no qual a mudança técnica não decorre apenas da decisão individual de firmas, mas da interação entre agentes de mercado e não-mercado, marcos normativos, financiamento e infraestrutura, definindo oportunidades e restrições à direção da inovação no setor energético (Malerba, 2002). Assim, o avanço tecnológico em eólica e solar deve ser interpretado como resultado de processos cumulativos de difusão, aprendizagem e coordenação institucional, cuja efetividade depende da consistência do *policy mix* e da capacidade de integrar fontes variáveis ao sistema elétrico.

No conjunto de tecnologias que vêm se destacando na transição do setor elétrico, energia eólica e energia solar fotovoltaica assumiram centralidade devido à queda de custos, ao aumento de capacidade instalada e à aceleração de investimentos em países que buscam cumprir metas climáticas e reduzir vulnerabilidades energéticas. No caso da China, a análise dos indicadores de capacidade instalada e de geração de eletricidade evidencia expansão muito elevada de renováveis, com proeminência de solar e

eólica e consolidação de instrumentos de política ao longo do tempo, em especial após a Lei de Renováveis de 2006 e sua articulação com diretrizes de planejamento de longo prazo, como os Planos Quinquenais (Paixão; Miranda, 2018; Han, 2009; Lemos et al., 2024).

Todavia, os resultados empíricos também sugerem que a rápida elevação da demanda energética, associada ao dinamismo industrial, fez com que parcela relevante do acréscimo renovável operasse como cobertura de nova carga, preservando a importância do componente fóssil no nível de geração, o que aproxima parte do processo observado da lógica de diversificação em contexto de crescimento, sem eliminar, necessariamente, a direção de mitigação assumida em metas nacionais (Juncal, 2019; Lemos et al., 2024).

O Brasil, por sua vez, apresenta trajetória estruturalmente distinta no setor elétrico, dada a elevada participação histórica de renováveis, especialmente hidrelétricas, o que caracteriza um ponto de partida menos dependente de carvão e mais condicionado por risco hidrológico, planejamento de oferta e desafios de diversificação autorenovável. Ainda assim, o aumento da demanda energética no período analisado foi acompanhado por elevação do uso de combustíveis fósseis em parte do intervalo, o que torna relevante a discussão sobre direção do *policy mix* e sobre a possibilidade de acomodação do crescimento por meio de fontes fósseis.

Os dados sugerem, contudo, que após 2015 a geração fóssil perde intensidade e observa-se maior presença de eólica e solar em capacidade instalada e, gradualmente, em geração, ainda que em níveis inferiores às hidrelétricas, sinalizando avanço da diversificação renovável e fortalecimento de tecnologias variáveis no sistema (Ungaretti et. al., 2024). Essa inflexão deve ser interpretada com cautela, pois a geração elétrica é sensível a condições hidrológicas, preços relativos e regras de despacho, mas o padrão é compatível com o ciclo de difusão recente de eólica e solar no país.

Em termos comparativos, as trajetórias de Brasil e China são heterogêneas tanto em sua estrutura inicial quanto nos determinantes do consumo energético. A China combina elevada dependência histórica de carvão e grande peso do uso industrial de energia, o que eleva o desafio de substituição fóssil e a escala do investimento necessário para reconfigurar o sistema elétrico.

O Brasil, em contraste, parte de uma matriz elétrica renovável elevada, mas enfrenta tensões de coordenação e a necessidade de diversificar para reduzir vulnerabilidades associadas ao predomínio hídrico e para evitar que a expansão de fósseis se consolide como resposta estrutural ao crescimento de demanda. Apesar dessas diferenças, ambos os países direcionaram esforços para cumprir metas associadas ao Acordo de Paris de 2015 e exibem avanço na expansão de renováveis, com destaque para o aumento de capacidade instalada e de geração de tecnologias variáveis como solar e eólica, que não possuíam a mesma difusão e relevância sistêmica há pouco mais de uma década.

REFERÊNCIAS

- BAHIA. SENAI CIMATEC; SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA. **Atlas solar da Bahia**. Salvador: SENAI CIMATEC, 2018. 76 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 abr. 2012**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 abr. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 abr. 2002**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 29 abr. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm. Acesso em: 09 out. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 14.300, de 06 jan. 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 07 jan. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 09 out. 2025.
- DEVADASA, K.; LAXMINARAYANA, N. H. The role of renewable energy in mitigating climate change. ShodhKosh: **Journal of Visual and Performing Arts**, v. 4, n. 1, p. 1015–1022, jan./jun. 2023. DOI: 10.29121/shodhkosh.v4.i1.2023.2786.
- DU, J.; SHEN, Z.; SONG, M.; VARDANYAN, M. The role of green financing in facilitating renewable energy transition in China: perspectives from energy governance, environmental regulation, and market reforms. **Energy Economics**, v. 120, abr. 2023. Art. 106595. DOI: 10.1016/j.eneco.2023.106595.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HAN, J. **Renewable energy development in China: policies, practices and performance**. 2009. Tese (Doutorado em Política Ambiental) – Wageningen University, Wageningen, 2009. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/14590>. Acesso em: 09 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives 2017: catalysing energy technology transformations**. Paris: IEA, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>. Acesso em: 09 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2023: analysis and forecast to 2028**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. Acesso em: 09 out. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2024: analysis and forecast to 2030**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>. Acesso em: 09 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2025: analysis and forecast to 2030**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2025>. Acesso em: 09 out. 2025.

