

As experiências internacionais no contexto de transição energética



Expediente

Equipe de pesquisa

Coordenação Geral

Amanda Schutze

Pesquisadores

Camila Cristina da Silva

Elis Regina Monte Feitosa

Juliana Fernandes Ferreira Pádua

Ludyson Ramon Lira de Abreu

Mayara Régia Sousa de Melo

Rhayana Holz

Estratégia de comunicação

Lara Portocarrero Campista

Agradecimentos

Agradecemos a Danyelle Branco, João Saran, Leon Labre e Mateus Chahin pelo apoio e contribuições ao longo da elaboração deste relatório

Sobre o FGV Clima

O FGV Clima é o Centro de Estudos em Economia do Clima da Escola de Economia de São Paulo (EESP) da Fundação Getúlio Vargas. Nossa missão é aplicar os fundamentos teóricos e o rigor metodológico da economia para fortalecer a ação climática brasileira baseada em evidências e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do país de forma sustentável e justa.

Informações gerais

Palavras-chave

Transição energética global; Organizações e acordos multilaterais internacionais; Políticas públicas; Instrumentos de financiamento.

Citação sugerida

FGVclima. As experiências internacionais no contexto de transição energética. São Paulo, SP: FGV Clima, 2026. 74p.

Financiamento

Instituto Itaúsa. Nossos parceiros e financiadores não necessariamente compartilham das posições expressas nesta publicação.

Lista de siglas

CAFE	<i>Corporate Average Fuel Economy</i>
CETP	<i>Clean Energy Transitions Programme</i>
CFD	Contratos por Diferença
CSAPR	<i>Cross-State Air Pollution Rule</i>
ECBC	<i>Energy Conservation Building Code</i>
ETI	<i>Energy Transition Index</i>
EUA	Estados Unidos
EU-ETS	<i>European Union Emissions Trade System</i>
FIP	Feed-in Premiums
FIT	<i>Feed-in Tariffs</i>
GCF	<i>Green Climate Fund</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IRA	<i>Inflation Reduction Act</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
ITC	<i>Investment Tax Credit</i>
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i>
NOVO PAC	Novo Programa de Aceleração do Crescimento
NREAP	<i>National Renewable Energy Action Plans</i>
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PTC	<i>Production Tax Credit</i>
RCLE	Regime de Comércio de Licenças de Emissão
REC	<i>Renewable Energy Certificates</i>
RGGI	<i>Regional Greenhouse Gas Initiative</i>
RPO	<i>Renewable Participation Obligation</i>
SOE	<i>State-Owned Enterprise</i>
UE	União Europeia
UN	<i>United Nations</i>
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
UNEP	<i>United Nation Environment Programme</i>
UNFCCC	<i>United Framework Convention on Climate Change</i>
WBG	World Bank Group
WEF	<i>World Economic Forum</i>

Índice

Introdução	6
Cenário Global da Transição Energética	8
Tendências e Desafios Globais da Transição Energética	8
Métrica para Monitoramento da Transição Energética	14
Organizações Internacionais para a Transição Energética	18
Acordos Multilaterais contribuintes para a Transição Energética	22
Experiências Internacionais da Transição Energética	26
China: Crescimento Econômico e Liderança em Tecnologias Emergentes	26
Estados Unidos: Retração das Fontes Sustentáveis	32
Índia: O contraste entre o Carvão e o Hidrogênio Verde	36
União Europeia: Estratégias Energéticas Coletivas	38
Políticas Públicas e Instrumentos de Financiamento: Incentivos Governamentais e Instrumentos Regulatórios	44
China	44
Estados Unidos	48
Índia	52
União Europeia	55
Perspectivas e recomendações da transição energética internacional	61
Sumário de barreiras e soluções globais	61
Boas práticas da transição energética e suas aplicabilidades ao contexto brasileiro	63
Caminhos futuros para a colaboração internacional	65
Conclusão	67
Referências	68

Boxes

Box 1: Diretrizes da <i>Unleashes American Energy Dominance</i>	34
Box 2: Síntese do <i>REPowerEU</i>	40

Figuras

Figura 1: (a) Matriz energética mundial, 2023; (b) Matriz elétrica mundial, 2023	9
Figura 2: Variação na demanda por energia em regiões selecionadas, 2023-2024	10
Figura 3: Investimento global em energia limpa e em combustíveis fósseis, 2015-2024	10
Figura 4: Geração de energia elétrica em regiões selecionadas, 2024	12
Figura 5: Composição do Índice de Transição Energética 2025	15
Figura 6: Emissões de CO ₂ na China por tipo de combustível, 1960-2020	27
Figura 7: Distribuição da capacidade produtiva mundial de tecnologias compatíveis com a transição energética por país/região, 2023	27
Figura 8: Fatores-chave que fortalecem a posição da China na transição energética	31
Figura 9: Principais emissores mundiais de GEE, 2023	32
Figura 10: Emissão de GEE pelos países da União Europeia, 2023	38
Figura 11: Proporção das emissões totais estimadas de CO ₂ equivalente na União Europeia por setor, 2022	39

Quadros

Quadro 1: Organizações Internacionais para a Transição Energética	18
Quadro 2: Acordos e iniciativas multilaterais internacionais	23
Quadro 3: Medidas adotadas pela China em relação às fontes energéticas	29
Quadro 4: Instrumentos das políticas de transição energética da China, 2004-2023	45
Quadro 5: Incentivos governamentais da <i>Inflation Reduction Act</i>	49
Quadro 6: Marcos e mecanismos regulatórios da Índia, 2005-2024	54
Quadro 7: Leilões competitivos e Contratos por Diferença para dez países da União Europeia	56
Quadro 8: Características gerais do EU-ETS, 2005-2024	58
Quadro 9: Principais elementos das fases das RED	59
Quadro 10: Soluções específicas dos países para a transição energética	63

Tabelas

Tabela 1: Ranking dos 60 países com maior Índice de Transição Energética 2025	16
--	----

1. Introdução

A temperatura média global do planeta em 2024 ultrapassou em mais de 1,5°C os níveis da era pré-industrial (WMO, 2025). Esse aumento é resultado de múltiplos fatores, entre eles a intensificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do uso predominante de combustíveis fósseis na matriz energética e elétrica mundial, ainda que se observe o crescimento da participação das fontes renováveis (IEA, 2025a).

Diante da elevação contínua da demanda energética e da persistência de matrizes intensivas em carbono, o *United Nations Environment Programme* (UNEP) reforçou a urgência de reduzir as emissões globais de GEE em 45% até 2030 e em 57% até 2035, como condição essencial para limitar o aquecimento a 1,5°C (UNEP, 2024). Nesse contexto, a transição energética é um dos pilares da resposta global às mudanças climáticas, ao propor a substituição progressiva dos combustíveis fósseis e a expansão do acesso a fontes limpas de energia. Entre os principais objetivos dessa transição, destacam-se a construção de sistemas energéticos confiáveis, acessíveis e de baixa emissão de carbono, implicando mudanças na forma como a energia é produzida, consumida e gerida (WEF, 2025).

Para cumprir esses objetivos, diversas estratégias têm sido adotadas, como investimentos na ampliação das fontes renováveis e o aprimoramento das tecnologias de baixo carbono. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), os investimentos globais em energia limpa já são quase o dobro dos destinados a combustíveis fósseis (IEA, 2024b). Outras frentes se concentram na extração de minerais críticos, como lítio e cobalto, de forma a reduzir impactos ambientais e sociais, assegurando a produção e o armazenamento da nova energia (O Biólogo, 2024).

Além dessas, outras ações são importantes para a transição energética. Entre elas, destacam-se: a criação de instrumentos regulatórios que incentivem pesquisa e inovação; a disseminação de práticas de eficiência energética; e o fortalecimento da economia circular, incluindo a reutilização de materiais e a produção de bens mais duráveis. Essas ações são fundamentais para enfrentar o progresso desigual da transição energética e garantir que ela ocorra de forma sustentável, conciliando uso responsável dos recursos, crescimento econômico e segurança energética (WEF, 2025).

No Brasil, esse movimento encontra expressão na Política Nacional de Transição Energética (PNTE), que tem como um dos seus instrumentos de implementação o Plano Nacional de Transição Energética (Plante). Este é um plano de longo prazo que busca a neutralidade de emissões e o desenvolvimento econômico e energético justo e sustentável. No âmbito da sua elaboração, o Ministério de Minas e Energia (MME) firmou um Acordo de Cooperação Técnica com a Fundação Getúlio Vargas, por meio do FGV Clima, o Centro de Estudos em Economia do Clima da Escola de Economia de São Paulo (FGV EESP). Essa colaboração visa oferecer suporte técnico rigoroso

e transparente, por meio da produção de análises, diagnósticos e do engajamento de *stakeholders* estratégicos.

Dessa forma, o presente relatório analisa o panorama global da transição energética, explorando desafios, oportunidades e experiências internacionais relevantes. Com base em análises recentes de organizações que atuam nas temáticas climática, energética, econômica e política, busca-se oferecer uma visão abrangente do cenário atual e das perspectivas para uma transição justa e sustentável em escala global.

Quanto à estrutura, além desta introdução, a Seção 2 apresenta o cenário global da transição energética — tendências, desafios, métricas e o papel de organizações e acordos internacionais. A Seção 3 examina as experiências da China, dos Estados Unidos, da Índia e da União Europeia (UE). A Seção 4 aborda políticas públicas e mecanismos de financiamento, incluindo incentivos, subsídios e instrumentos regulatórios. A Seção 5 reúne perspectivas e recomendações, com foco em barreiras, boas práticas aplicáveis ao Brasil e caminhos para a colaboração internacional. A Seção 6 integra os principais achados em uma conclusão.

2. Cenário Global da Transição Energética

Nesta seção, são examinadas as tendências e os desafios globais da transição energética a partir da análise das matrizes energética e elétrica, dos investimentos internacionais e da geração de energia por fontes renováveis e fósseis. Também são discutidos métricas e indicadores que sintetizam os avanços observados, bem como o papel de organizações internacionais que contribuem para a transição, seja pela produção de conhecimento, seja pela concessão de financiamentos. Por fim, são apresentados os principais acordos e iniciativas multilaterais que contribuem para a cooperação internacional na transição energética.

2.1 Tendências e Desafios Globais da Transição Energética

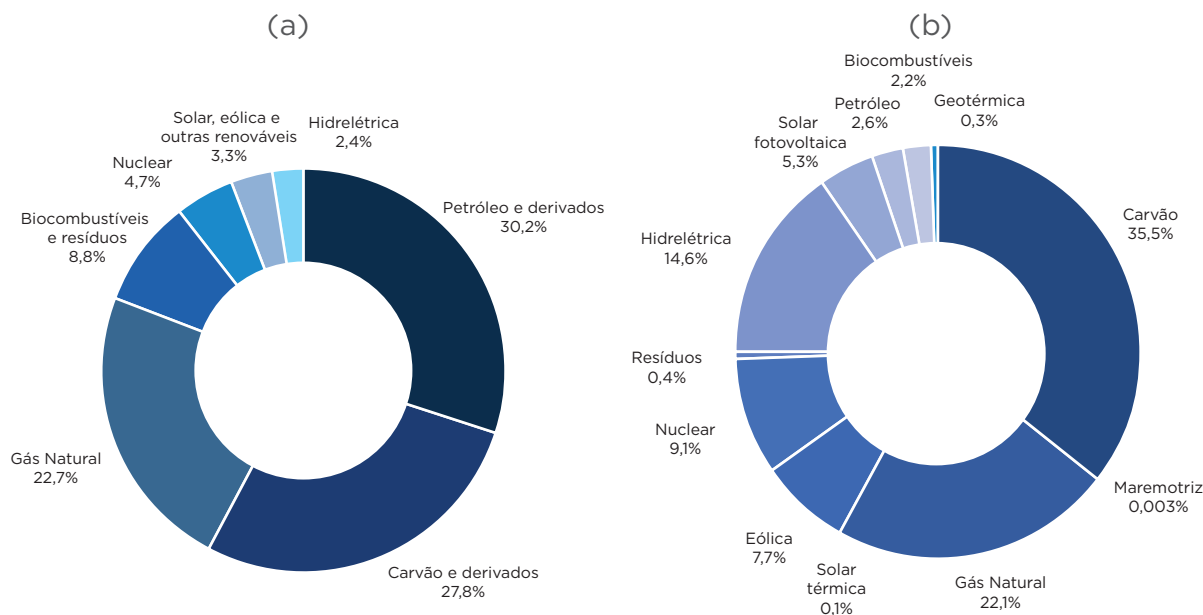
A transição energética global tem sido marcada por transformações profundas nas formas de produzir, distribuir e consumir energia, impulsionadas pela necessidade de reduzir emissões, ampliar o acesso a fontes limpas e fortalecer a segurança energética. Essas mudanças ocorrem de maneira desigual entre países e regiões, refletindo suas diferenças estruturais, econômicas, tecnológicas e regulatórias.

Compreender essas tendências e desafios é essencial para identificar o ritmo e a direção da transição, antecipar riscos e explorar oportunidades que favoreçam um processo mais inclusivo e sustentável. Nesse contexto, a análise dos dados mais recentes sobre a economia e o setor energético permite verificar como essas transformações têm se materializado no cenário global.

Em 2024, a economia mundial registrou um crescimento moderado, após a recuperação da pandemia de Covid-19, com um aumento do PIB de 3,2% em relação a 2023, valor próximo à média pré-pandemia de 3,4% entre 2010 e 2019. Contudo, contrariando a expectativa de que o crescimento econômico elevasse as emissões, a taxa de crescimento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) desacelerou, passando de 1,2% para 0,8% entre 2023 e 2024 (IEA, 2025a).

Essa desaceleração ganhou relevância no contexto energético do período, em que, apesar do avanço das fontes renováveis, as matrizes energética e elétrica mundiais permaneceram fortemente dominadas por combustíveis fósseis, como apresentam os gráficos da [Figura 1a](#) e [Figura 1b](#) (EPE, 2024). Em 2023, o carvão mineral, o gás natural e o petróleo e seus derivados mantiveram juntos participação majoritária, evidenciando o desafio de descarbonizar o setor energético em escala global.

Figura 1: (a) Matriz energética mundial, 2023; (b) Matriz elétrica mundial, 2023.



Fonte: IEA (s.d.a).

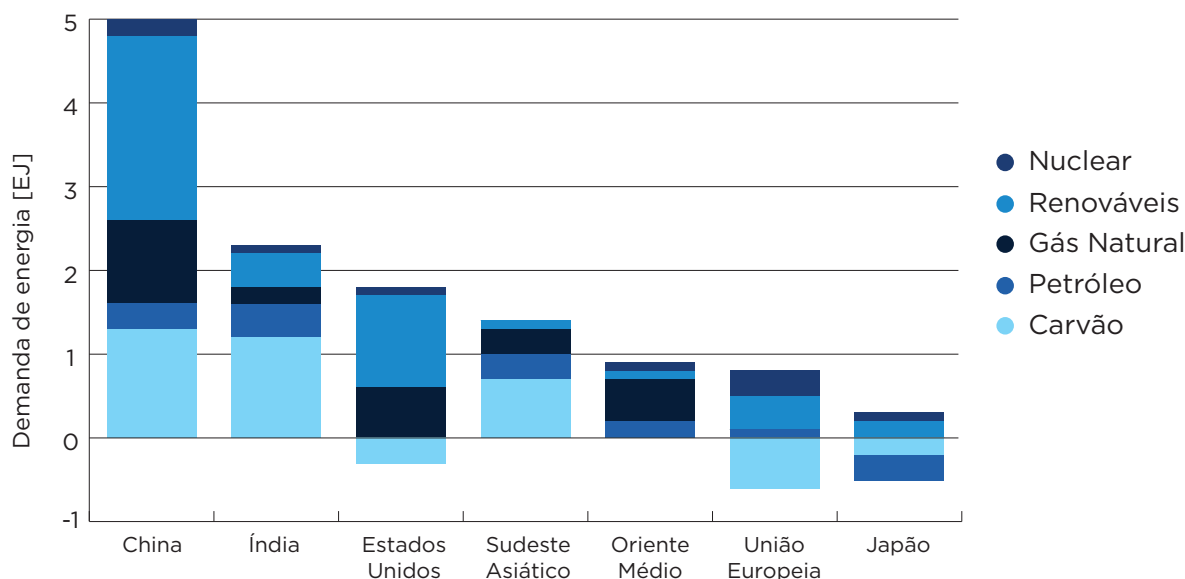
Soma-se a esse cenário o aumento contínuo da demanda global por energia, que em 2024 apresentou crescimento de 2,2% em relação ao ano anterior (IEA, 2025a). O setor elétrico foi o principal motor dessa expansão, com crescimento de aproximadamente 4,3% entre 2023 e 2024, acima da taxa de expansão do PIB global no período (3,2%) (IEA, 2025a). Logo, esse descompasso indica que o crescimento econômico, por si só, não explica a elevação do consumo energético (Ember, 2025a).

Nesse cenário do setor elétrico, observou-se que o consumo mundial de eletricidade aumentou quase 1.100 TWh entre 2023 e 2024, o dobro da média anual da última década. E assim, pela primeira vez, a demanda global de eletricidade ultrapassou a marca de 30.000 TWh (IEA, 2025a; Ember, 2025a).

Entre os fatores que justificam esse maior consumo, destaca-se o aumento da demanda por refrigeração (especialmente com o maior uso de aparelhos de ar-condicionado) em função de eventos climáticos extremos, como as severas ondas de calor. De acordo com a Ember (2025a), 20% do aumento da demanda global entre 2023 e 2024 esteve diretamente relacionado às condições de temperatura, sendo 2024 o ano mais quente já registrado.

Além deste, outro fator colaborativo a esse aumento é a aceleração da digitalização, marcada pela expansão de *data centers*, aplicações de inteligência artificial e pela intensificação da mineração de criptomoedas (IEA, 2025a; IPEA, 2025). Devido a esse cenário, a demanda por energia apresentou variações regionais em relação ao ano anterior, conforme apresenta a [Figura 2](#).

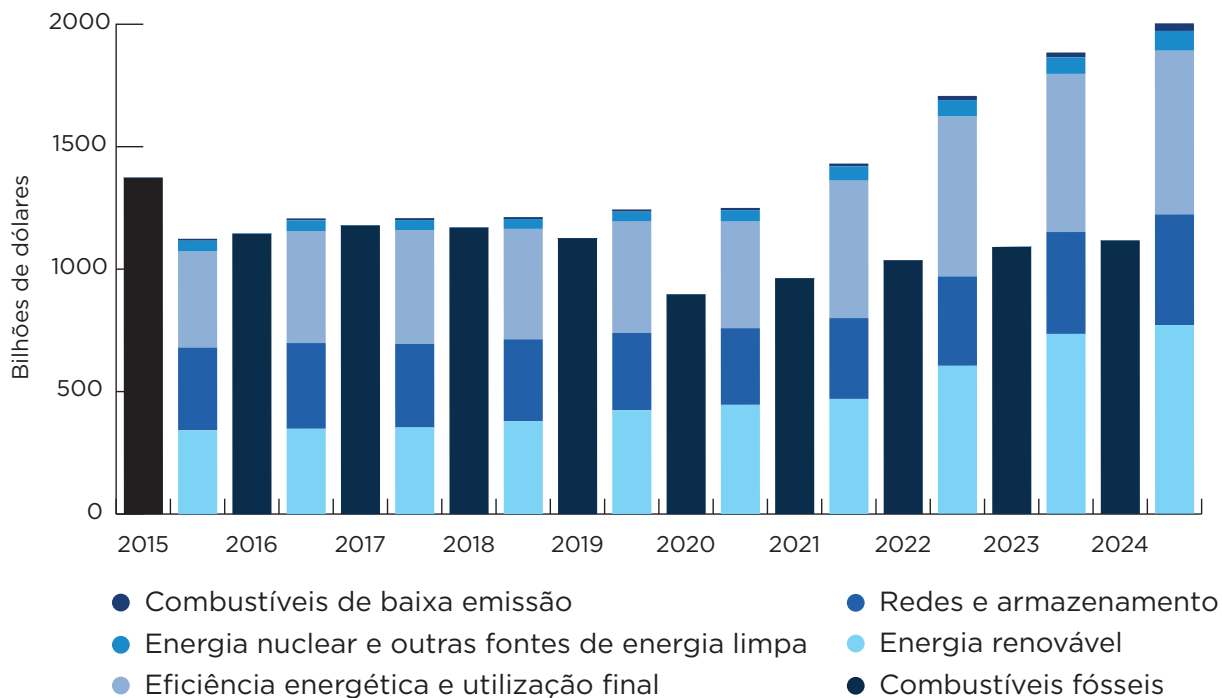
Figura 2: Variação na demanda por energia em regiões selecionadas, 2023-2024



Fonte: IEA (2025a).

As fontes renováveis responderam pela maior parcela do crescimento da oferta global de energia em 2024. Nesse ano, novas instalações de fontes renováveis atingiram níveis recordes pelo 22º ano consecutivo, totalizando cerca de 700 GW de capacidade adicionada, dos quais quase 80% foram provenientes da energia solar fotovoltaica. Esse aumento foi coerente com os avanços nos investimentos em energia limpa que, em 2024, foram quase o dobro dos destinados a combustíveis fósseis (Figura 3) (IEA, 2024b).

Figura 3: Investimento global em energia limpa e em combustíveis fósseis, 2015-2024



Fonte: IEA (2024b).

A [Figura 3](#) evidencia que os investimentos globais em energia limpa abrangem soluções para além da geração elétrica por fontes renováveis, que promovem a diversificação da matriz e a inovação tecnológica. Esses investimentos englobam também redes e sistemas de armazenamento e a adoção de combustíveis de baixa emissão, além da expansão das infraestruturas energéticas necessárias para viabilizar o uso desses novos combustíveis e para facilitar a integração das fontes renováveis de energia.

No entanto, esses investimentos estavam concentrados em economias desenvolvidas, enquanto mercados emergentes e países em desenvolvimento, com exceção da China, responderam por apenas cerca de 15% do total aplicado (IEA, 2024b). Por essa razão, compreende-se porquê, apesar do recorde global da oferta renovável, houve disparidade nesse crescimento entre países e regiões.

A Ásia concentrou a maior parcela da nova capacidade renovável, com 413,2 GW, o que é coerente com o grande capital aplicado na China. Em paralelo, a Europa e a América do Norte adicionaram 71,9 GW e 45,5 GW, respectivamente e outras regiões tiveram avanços modestos, como a América Central e o Caribe (0,4 GW), o Oriente Médio (4,0 GW) e a África (4,7 GW) (IRENA, 2025a).

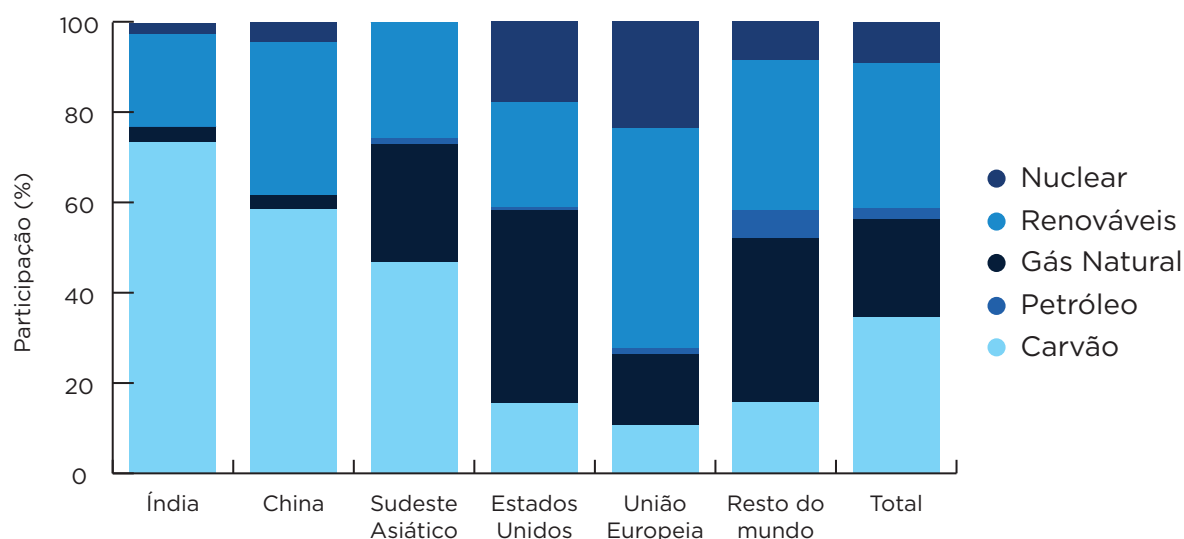
Essa desigualdade reflete diferenças estruturais: enquanto países desenvolvidos avançam na inovação tecnológica e na modernização de infraestrutura, com destaque para hidrogênio verde, redes elétricas inteligentes e sistemas de captura e armazenamento de carbono, muitos países em desenvolvimento enfrentam barreiras como instabilidade regulatória, custos de capital elevados e dificuldades para atrair investimentos (Engie, 2024b). Essa assimetria limita a velocidade e a profundidade da transição energética global, reforçando a necessidade de políticas e mecanismos de financiamento que considerem as especificidades regionais.