LEMONS, F. K.; CAMPOS, M. A.; JANK, M. S.; SANTOS, L. L. G. As políticas de transição energética dos EUA, UE e China. **Insper Agro Global**, n. 2, fev. 2024.

LOVEGROVE, K.; STEIN, W. **Concentrating solar power technology: principles, developments and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, n. 2, p. 247–264, fev. 2002.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: theory, design and application**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2010.

MECKLING, J.; ALDY, J. E.; KOTCHEN, M. J. et al. Busting the myths around public investment in clean energy. **Nature Energy**, v. 7, p. 563–565, 2022. DOI: 10.1038/s41560-022-01048-x.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NOVA INDÚSTRIA BRASIL. **Nova Indústria Brasil**. Brasília, DF: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2023. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/nib>. Acesso em: 16 fev. 2026.

PAIXÃO, M. A. S.; MIRANDA, S. H. G. Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China. **Pesquisa & Debate: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Economia Política**, v. 29, n. 1 (53), 2018. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/rpe/article/view/33934>. Acesso em: 09 out. 2025.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343–373, dez. 1984.

PENROSE, E. **A teoria do crescimento da firma**. Campinas: Editora da Unicamp, 2006.

PENROSE, E. **The theory of the growth of the firm**. Oxford: Basil Blackwell, 1959.

ROCHA, M. E. O.; GALLO, A. B.; FOSSA, A. J.; PEREIRA, E. G.; AMORIM JR., D. S.; MEDEIROS, H. K. C.; MOUTINHO, E. dos S. **Um estudo sobre as NDC do Brasil e o papel das tecnologias de baixo carbono para seu cumprimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 12., 2023, Natal. Anais... Natal: Associação Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás (ABPG), 2023.

SALAZAR-XIRINACHS, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. **Industrial policy, productive transformation and jobs: theory, history and practice**. Genebra: International Labour Office, 2014. Disponível em: <https://www.ilo.org>. Acesso em: 09 out. 2025.

STOJANOVIĆ, N. K.; ZAKIĆ, K. Renewable energy as a connecting spot between China and Central and Eastern European countries: status, directions and perspectives. **Energy, Sustainability and Society**, v. 14, n. 1, 14 out. 2024. DOI: 10.1186/s13705-024-00439-2. Disponível em: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-024-00439-2>. Acesso em: 07 out. 2024.

UNCTAD. Annex A. **Frontier technology trends**. In: UNCTAD. World investment report 2023: investing in sustainable energy for all. Genebra: UNCTAD, 2023b. Disponível em: <https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023>. Acesso em: 10 set. 2024.

UNCTAD. **Investing in sustainable energy for all**. In: UNCTAD. World investment report 2023: investing in sustainable energy for all. Genebra: UNCTAD, 2023c. Disponível em:

<https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023>. Acesso em: 10 set. 2024.

UNCTAD. **Moving fast with frontier technologies**. In: UNCTAD. World investment report 2023: investing in sustainable energy for all. Genebra: UNCTAD, 2023a. p. 43–62. Disponível em: <https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023>. Acesso em: 10 set. 2024.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **The Paris Agreement**. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 09 out. 2025.

UNGARETTI, C. R.; NUNES, T. G. A.; MENDONÇA, M. A. A. **As dinâmicas de transição energética no Brasil e na Argentina**: potencialidades, limites e papel da China. Brasília, DF: Ipea, nov. 2024. 73 p. (Texto para Discussão, n. 3057). DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3057-port>.

UNITED STATES. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook 2023**. Washington, DC: U.S. Department of Energy, out. 2023. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2023.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.

UNITED STATES. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Statistics**. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2025. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-generation>. Acesso em: 09 out. 2025.

WERNER, D.; LAZARO, L. L. B. The policy dimension of energy transition: the Brazilian case in promoting renewable energies (2000–2022). **Energy Policy**, v. 175, art. 113480, 2023.

WILLS, W.; WESTIN, F. F. **Climate Transparency policy paper**: transição energética no Brasil. Rio de Janeiro: Centro Clima – COPPE/UFRJ, 2019. 19 p. Disponível em: <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/10/CTP2019-Brazil-Policy-Paper-PT.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.

YANG, Y.-S.; XIE, B.-C.; TAN, X. Impact of green power trading mechanism on power generation and interregional transmission in China. **Energy Policy**, v. 189, jun. 2024. Art. 114088. DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114088.