Apesar dessas disparidades e em consonância à variação da demanda observada na [Figura 2](#) e aos investimentos em energia limpa observados na [Figura 3](#), em 2024, pela primeira vez, a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis e nuclear representou cerca de 40% da matriz elétrica global, como mostra a [Figura 4](#).

Entre as renováveis, a liderança permaneceu com a energia hidrelétrica, responsável por 14% da geração total, seguida pela energia eólica (8%), solar fotovoltaica (7%) e bioenergia e resíduos (3%). A geração combinada de energia solar e eólica acrescentou 670 TWh à geração elétrica global, embora a energia eólica tenha registrado seu menor crescimento anual nas últimas duas décadas devido a entraves relacionados ao licenciamento ambiental e aos processos de autorização em diversas regiões (IEA, 2025a).

Essa mudança reflete não apenas o crescimento acelerado das fontes de baixa emissão na geração de eletricidade, mas também o início de transformações estruturais em setores-chave do consumo energético, como o de transportes.

Figura 4: Geração de energia elétrica em regiões selecionadas, 2024



Fonte: IEA (2025a).

No setor de transportes, a demanda por biocombustíveis cresceu, alcançando mais de 4% do consumo global de combustíveis e reforçando seu potencial para contribuir com a descarbonização (IEA, 2025a; Engie, 2024a). Paralelamente, o mercado de veículos elétricos manteve forte expansão, com aumento superior a 25% nas vendas entre 2023 e 2024, passando a representar mais de 20% de todos os automóveis vendidos no mundo (IEA, 2025a).

No panorama global, a demanda total por petróleo desacelerou, reduzindo sua participação no consumo energético para menos de 30% pela primeira vez em meio século, frente ao pico histórico de 46%. Embora a demanda tenha crescido nos setores de aviação e petroquímica, o recuo no transporte rodoviário — com quedas na China (-1,8%) e em economias avançadas (-0,3%) — foi o fator determinante (IEA, 2025a).

Nas economias desenvolvidas, a redução de 0,1% na demanda total por petróleo, entre 2023 e 2024, foi influenciada por padrões mais rígidos de eficiência veicular, maior adoção de veículos elétricos e ampliação do trabalho remoto. Em contrapartida, economias emergentes e em desenvolvimento da Ásia registraram aumentos expressivos, como a Índia (+3,4%) e o Sudeste Asiático (+2,6%), impulsionados pela urbanização e pelo aumento da posse de automóveis (IEA, 2025a). Na América Latina, o crescimento da demanda por petróleo em 2024 foi impulsionado principalmente pelo aumento do consumo no Brasil. Em contraste, a África registrou queda contínua na demanda, tanto de 2022 para 2023 quanto de 2023 para 2024.

Essas disparidades refletem desigualdades estruturais agravadas pelos preços elevados do petróleo e pela valorização do dólar, que impõem pressão adicional sobre países importadores. Como consequência, diversas regiões enfrentaram interrupções graves no fornecimento de petróleo. Esse cenário tornou-se mais crítico devido a obstáculos econômicos, como os observados na Argentina e no Sri Lanka, e pela

redução ou eliminação de subsídios governamentais em países como Egito, Nigéria e Paquistão (IEA, 2025a).

No caso do gás natural, a demanda global atingiu novo recorde histórico em 2024, com crescimento de 2,7% em relação ao ano anterior. Economias emergentes e em desenvolvimento da Ásia responderam por 40% dessa expansão, impulsionadas pela continuidade do crescimento econômico (IEA, 2025a). No mesmo período, o índice europeu de referência para o preço do gás (*Title Transfer Facility*) aumentou 47,87% entre fevereiro e dezembro (de USD 24,88/MWh para USD 46,09/MWh), refletindo a intensificação dos preços globais da energia, fortemente influenciados por riscos geopolíticos e pela volatilidade de mercado (IEA, 2025a; Protergia, s.d.).

A demanda por carvão também cresceu, especialmente na China (+1,2%) e na Índia (+5,5%), sendo estes países os maiores consumidores mundiais. O Sudeste Asiático, que em 2023 se tornou a terceira maior região consumidora de carvão, registrou alta de quase 8% em 2024, impulsionada pelo uso industrial na Indonésia, sobretudo no setor metalúrgico voltado à produção de níquel, e pela geração elétrica nas Filipinas e no Vietnã. Em contraste, a União Europeia manteve a trajetória de queda, com redução superior a 10%, resultado do fechamento de usinas termelétricas (IEA, 2025a).

Esse cenário energético europeu também passou por mudanças estruturais no uso de petróleo e gás natural, além do uso de carvão, motivadas pelas sanções e restrições impostas às importações provenientes da Rússia (EC, 2025). De acordo com a *European Commission* (2025), tanto o bloco quanto a própria Rússia deverão sentir, nos próximos anos, os efeitos dessas medidas.

Nesse cenário energético mundial, um desafio observado para a transição energética diz respeito à desaceleração na melhoria da intensidade energética, indicador-chave da eficiência energética. Entre 2010 e 2019, a taxa média anual de melhoria era de 2%, reduzindo-se para 1,2% entre 2019 e 2023 e para apenas 1% em 2024. Entre os fatores dessa desaceleração estão: o crescimento de setores intensivos em energia no pós-pandemia em economias emergentes como China e Índia; o aumento da demanda por energia em resposta a temperaturas extremas; e a baixa expansão da geração hidrelétrica, que levou ao uso de fontes menos eficientes em algumas regiões. A China e a Índia foram exceções parciais: ambas apresentaram melhorias mais rápidas na intensidade energética, embora ainda inferiores aos níveis pré-pandemia (IEA, 2025a).

Além dos desafios estruturais discutidos acima, eventos marcantes de 2024, como conflitos geopolíticos, tensões comerciais e barreiras tecnológicas, afetaram o panorama energético de 2025 (WEF, 2025). Tais eventos expuseram a vulnerabilidade e a dificuldade das regiões em promover transformações nesse campo (WEF, 2025).

O panorama traçado revelou que a transição energética, embora avance em diversas frentes, ainda enfrenta barreiras que limitam seu alcance e velocidade. Entre essas,

a persistente dependência de combustíveis fósseis, as vulnerabilidades geopolíticas e as restrições de investimento em mercados emergentes (com exceção da China).

Somam-se a isso desafios como eventos climáticos extremos, desinformação, sanções comerciais e restrições ao investimento estrangeiro, que comprometem dimensões fundamentais da transição: segurança, equidade, sustentabilidade, inovação e compromisso político (WEF, 2025).

Diante dessas complexidades, torna-se indispensável não apenas mapear o que está ocorrendo, mas também medir de forma sistemática o progresso alcançado e as lacunas existentes. Nesse sentido, o monitoramento da transição ganha relevância como base objetiva para orientar políticas públicas, estratégias empresariais e decisões de investimento, tema da próxima subseção.

2.2 Métrica para Monitoramento da Transição Energética

O monitoramento da transição energética exige métricas capazes de capturar tanto o desempenho atual dos sistemas energéticos quanto a capacidade dos países em avançar nesse processo. Nesse sentido, o Índice de Transição Energética (*Energy Transition Index* – ETI), desenvolvido pelo *World Economic Forum* (WEF), constitui uma das principais ferramentas globais para acompanhar esse monitoramento.

Fundamentada em 15 anos de *benchmarking* conduzido pelo WEF, a pontuação do ETI avalia o desempenho do sistema e a prontidão como subíndices para a transição energética de 118 países¹ ([Figura 5](#)):

- 1. Desempenho do sistema**, composto pelas dimensões de segurança, equidade e sustentabilidade;
- 2. Prontidão para a transição**, que se refere à habilidade de estabelecer um ambiente propício à transição, composto por fatores essenciais e por fatores facilitadores. Os fatores essenciais são: (i) regulamentações e compromisso político, e (ii) finanças e investimento; enquanto os fatores facilitadores incluem: (i) inovação, (ii) infraestrutura, e (iii) educação e capital humano.

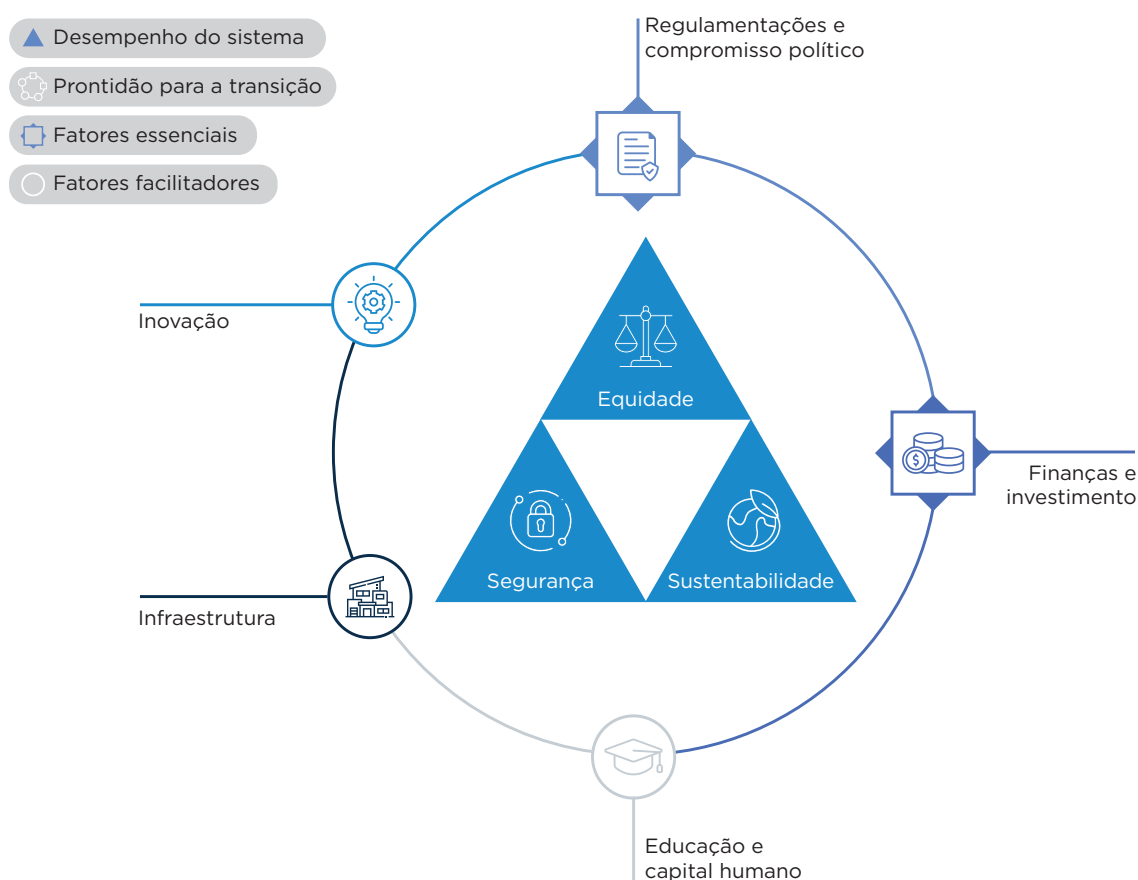
São as definições para o ETI (WEF, 2025):

- **Equidade:** garantir acesso universal à energia, com preços estáveis, de modo a apoiar o crescimento e o desenvolvimento econômico.
- **Segurança:** assegurar o fornecimento energético contínuo e resiliente, baseado na diversificação das fontes, na confiabilidade da rede e em infraestruturas capazes de enfrentar choques externos.
- **Sustentabilidade:** aprimorar o desempenho ambiental dos sistemas energéticos, com foco em baixas emissões, uso eficiente de recursos, maior eficiência energética e ampliação da participação de fontes limpas na matriz.

¹ O desempenho do sistema é ponderado em 60%, enquanto a prontidão para a transição é ponderada em 40%.

- **Educação e capital humano:** formar e capacitar mão de obra qualificada para atender às demandas do setor emergente de energia limpa.
- **Finanças e investimentos:** criar um ambiente financeiro sólido e sustentável, capaz de atrair recursos para impulsionar a transformação energética.
- **Infraestrutura:** desenvolver e modernizar infraestruturas físicas e digitais essenciais para sustentar a transição rumo a uma economia de baixo carbono.
- **Inovação:** estimular o desenvolvimento e a difusão de tecnologias avançadas que fortaleçam sistemas energéticos mais sustentáveis, eficientes e seguros.
- **Regulação e compromisso político:** estabelecer políticas e marcos regulatórios robustos que promovam uma transição energética competitiva e de longo prazo.

Figura 5: Composição do Índice de Transição Energética 2025



Fonte: WEF (2025).

Os subíndices do ETI totalizam 43 indicadores para captar aspectos-chave da transição energética. Assim, na escala do ETI que varia de 0 a 100, valores próximos a 100 representam os melhores resultados. Ressalta-se, entretanto, que fatores externos podem influenciar a pontuação de um país e, por isso, essa pontuação deve ser interpretada como um reflexo de seu desempenho e de suas condições habilitadoras observadas no contexto estrutural específico, e não como um ranking absoluto de progresso em direção à transição energética (WEF, 2025). Adicionalmente, o ETI oferece uma visão geral dos países, identificando avanços, desafios e prioridades na construção de sistemas energéticos mais sustentáveis e inclusivos.

A [Tabela 1](#) apresenta a classificação geral dos 60 países com melhor desempenho no ETI 2025. A seleção desses países baseou-se na disponibilidade de dados de diferentes organizações internacionais, considerando critérios de relevância, comparabilidade, atualidade e qualidade.

Tabela 1: Ranking dos 60 países com maior Índice de Transição Energética 2025

País	PETI	PTE	País	PETI	PTE	País	PETI	PTE
Suécia	77,5	78,1	Chile	65,7	56,2	Georgia	60,9	52,6
Finlândia	71,8	70,5	Eslovênia	65,4	59,0	Azerbaijão	60,1	46,8
Dinamarca	71,6	75,7	Hungria	65,4	58,5	Polônia	59,9	54,7
Noruega	71,5	65,3	Nova Zelândia	64,9	55,9	Costa Rica	59,9	45,6
Suíça	71,0	70,3	Japão	64,9	62,0	República Eslovaca	59,8	50,0
Áustria	70,6	71,1	Croácia	64,6	57,3	Malta	58,8	43,6
Letônia	69,4	67,6	Grécia	64,6	67,8	Malásia	58,7	45,4
Países Baixos	69,2	74,7	Bélgica	64,0	64,3	Emirados Árabes Unidos	58,4	53,1
Alemanha	68,8	71,9	Bulgária	63,7	60,9	Vietnã	58,1	45,2
Portugal	68,6	66,4	Romênia	63,7	54,6	Turquia	57,9	49,5
Estônia	68,0	62,3	Luxemburgo	63,3	67,3	Tailândia	57,3	44,9
China	67,5	71,3	Austrália	63,0	64,9	Singapura	57,0	58,6
Islândia	67,3	62,6	Canadá	62,8	61,0	Peru	56,9	39,6
França	67,1	62,4	República da Coreia	62,8	61,7	Panamá	56,2	40,4
Brasil	67,0	62,6	Uruguai	62,5	49,6	México	56,0	39,0
Reino Unido	66,8	64,5	Itália	62,4	56,6	Ucrânia	55,9	38,0
Estados Unidos	66,8	68,2	Albânia	61,5	48,3	Argentina	55,6	36,3
Espanha	66,6	63,6	Colômbia	61,3	52,0	Indonésia	55,5	38,7
Lituânia	66,6	67,6	Irlanda	61,1	57,5	Chipre	55,1	49,5
Israel	66,1	56,9	República Tcheca	61,1	53,1	Arábia Saudita	55,0	47,2

Fonte: WEF (2025).

Legenda: P ETI - Pontuação ETI; PTE - Pontuação para prontidão para a transição energética.

■ Economias avançadas;
 ■ Europa emergente;
 ■ Ásia emergente;
 ■ América Latina e Caribe;
 ■ Oriente Médio, Norte da África e Paquistão.

Nota: nenhum país da África Subsaariana foi classificado entre os 60 com maior pontuação ETI.

Os dados do ETI 2025 indicam um crescimento médio de 1,1% nas pontuações em relação a 2024. O subíndice desempenho do sistema avançou 1,2%, impulsionado principalmente pelos ganhos em equidade (+2,2%), associados à flexibilização de preços e às reformas de subsídios em andamento em diversos países. A sustentabilidade também contribuiu com acréscimo de 1,2%, refletindo a redução na intensidade energética, menores emissões e maior participação de energias limpas. Já a dimensão de segurança registrou avanço mais tímido (+0,4%), sinalizando a permanência de vulnerabilidades no fornecimento energético e na diversidade das fontes.

Em contrapartida, o subíndice de prontidão para a transição apresentou crescimento de apenas 0,8% entre 2024 e 2025, abaixo da média da última década (1,2%). Esse resultado revela avanços lentos, ou mesmo estagnação, em áreas críticas como inovação, capacidade de investimentos e fortalecimento regulatório (WEF, 2025).

Segundo o WEF (2025), 65% dos países melhoraram suas pontuações gerais no ETI 2025, mas apenas 28% avançaram simultaneamente nas três dimensões-chave do desempenho do sistema (segurança, equidade e sustentabilidade). Isso evidencia a natureza desigual da transição energética, com diferentes ritmos, prioridades e capacidades entre países e regiões.

No ranking geral ([Tabela 1](#)) do PETI, os países nórdicos reafirmaram sua posição de liderança em razão da diversificação energética, políticas nacionais sólidas, forte adoção de fontes renováveis e infraestrutura confiável. Contudo, progressos foram observados na Letônia, na China, nos Emirados Árabes Unidos, na Nigéria, nos Estados Unidos e na Índia. No recorte específico da prontidão para a transição (PTE), os países destaques foram Suécia (78,1), Dinamarca (75,7), Países Baixos (74,7), Alemanha (71,9) e China (71,3) (WEF, 2025).

A Letônia liderou a categoria “Europa emergente” uma vez que, apoiada por ganhos de capital, desenvolveu sua capacidade de geração de energias renováveis, modernizou sua infraestrutura de rede e sincronizou sua rede com a Rede Continental Europeia. Já a China consolidou-se como referência na “Ásia emergente”, categoria destacada pelo aumento de investimentos, sendo impulsionada pelo ambiente nacional de inovação e pela maior capacidade financeira. No contexto da “América Latina e Caribe”, o Brasil assumiu a liderança, seguido pelo Chile, impulsionado pela Estratégia Nacional de Hidrogênio Verde, e pelo Uruguai (WEF, 2025).

Nos Emirados Árabes Unidos, líder da categoria “Oriente Médio, Norte da África e Paquistão” que avançou em equidade, os ganhos foram resultados das reformas de subsídios, da expansão da energia limpa, da redução da intensidade energética e da expansão da usina nuclear de Barakah. A Nigéria alcançou a 61ª posição, contra a 109ª que estava em 2016, liderando a categoria “África Subsaariana” graças à melhoria regulatória e ao aumento da capacidade de investimento e infraestrutura. Os Estados Unidos se destacaram em segurança energética, enquanto a Índia apresentou avanços em intensidade energética, regulação e financiamento (WEF, 2025).

Os resultados do ETI 2025 mostram que, apesar do progresso global, a transição energética segue marcada por desigualdades regionais e tecnológicas e desafios estruturais persistentes. Muitos dos avanços observados foram viabilizados não apenas por políticas nacionais, mas também pela ação de organizações internacionais, que desempenham papel estratégico ao oferecer apoio técnico, financiamento, promoção da inovação e articulação de políticas, conforme é discutido na próxima seção.

2.3 Organizações Internacionais para a Transição Energética

As organizações internacionais são centrais para a formulação e difusão de políticas públicas e mecanismos de financiamento voltados à transição. Além disso, colaboram para a disseminação de conhecimento técnico voltado à consolidação de sistemas energéticos confiáveis, resilientes e acessíveis.

Atuando como articuladoras entre governos, setores da economia e sociedade civil, essas organizações promovem, em escala global, a integração entre as metas climáticas e o desenvolvimento sustentável, englobando as esferas econômicas, sociais e ambientais. O [Quadro 1](#) apresenta algumas organizações relevantes para o avanço da transição energética, com as funções que desempenham, bem como as principais produções e projetos pertinentes ao cenário.

Quadro 1: Organizações Internacionais para a Transição Energética

Descrição	Funções principais	Algumas produções e projetos
<i>International Energy Agency (IEA)</i>		
<p>Organização intergovernamental autônoma no centro do diálogo global sobre energia, que trabalha com governos e indústrias para moldar um futuro energético seguro e sustentável. A IEA abrange a análise de todos os combustíveis que configuram maior confiabilidade, acessibilidade e sustentabilidade energética.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analisa cenários energéticos globais; • Oferece soluções e recomendações globais para garantir segurança energética; • Fornece dados sobre a transição energética mundial, disponibilizando-os gratuitamente a cidadãos, governos e indústrias; • Fornece a base para parcerias internacionais em pesquisas públicas e privadas; • Garante resposta rápida a interrupções no fornecimento de energia com medidas emergenciais e mecanismos de segurança; • Realiza atividades de treinamento sobre estatísticas de energia, tecnologia, eficiência energética e outros. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Oil Market Report 2025:</i> apresenta as questões que afetam o petróleo; • <i>Global EV (Electric Vehicles) Outlook 2025:</i> apresenta a expansão do setor de veículos elétricos; • <i>Energy and AI (Artificial Intelligence):</i> apresenta a relação entre energia e inteligência artificial; • <i>World Energy Investment 2025:</i> apresenta os investimentos globais em energia; • <i>World Energy Outlook 2024:</i> apresenta as perspectivas do cenário energético global; • <i>Clean Energy Transitions Programme 2024 (CETP):</i> programa de transformação da energia limpa no mundo.

Descrição	Funções principais	Algumas produções e projetos
<i>International Renewable Energy Agency (IRENA)</i>		
<p>Organização intergovernamental que tem a missão de apoiar os países na transição para um futuro energético sustentável. A IRENA atua como uma plataforma de cooperação entre seus membros e organizações dedicadas à promoção das energias renováveis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Atua como um repositório de conhecimento sobre políticas, tecnologias e finanças em energia renovável; • Impulsiona a adoção de energias renováveis, como bioenergia, geotérmica, hidrelétrica, oceânica, solar e eólica; • Dissemina boas práticas, a formulação de políticas e o fortalecimento de capacidades institucionais; • Incentiva investimentos para alcançar avanços tecnológicos e inovação. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u><i>Delivering on the UAE Consensus: Tracking progress toward tripling renewable energy capacity and doubling energy efficiency by 2030:</i></u> apresenta a avaliação do progresso da expansão da energia renovável e da eficiência energética após consenso na COP nos Emirados Árabes Unidos; • <u><i>The potential for green hydrogen and related commodities trade:</i></u> apresenta a análise do potencial para o hidrogênio verde e seus produtos associados; • <u><i>A Call to Action: Developing Sustainable Capital Markets, Financing Energy Transitions, and Building Project Pipelines:</i></u> apresenta a análise de financiamentos para a transição energética; • <u><i>Tracking Sustainable Development Goal 7: The Energy Progress Report 2025:</i></u> apresenta o monitoramento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 para garantir energia acessível, fiável, sustentável e moderna até 2030.

Algumas produções e projetos

Descrição	Funções principais	
United Nations (UN)		
<p>Organização internacional que possui como principais diretrizes: manter a paz e a segurança internacional; proteger os direitos humanos; fornecer ajuda humanitária; apoiar o desenvolvimento sustentável e a ação climática; e defender o direito internacional. Atualmente, é composta por 193 Estados-membros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>United Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)</i>: apoia a resposta global diante da ameaça das mudanças climáticas, fornecendo conhecimento técnico e auxiliando na análise e revisão das informações sobre mudanças climáticas; • <i>United Nations Development Programme (UNDP)</i>: apoia países e comunidades para erradicar a pobreza, implementar o Acordo de Paris e alcançar os ODS; • <i>United Nations Environment Programme (UNEP)</i>: monitora o meio ambiente global, apoia os países na incorporação da sustentabilidade ambiental em seus planos de desenvolvimento e investimento, e promove a conscientização e a adoção de ações eficazes para enfrentar os desafios ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>UNFCCC: Transition Finance: From Ambition to Action</u>: apresenta o enfoque no financiamento da transição voltada para a aceleração e ampliação da ação climática; • <u>UNDP: UNDP Annual Report 2024</u>: apresenta as estratégias para alcançar objetivos tais como a erradicação da fome, o fortalecimento da governança, o acesso à energia e ao financiamento, considerados essenciais para o cumprimento dos marcos dos ODS; • <u>UNEP: Emissions Gap Report 2024</u>: apresenta a análise das contribuições dos países para a redução das emissões de GEE; • <u>UNEP: Adaptation Gap Report 2024</u>: apresenta a análise dos fluxos internacionais de financiamento para adaptação.
Green Climate Fund (GCF)		
<p>Fundo climático global com o objetivo de apoiar países em desenvolvimento a aumentar e concretizar suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (<i>Nationally Determined Contributions</i> – NDCs), visando menor emissão de GEE e maior resiliência climática.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Promove estratégias, planos e políticas integradas para maximizar os benefícios da mitigação, adaptação e desenvolvimento sustentável; • Investe em novas tecnologias, modelos de negócios e práticas; • Usa recursos públicos de forma estratégica para melhorar o perfil de risco-recompensa de investimentos resilientes ao clima de baixa emissão e para atrair financiamento privado, principalmente para adaptação; • Incorpora riscos e oportunidades nas decisões de investimentos para alinhar as finanças ao desenvolvimento sustentável. 	<ul style="list-style-type: none"> • Portfólio: 314 projetos no Leste Europeu, na América Latina e Caribe, na África e na Ásia. As áreas de impacto contempladas pelos projetos incluem: segurança sanitária, alimentar e hídrica; meios de subsistência de pessoas e comunidades; geração e acesso à energia; transporte; infraestrutura e ambiente construído; ecossistemas e serviços ecossistêmicos; edifícios, cidades, indústrias e eletrodomésticos; e florestas e uso da terra.

Descrição	Funções principais	Algumas produções e projetos
World Bank Group (WBG)		
<p>Organização composta por cinco instituições interligadas que possui como missão erradicar a pobreza extrema e impulsionar a prosperidade a partir do desenvolvimento inclusivo, resiliente a choques e sustentável. O WBG fornece aos governos conhecimento, apoio analítico e consultivo para definir políticas, estabelecer marcos regulatórios e fortalecer instituições.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>International Bank for Reconstruction and Development:</i> fornece produtos financeiros e consultoria política para auxiliar países de renda média e baixa a reduzir a pobreza e responder a desafios regionais e globais; • <i>International Development Association:</i> oferece subsídios e empréstimos com juros baixos para auxiliar países de baixa renda a garantir prosperidade para a população; • <i>International Finance Corporation:</i> promove o desenvolvimento econômico e incentiva o crescimento do setor privado em países em desenvolvimento; • <i>Multilateral Investment Guarantee Agency:</i> fornece seguro de risco político para projetos em países em desenvolvimento; • <i>International Centre for Settlement of Investment Disputes:</i> promove soluções para disputas em investimentos internacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>From Resource Rich to Resource Smart: Opportunities for Latin America and the Caribbean in the Energy Transition 2025:</u> apresenta um roteiro para transformar o potencial da transição energética na América Latina e no Caribe em realidade; • <u>Banking on Cities: Investing in Resilient and Low-Carbon Urbanization 2025:</u> apresenta um guia para cidades e governos nacionais desenvolverem suas estratégias de investimento urbano; • <u>State and Trends of Carbon Pricing 2025:</u> apresenta um panorama dos mecanismos, existentes e emergentes, de precificação de carbono no mundo; • <u>Green Technologies: Decarbonizing Development in East Asia and Pacific 2025:</u> apresenta uma orientação para políticas de desenvolvimento e difusão de tecnologias verdes.

Fonte: elaboração própria a partir de IEA (2024a); IEA (2024c); IEA (2023); IEA (s.d.b); IRENA (s.d.a); IRENA (s.d.b); UNFCCC (s.d.a); UNEP (s.d.); UN (s.d.a); UN (s.d.b); UNDP (s.d.); GCF (s.d.a); GCF (s.d.b.); WBG (s.d.a); WBG (s.d.b); WBG (s.d.c.)

Destacam-se, no âmbito da IEA, os produtos *World Energy Outlook 2024* e o *Clean Energy Transitions Programme* (CETP), que contribuem significativamente para a promoção da transição energética. O *World Energy Outlook 2024*, da IEA, ao apresentar as perspectivas do cenário energético global, oferece uma análise dos avanços para um sistema energético mais seguro e sustentável, além de examinar como alguns fatores, como ondas de calor, políticas de eficiência e a inteligência artificial, podem afetar essas perspectivas (IEA, 2024a).

O CETP auxiliou a IEA a se consolidar como consultora energética mundial. O programa, desde sua criação em 2017, gerou como resultados: (i) fornecimento de análises mundiais, aconselhamento político, apoio técnico e capacitação; (ii) fornecimento de informações técnicas para subsidiar a elaboração das políticas energéticas dos países; e (iii) impulsionamento da energia limpa em fóruns internacionais. O CETP forneceu cerca de 400 relatórios analíticos e técnicos com base em três pilares: parceria com países para acelerar a transição; utilização do conhecimento técnico da IEA em combustíveis e tecnologias; e modificação do diálogo abrangendo questões importantes para a transição como emprego, eficiência energética e minerais críticos. Cita-se como exemplo de ação do CETP as contribuições para um roteiro *Net Zero*² para a Indonésia e as recomendações relacionadas às energias renováveis que foram incluídas no Plano Quinquenal da China (IEA, 2023).

Além das organizações internacionais, os acordos multilaterais também contribuem para a transição energética, coordenando esforços entre países para alinhar compromissos e fortalecer estratégias.

2.4 Acordos Multilaterais contribuintes para a Transição Energética

A transição energética global requer a cooperação internacional entre países, blocos econômicos e organizações multinacionais, dadas as desigualdades regionais em capacidades tecnológicas, institucionais, ambientais, sociais e econômicas. Essa cooperação é fundamental para a formulação de acordos multilaterais, que fomentam o avanço conjunto dessas regiões.

Os acordos multilaterais formais estabelecem obrigações comuns para a resolução de conflitos globais e de interesse coletivo. Entre esses, incluem-se: UNFCCC, Protocolo de Quioto, Acordo de Paris, Pacto Climático de Glasgow e Acordo de Escazú.

As iniciativas multilaterais globais, por sua vez, propõem compromissos voltados à resolução de conflitos com uma abordagem centrada no diálogo, no estabelecimento de metas e na conectividade entre os participantes. Destacam-se: G7, G20, *Clean Energy Ministerial*, Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, *Mission Innovation*, *International Solar Alliance*, *Powering Past Coal Alliance*, *Global Methane Pledge* e *Just Energy Transition Partnerships*.

O [Quadro 2](#) apresenta esses acordos e iniciativas multilaterais globais que contribuem para o avanço da transição energética, acompanhados de informações como ano de estabelecimento, sua natureza, descrição e relevância para o processo da transição.

² *Net Zero* refere-se ao conceito de emissões líquidas de GEE nulas, ou seja, há um equilíbrio entre a emissão e a remoção de GEE.

Quadro 2: Acordos e iniciativas multilaterais internacionais

Acordo/ Iniciativa	Ano	Natureza	Descrição	Relevância para a Transição Energética
UNFCCC	1992	Tratado internacional vinculante	Direciona negociações climáticas globais com objetivo de prevenir a interferência humana no sistema climático	Oferece suporte à resposta global à ameaça das mudanças climáticas, disponibilizando conhecimento técnico e colaborando na análise e revisão de informações relacionadas ao tema, incluindo energia
Protocolo de Quioto	Criado em 1997; Vigência: 2005	Tratado internacional complementar à UNFCCC	Operacionaliza a UNFCCC comprometendo os países industrializados e as economias em transição a limitar e reduzir as emissões de GEE	Fomenta a transição energética incentivando os países a adotarem tecnologias mais limpas que reduzam as emissões de GEE, além de monitorar tais emissões e criar o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Acordo de Paris	Assinado: 2015 (COP 21); Vigência: 2016	Tratado internacional juridicamente vinculante com NDCs* voluntárias	Estabelece o compromisso de limitar o aumento da temperatura global a 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para restringi-lo a 1,5°C; Oferece uma estrutura para apoio financeiro, técnico e de capacitação	Coordenação de ações voltadas à construção de resiliência e à promoção de medidas de adaptação frente aos impactos das mudanças climáticas
Pacto Climático de Glasgow	2021 (COP 26)	Negociação entre países na COP 26	Estabeleceu “blocos de construção” para avançar na implementação do Acordo de Paris por meio de ações que guiem o planeta para maior sustentabilidade e baixo carbono	Implementação dos blocos de construção, com redução gradual do uso energético do carvão, eliminação gradual dos subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, entre outros
Acordo de Escazú	2018	Acordo regional na América Latina e no Caribe	Garante acesso à informação, participação e justiça em questões ambientais, promovendo o direito a um ambiente e desenvolvimento saudáveis	Fortalecimento da governança socioambiental no contexto da transição energética

Acordo/ Iniciativa	Ano	Natureza	Descrição	Relevância para a Transição Energética
G7	1975	Fórum informal	Abrange questões relacionadas à economia global: política, segurança, comércio, clima e desenvolvimento	Os países constituintes possuem como compromissos eliminar gradualmente os subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis e dobrar o financiamento climático para adaptação em relação aos níveis de 2019
G20	1999	Fórum informal	Fomenta a cooperação em questões relacionadas aos sistemas financeiro e político no cenário internacional	A maioria dos países do G20 começou a desenvolver energia eólica e/ou solar em larga escala
Clean Energy Ministerial	2010	Fórum/ Plataforma internacional de liderança em energia limpa	Reúne países, empresas e especialistas internacionais para acelerar a transição para a energia limpa	Auxílio para moldar a agenda global de energia limpa com implementação de tecnologias e soluções, facilitando a construção de redes coordenadas para alcançar a transição
Agenda 2030	2015	Resolução da ONU não vinculante	Estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável voltados às pessoas, ao planeta e à prosperidade; Destaca que o desenvolvimento sustentável depende da combinação de políticas baseadas em evidências, compromissos públicos e investimentos	O ODS 7 ³ “Energia Limpa e Acessível” e o ODS 13 “Ação contra a Mudança Global do Clima” estabelecem compromissos voltados à garantia do acesso universal à energia e ao enfrentamento das mudanças climáticas
Mission Innovation	2015	Iniciativa voluntária	Visa catalisar ações e investimentos em pesquisa e desenvolvimento para expandir o acesso à energia limpa e torná-la uma opção mais viável e atrativa para diferentes setores	Reúne colaboradores que compartilham conhecimentos sobre financiamento para a inovação, liderança climática e desenvolvimento de soluções voltadas à transformação limpa da indústria

³ Foram constatados progressos relevantes nos últimos anos para o alcance do ODS 7, como a expansão das fontes renováveis, o aumento do acesso à eletricidade e a adoção de tecnologias mais limpas para o preparo de alimentos. Ainda assim, o relatório (UN, 2025) da ONU alerta que ainda são necessários investimentos substanciais, especialmente nas economias em desenvolvimento, para alcançar as metas estabelecidas até 2030.

Acordo/ Iniciativa	Ano	Natureza	Descrição	Relevância para a Transição Energética
<i>International Solar Alliance</i>	2015	Iniciativa voluntária	Criada em paralelo à COP 21 pela Índia e França; Estabelece esforços para combater as mudanças climáticas por meio da implementação de soluções de energia solar	Cumprimento da missão de viabilizar USD 1 trilhão em investimentos em energia solar até 2030 e reduzir custos de tecnologia e financiamento
<i>Powering Past Coal Alliance</i>	2017	Coalização voluntária de governos, empresas e organizações nacionais e subnacionais	Busca delinear como governos e finanças públicas e privadas podem reduzir o uso de carvão nas economias, compartilhando as melhores práticas e desbloqueando o financiamento internacional	Promoção da substituição da geração de energia a carvão por fontes limpas, sem comprometer os níveis globais de geração e de eletricidade
<i>Global Methane Pledge</i>	2021 (COP 26)	Negociações entre países na COP 26	Compromisso para reduzir coletivamente, até 2030, as emissões de metano em pelo menos 30% abaixo dos níveis de 2020	O cumprimento da meta apoia a transição energética a partir da substituição gradual dos combustíveis fósseis utilizados no setor de energia, que possui grande importância na emissão total de metano
<i>Just Energy Transition</i>	2021 (COP 26)	Iniciativa voluntária	Mecanismo de cooperação financeira para auxiliar as economias emergentes dependentes do carvão a realizar uma transição energética justa	Ampliação do financiamento climático, com foco nos aspectos sociais da transição energética e na redução gradual do uso de combustíveis fósseis

Fonte: elaboração própria a partir de UNFCCC (s.d.a); UNFCCC (s.d.b); UNFCCC (s.d.c); UN (2015); Nações Unidas Brasil (2015); Mission Innovation (s.d.); PPCA (s.d.a); PPCA (s.d.b); UN (s.d.b); Argentina (s.d.); G7G20 (s.d.a); G7G20 (s.d.b); IISD (2025); Ember (2025b); CEM (s.d.); IEA (2022); ISA (s.d.); IISD (2022).

Em síntese, esses acordos e iniciativas orientam a adoção de medidas voltadas à transição energética, promovendo o compartilhamento de experiências em inovação, desenvolvimento tecnológico e financiamento. Ao fazê-lo, estimulam a adesão de países, blocos econômicos e organizações a estratégias conjuntas de descarbonização.

3. Experiências Internacionais da Transição Energética

No cenário internacional da transição energética, alguns países tem se destacado por avanços consistentes em indicadores de segurança, equidade e sustentabilidade. Esses avanços decorrem da priorização estratégica que cada nação atribuiu a transformação de seus sistemas energéticos, refletindo contextos políticos, econômicos, sociais e institucionais distintos, o que evidencia a complexidade de consolidar uma transição equitativa e eficaz em escala global.

Nesta seção, são apresentadas as experiências de países e blocos selecionados por sua relevância estratégica: os Estados Unidos e a União Europeia, pelo protagonismo global; a China, pela liderança em tecnologias emergentes; e a Índia, pelos avanços recentes. Cada subseção aborda a adoção de fontes renováveis, a descarbonização, a eficiência energética e a incorporação de tecnologias emergentes, aspectos também impulsionados por organizações internacionais e acordos multilaterais.

3.1 China: Crescimento Econômico e Liderança em Tecnologias Emergentes

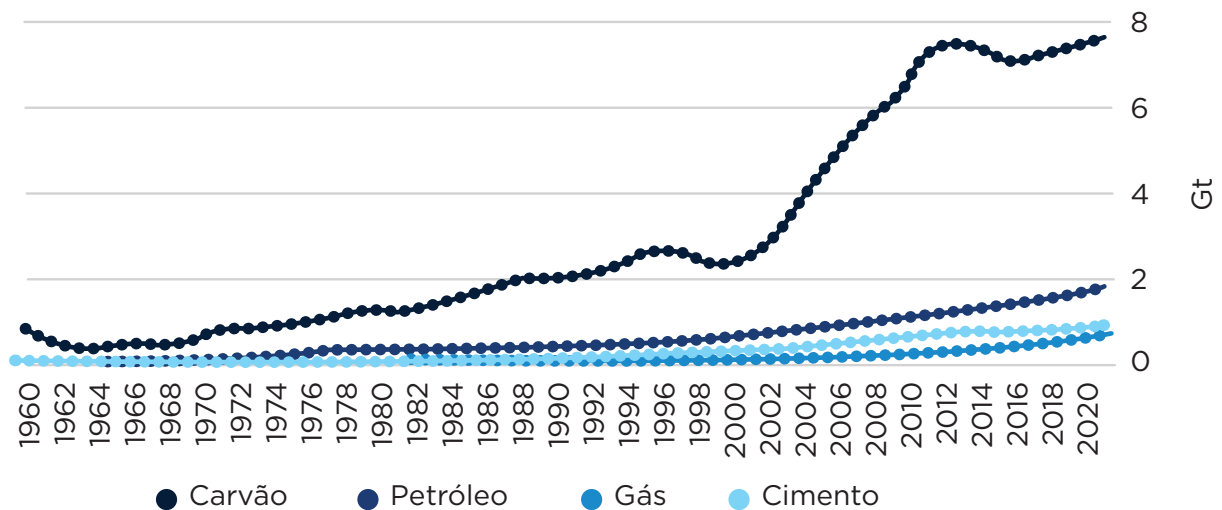
Em 2020, na Assembleia Geral da ONU, a China anunciou que suas emissões de CO₂ atingiriam o pico até 2030 e que buscaria a neutralidade de carbono até 2060. Para isso, o país adotou o Marco Político 1+N, que se refere à estrutura política na qual um plano abrangente para a nação (“1”) é apoiado por uma série de políticas setoriais ou regionais detalhadas (“N”). Essas políticas são correspondentes a áreas como energia, indústria, construção e transporte, abrangendo também carvão, eletricidade, ferro, aço e cimento.

Nesse mesmo ano, aproximadamente 45% das emissões de CO₂ da China provinham da geração de eletricidade, 35% da indústria e 8% do transporte. No entanto, ainda que a economia industrial chinesa dependa amplamente do carvão, combustível com maior crescimento de emissões no período ([Figura 6](#)), o país está, desde 2021, avançando gradualmente em direção às fontes renováveis de energia.

Além de dispor de uma indústria de energia eólica robusta, a China lidera o mercado global de painéis solares fotovoltaicos e possui a energia hidrelétrica desempenhando um papel importante no seu sistema energético (EP, 2022). Assim, no primeiro trimestre de 2025, apesar do aumento da demanda por energia registrado ([ver seção 2.1](#)), pela primeira vez, as emissões de CO₂ do país caíram 1,6% em relação ao primeiro trimestre de 2024 (WEF, 2025)

⁴ A China não divulgou o valor máximo das emissões de CO₂ a ser atingido, além disso, se refere a esse limite como “pico de emissões”.

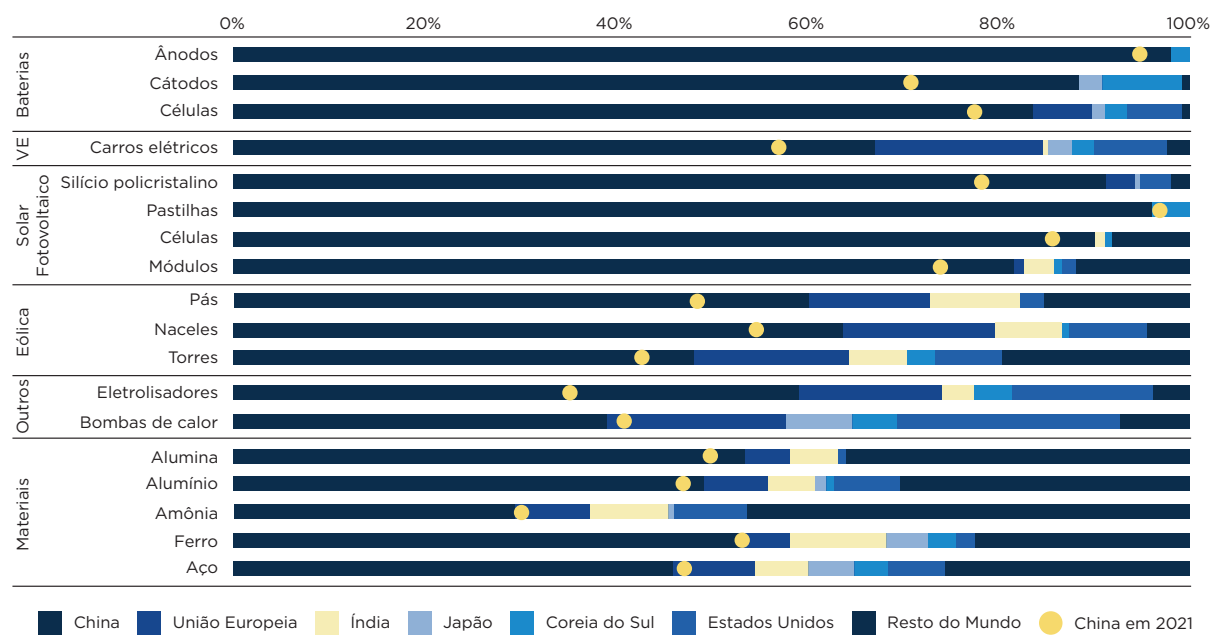
Figura 6: Emissões de CO₂ na China por tipo de combustível, 1960-2020



Fonte: Sandalow *et al.* (2022) *apud* The Global Carbon Project's fossil CO₂ emissions dataset (2021).

Dessa forma, a China tem se consolidado industrialmente e dominado globalmente as cadeias de fornecimento de tecnologias compatíveis com a transição energética (Figura 7).

Figura 7: Distribuição da capacidade produtiva mundial de tecnologias compatíveis com a transição energética por país/região, 2023



Fonte: ETC (2025) *apud* Energy Technologies Perspectives (2024).

Nota: em ETC (2025) consta "Os valores dos carros elétricos são calculados com base nos números de produção de 2023 e ajustados de acordo com as taxas de utilização das fábricas de montagem de automóveis na região".

O país asiático responde pela maior parcela da produção global de seis tecnologias para a transição energética: baterias, carros elétricos, energia solar fotovoltaica, energia eólica, materiais e outros (eletrolisadores e bombas de calor) (ETC, 2025).

A partir da [Figura 7](#), observa-se sua participação na produção de mais de 70% das células para baterias, mais de 70% dos módulos solares fotovoltaicos do mundo, cerca de 60% das nacelas eólicas (estruturas que abrigam os componentes das turbinas eólicas) e quase dois terços de todos os veículos elétricos. Além disso, o país desempenha um papel importante no processamento intermediário de minerais críticos, refinando 65% do lítio mundial, mais de 75% do cobalto e quase todos os ânodos de grafite⁵ (ETC, 2025).

Por meio do fomento a essas tecnologias, a transição energética chinesa, apesar de desafiadora devido ao uso intensivo de combustíveis fósseis em sua matriz energética, se alinha com os objetivos estratégicos nacionais. Ademais, ela é impulsionada por uma ampla gama de políticas que viabilizam mudanças estruturais e produtivas em larga escala. Ressalta-se, ainda, que, desde 2021, o país asiático tem atualizado suas *Nationally Determined Contributions* (NDCs) (NDC Partnership, 2024).

Esse desempenho é refletido no ETI 2025, no qual a China obteve pontuação de 67,5 no índice geral e 71,3 em prontidão para a transição. Os índices elevados resultam da combinação de infraestrutura industrial, energia renovável avançada - em 2024, o país respondeu por cerca de 40% do investimento mundial em energia limpa, capital humano qualificado, inovação e investimentos expressivo (WEF, 2025).

Assim, observa-se que essa combinação contempla os pilares que visam garantir o fornecimento de energia confiável, acessível e capaz de atender as necessidades básicas da população chinesa; ou seja, visam à resiliência e segurança energética. Portanto, o país investe em novas tecnologias como vetor de crescimento econômico sustentável, buscando reduzir a dependência de combustíveis fósseis, ainda que estes mantenham participação significativa na matriz atual.

O [Quadro 3](#) apresenta algumas medidas adotadas pela China para ampliar a oferta de energia, com as fontes renováveis na posição central atuando como base da estratégia de descarbonização. A formulação das políticas climáticas e energéticas no país chinês é orientada pelo governo central, embora a implementação dessas siga uma estrutura hierárquica, sendo conduzida pelos governos provinciais e locais, que detalham as políticas em planos regionais e setoriais específicos.

Com o intuito de contornar desafios relacionados à implementação dessas políticas, o país adotou um sistema de responsabilização por metas, por meio do qual objetivos climáticos e energéticos são distribuídos às províncias, cabendo aos líderes locais a responsabilidade de cumpri-los.

⁵ Ânodos de grafite são componentes utilizados nas baterias de íon-lítio.

Quadro 3: Medidas adotadas pela China em relação às fontes energéticas

Fontes de energia	Principais enfoques da política e mecanismos de transformação
Energia Renovável	<ul style="list-style-type: none"> • 2005: A Lei de Energia Renovável estabelece as fontes renováveis como prioridade para o desenvolvimento. • 2016–2020 (13º Plano Quinquenal): Estabelece metas de geração em vez de capacidade instalada, priorizando a integração das renováveis à rede elétrica e determinando que as províncias reduzam a ociosidade da geração renovável até 2020. • 2021–2025 (14º Plano Quinquenal): Reforça políticas voltadas ao mercado, como cotas obrigatórias de energia renovável e comércio de energia verde. As reformas no mercado de eletricidade buscam otimizar a alocação de recursos para ganhos de eficiência econômica e benefícios na descarbonização. • 2021: O governo central incentiva governos locais a adotarem políticas e medidas de apoio ao desenvolvimento das indústrias de energia renovável. O suporte passa a ser decidido no nível provincial, incluindo leilões, fundos e definição de tarifas para novos projetos eólicos <i>offshore</i> e solares, com subsídios previstos para eólica <i>offshore</i> até meados da década de 2020. • 2022: Estabelece que fontes de energia flexíveis devem representar 24% do suprimento total, a capacidade de armazenamento de energia deve atingir pelo menos 30 GW até 2025 e as usinas hidrelétricas reversíveis (<i>pumped-storage</i>) devem alcançar cerca de 120 GW até 2030.
Energia Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> • Programa Nuclear: Objetiva a expansão segura e ordenada da energia nuclear para atender às demandas energéticas, metas de descarbonização e segurança energética. • 2021 (Plano de Ação): Incentivo a projetos de demonstração de reatores avançados, como pequenos reatores modulares e reatores flutuantes <i>offshore</i>, para impulsionar o desenvolvimento da energia nuclear. • 2022 (14º Plano Quinquenal): Meta de alcançar 70 GW de capacidade nuclear instalada até 2025, conforme o plano para o Sistema de Energia Moderna.
Infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Política de Infraestrutura: Expansão da transmissão para facilitar o transporte de eletricidade, incluindo conexões entre províncias e acomodação de alta penetração de energias renováveis. • 2021: Política de mercado para a implementação de comércio interestadual de eletricidade. Pelo menos 50% da eletricidade transmitida por novas linhas devem provir de fontes renováveis. Reformas estruturais devem aprofundar a criação de um mercado nacional unificado de eletricidade. • 2021 (14º Plano Quinquenal): Enfatiza o fortalecimento e a implementação de redes de transmissão de alta e ultra-alta tensão.

Fontes de energia Principais enfoques da política e mecanismos de transformação

Energia a Carvão	<ul style="list-style-type: none"> • 2016–2020 (13º Plano Quinquenal): Prioriza o uso eficiente do carvão, exigindo modernizações em usinas a carvão existentes para reduzir o consumo e as emissões. • 2021–2025 (14º Plano Quinquenal): Busca restringir o consumo de carvão e a aprovação de novos projetos de usinas a carvão, eliminar o uso de carvão em áreas críticas de poluição do ar até 2025 e desativar capacidades obsoletas, além de adaptar usinas a carvão para atuarem como fontes de energia flexível e reguladora do sistema. • 2023: Criação de pagamentos garantidos baseados na capacidade instalada para assegurar a estabilidade do fornecimento enquanto o sistema elétrico transita para fontes renováveis variáveis.
Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • 2021–2025 (14º Plano Quinquenal): Hidrogênio como área estratégica para armazenamento e transporte de energia renovável, com foco em Pesquisa e Desenvolvimento e na criação de cadeias de valor. • Expansão de Investimentos das SOEs: 30 bilhões em estações de abastecimento, produção de hidrogênio renovável e expansão da infraestrutura associada. • 2021–2035 Plano de médio e longo prazo para o desenvolvimento da indústria da energia do hidrogênio: Produção de 100.000 a 200.000 toneladas/ano de hidrogênio renovável; redução de 1 a 2 milhões de toneladas de CO₂/ano e consolidação da indústria de hidrogênio até 2035.

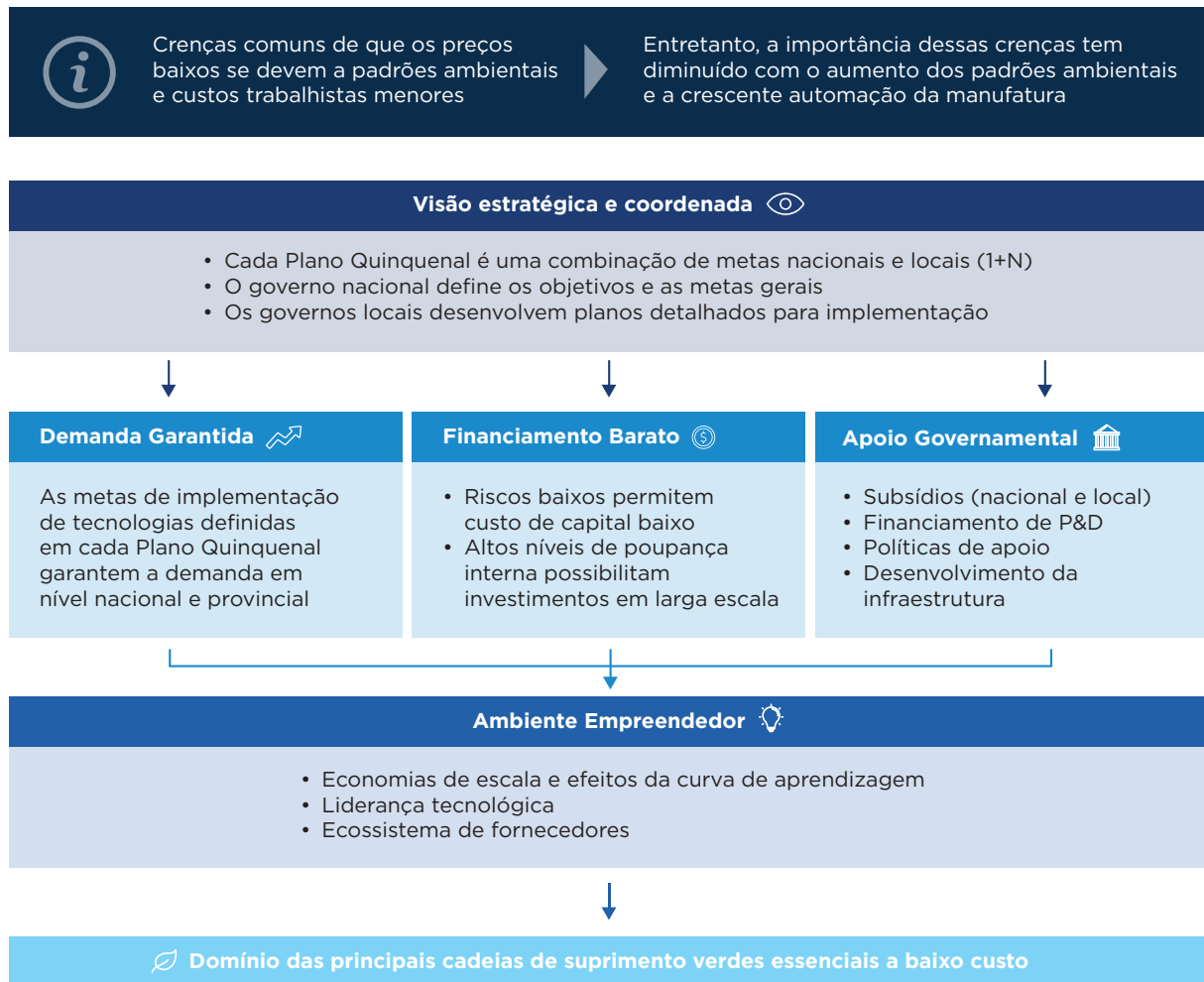
Fonte: elaboração própria a partir de NDRC (2023a); NDRC (2023b); NDRC & NEA (s.d.); NEA (2023); TSCC (2021a); TSCC (2021b); TSCC (2021c); Sandalow *et al.* (2022).

Na estrutura chinesa de governança climática, as empresas estatais (*State-Owned Enterprises* - SOEs) ocupam posição central: são as maiores produtoras e consumidoras de energia do país e, portanto, as maiores emissoras de CO₂. Ao mesmo tempo, essas empresas lideram os investimentos em energia limpa e estimulam o setor privado a adotar fontes renováveis.

Dessa forma, as SOEs, ao adaptarem suas estruturas de produção e consumo de energia em conformidade com as diretrizes governamentais, operam como instrumentos estratégicos para o cumprimento das metas nacionais, como as apresentadas no [Quadro 3](#). E, ainda, contribuem ativamente para a execução das políticas públicas voltadas à descarbonização.

Com base nas medidas adotadas pela China ([Quadro 3](#)) e considerando sua expressiva capacidade de fabricação de equipamentos para a transição energética ([Figura 7](#)), é possível identificar alguns dos principais fatores que conferem ao país uma posição de destaque para o crescimento econômico, para a liderança em tecnologias emergentes, e por consequência, para a transição energética ([Figura 8](#)).

Figura 8: Fatores-chave que fortalecem a posição da China na transição energética



Fonte: ETC (2025).

Nota: em “crenças comuns de que os preços baixos se devem a padrões ambientais e custos trabalhistas menores”, os preços baixos são referentes aos menores custos que o país chinês tem na produção de equipamentos de tecnologias emergentes/verdes, como alguns apresentados na [Figura 7](#).

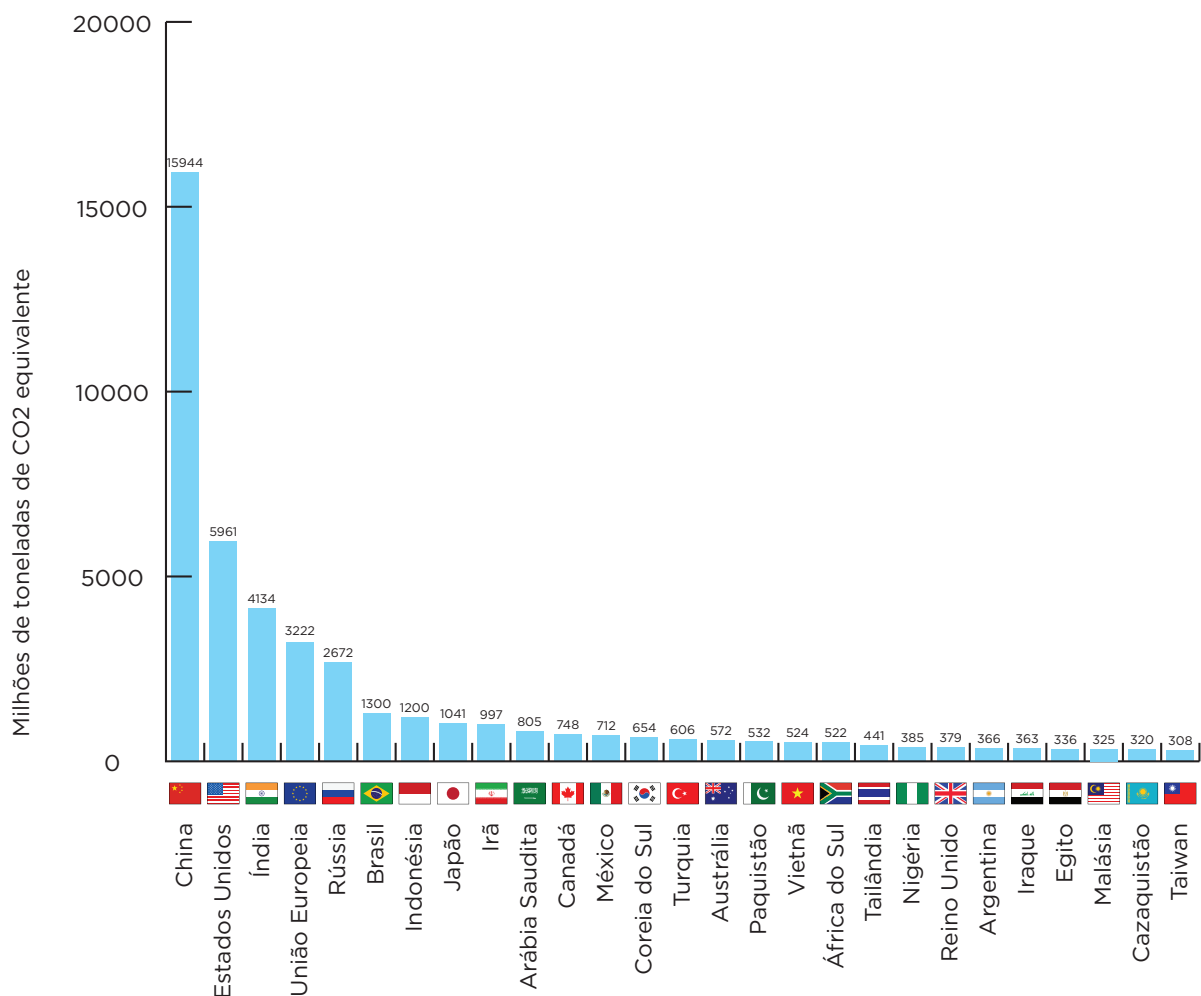
Em termos gerais, a China, que ainda possui dependência energética de fontes fósseis como o carvão, tem apresentado em sua experiência para a transição energética medidas para assegurar sua oferta de energia e para alcançar a neutralidade de carbono até 2060. Entre essas estão a inclusão de fontes renováveis de energia, reformas no uso da energia a carvão, modificações na infraestrutura elétrica e fomento ao hidrogênio.

Sua liderança global em tecnologias emergentes é resultado de um conjunto de estratégias composto pelo Marco Político 1+ N, pelas medidas citadas anteriormente, pela expansão de investimentos, pela atuação das SOEs e pela implementação dos planos conduzidos de forma descentralizada. Dessa forma, a transição chinesa avança de modo contínuo, como evidencia o elevado índice do país no ETI 2025.

3.2 Estados Unidos: Retração das Fontes Sustentáveis

Os Estados Unidos (EUA) ocupavam, em 2023, a segunda posição entre os países mais emissores de GEE ([Figura 9](#)). O país liderou o *ranking* dos maiores emissores ao longo do século XX, até os países asiáticos assumirem gradualmente as primeiras posições, com destaque para a China, que passou a ter maior protagonismo no cenário global. A economia chinesa cresceu rapidamente, acompanhada pelo consumo de combustíveis fósseis, ultrapassando os Estados Unidos e se tornando o país com maior emissão de CO₂ equivalente em 2005 (WRI Brasil, 2024), posição mantida até os dias atuais.

Figura 9: Principais países emissores de GEE, 2023



Fonte: PE (2024) *apud* EDGAR (2023).

Devido a esse cenário e ao protagonismo global dos Estados Unidos, esperava-se um forte comprometimento do país com o Acordo de Paris, além da atualização das NDCs e da promoção de tecnologias emergentes. Dessa forma, sua atuação poderia servir de motivação para outras nações, gerando um impacto positivo em termos de posicionamento estratégico para a transição energética.

Em relação à capacidade produtiva mundial de tecnologias emergentes ([Figura 7](#)), em 2023, os EUA demonstravam uma moderada relevância. No setor de baterias, a participação do país era limitada, com pequeno destaque na produção de células; enquanto no setor de componentes da energia solar fotovoltaica, havia uma participação moderada na produção de silício policristalino, que é amplamente utilizado na produção de módulos solares fotovoltaicos. Em contrapartida, sua presença na fabricação de carros elétricos era mais expressiva.

No setor de componentes da energia eólica, o país se destacava mais significativamente na fabricação de nacelles e torres, enquanto no que se refere à produção de materiais, o país possuía maior participação nos segmentos de alumínio, amônia e aço. A participação mais significativa nesse contexto de tecnologias, no entanto, estava relacionada aos eletrolisadores, dispositivos para produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água, e, em especial, às bombas de calor, dispositivos que operam fornecendo aquecimento e refrigeração.

Esse cenário de participação na produção de algumas tecnologias compatíveis com a transição energética era condizente com o período no qual foi sancionada a *Inflation Reduction Act* (IRA). Essa legislação, de 2022, criou um conjunto robusto de ações voltadas ao fomento de tecnologias emergentes para uma economia de energia limpa no país (The White House, 2022). O guia de investimentos da IRA apresentava um sumário dividido em seções que abordavam:

- 1.** O compromisso da lei com a equidade, justiça ambiental e os direitos trabalhistas;
- 2.** A inclusão de famílias em programas de energia limpa;
- 3.** O avanço e a implementação de tecnologias de energia limpa produzidas no território norte-americano, considerando o financiamento destas;
- 4.** Os investimentos na rede elétrica nacional;
- 5.** Os incentivos à adoção de veículos limpos;
- 6.** O estímulo ao desenvolvimento e uso de combustíveis de transporte menos poluentes;
- 7.** A expansão da liderança dos EUA na descarbonização industrial e na gestão do carbono;
- 8.** Os investimentos em hidrogênio;
- 9.** Os incentivos à construção de residências e edifícios mais eficientes e limpos, visando tanto à economia financeira dos consumidores quanto à redução da poluição;
- 10.** Os investimentos em edificações com alta eficiência energética e baixa emissão de carbono; entre outras iniciativas.

Assim, a IRA constituía uma legislação abrangente para promover a transição energética em múltiplas dimensões. No entanto, o cenário norte-americano mudou a partir de 2025, pois com o início da vigência da Ordem Executiva 14154, nomeada *Unleashing American Energy*, as agências foram instruídas a interromper os desembolsos de fundos do IRA e da *Infrastructure Investment and Jobs Act* de 2021, em prol da *One Big Beautiful Bill* (Congress.gov, 2025; The White House, 2025).

Essa Lei, que tem como um dos objetivos eliminar subsídios para fontes renováveis de energia, possui como destaque a *Unleashes American Energy Dominance* ([Box 1](#)), em que se determina a restauração do domínio americano de energia e se recomenda a adoção de políticas contrárias àquelas anteriormente implementadas no âmbito da IRA.

Box 1: Diretrizes da *Unleashes American Energy Dominance*

“Liberta a energia americana: Aumenta a energia produzida nos EUA, o que reduzirá os custos da energia e restaurará a independência energética.

Acaba com a guerra de Biden contra a energia americana: Reverte as políticas desastrosas da era Biden que fizeram disparar os preços da energia, eliminar os empregos nos EUA e entregar o controle a ativistas climáticos radicais.

Reabastece a Reserva Estratégica de Petróleo: Depois de Biden ter esgotado o nosso abastecimento de emergência, este projeto de lei restaura as nossas reservas para reforçar a segurança energética dos Estados Unidos. Segurança energética é segurança nacional.

Domínio da produção doméstica: Restabelece as vendas trimestrais de arrendamentos de petróleo e de gás em terra.

Acaba com o *Green New Scam*⁶: Rescinde bilhões de dólares dos contribuintes investidos no “*Green New Scam*”, acabando com as doações a interesses especiais e a ativistas climáticos radicais.

Restaura a escolha do consumidor e a acessibilidade: Reverte os mandatos de veículos elétricos de Biden e os padrões *Corporate Average Fuel Economy*⁷ (CAFE), garantindo que as famílias possam escolher o carro que se adapta às suas necessidades e orçamento.

Fará: Libertar a energia americana e reduzir os preços para as famílias. Acabar com a agenda anti-energética de Biden que aumentou os custos. Reabastecer a Reserva Estratégica de Petróleo e restaurar a segurança energética. Reverter os mandatos de veículos elétricos e restaurar a escolha do consumidor. Revogar bilhões em bem-estar corporativo verde.

Não fará: Bloquear recursos americanos para apaziguar ativistas climáticos radicais. Forçar americanos a pagar mais por energia não confiável. Deixar os Estados Unidos vulnerável com suprimentos de emergência esgotados. Forçar famílias a utilizar veículos elétricos inacessíveis. Manter subsídios em energia verde não confiável às custas dos contribuintes.”

Fonte: The White House (s.d.).

⁶ Em tradução livre, Novo Golpe Verde. “*Green New Scam*” trata-se de uma crítica direta do governo Trump ao “*Green New Deal*”, proposta ambiental que visa combater as mudanças climáticas por meio de investimentos em energia limpa, infraestrutura sustentável e criação de empregos verdes.

⁷ O *Corporate Average Fuel Economy* trata-se de um padrão que regulamenta a quilometragem que os veículos devem percorrer com um galão de combustível (NHTSA, s.d.).

Assim, por meio da Ordem 14154, determinou-se a extinção dos créditos fiscais para a produção e para o investimento em energia elétrica limpa, além da implementação das restrições relativas a *Foreign Entity of Concern*⁸. A Ordem também prevê a revisão das regulamentações e políticas em vigor associadas a instalações eólicas e solares, com o objetivo de reavaliar seu enquadramento em relação a outras fontes de energia consideradas confiáveis e despacháveis (The White House, 2025).

Segundo The White House (2025), o atual governo considera que essas medidas encerrarão a dependência de fontes de energia tidas como pouco confiáveis e que, na visão dessa gestão, substituem fontes acessíveis e despacháveis, comprometem a rede elétrica e prejudicam a paisagem natural do país. Ainda para esse governo, a dependência dos chamados subsídios “verdes” ameaça a segurança nacional do país por torná-lo dependente de cadeias de suprimentos controladas pelo mercado internacional. Assim, nesta perspectiva governamental de dependência energética de estrangeiros, o domínio energético, o crescimento econômico e a saúde fiscal da nação não seriam compatíveis com a soberania norte-americana.

Por essa razão, segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos, o país tem acelerado a produção dos recursos de base (carvão, energia nuclear, geotérmica e gás natural), com o objetivo de fornecer energia confiável, segura e com preços mais baixos aos consumidores americanos (DOE, 2025).

Portanto, para promover a independência energética americana e impulsionar o crescimento econômico, o atual governo enfatiza o uso da energia nuclear, dos combustíveis fósseis, indo na contramão da transição energética internacional, e de tecnologias emergentes. Nesse cenário, a criação do Conselho Nacional de Domínio Energético foi uma das medidas adotadas para o desenvolvimento de uma estratégia que alcance o domínio e independência energéticas, eliminando burocracias e aumentando os investimentos no setor privado a fim de promover a inovação (The White House, 2025).

De maneira geral, os Estados Unidos estavam avançando na transição energética a partir da implementação da IRA, como demonstrou o elevado índice norte-americano no ETI 2025. E assim, o país estava alinhado à expectativa de ser um exemplo para outras nações mediante seu protagonismo global. Além do destaque na fabricação de carros elétricos, eletrolisadores e bombas de calor, a IRA viabilizaria avanços em múltiplas frentes: inclusão de famílias em programas de energia limpa, desenvolvimento de combustíveis menos poluentes, descarbonização industrial, produção de hidrogênio e aumento da eficiência energética.

Entretanto, com a promulgação da *One Big Beautiful Bill*, o cenário atual aponta para uma retração no apoio as fontes sustentáveis. Assim, o panorama da transição energética norte-americana também se encontra em reformulação.

⁸ Em tradução livre, Entidade Estrangeira Preocupante. O Departamento de Energia dos Estados Unidos publicou sua orientação interpretativa final sobre a definição legal de “*Foreign Entity of Concern*”, conforme estabelecida na *Bipartisan Infrastructure Law*. A orientação foi elaborada para reduzir a dependência externa nas cadeias de suprimentos de baterias nacionais e promover o crescimento da produção nacional e de materiais terceirizados.

3.3 Índia: O contraste entre o Carvão e o Hidrogênio Verde

A Índia objetiva se tornar energeticamente independente até 2047 e atingir o *Net Zero* até 2070 (NPI, s.d.). Entretanto, a matriz elétrica intensiva em carbono, o setor industrial e os obstáculos de natureza financeira, política e social representam desafios significativos para o objetivo do país de construir uma economia de baixo carbono e para viabilizar uma transição energética efetiva, inclusiva e justa para garantir a segurança energética e fomentar o crescimento econômico nacional (WEF; Accenture, 2025).

O carvão é a fonte que domina a matriz energética, respondendo por quase 70% da geração de eletricidade no país. Em 2023, dos mais de três milhões de trabalhadores que o setor de combustíveis fósseis empregou, cerca de 1,6 milhão estavam concentrados no setor de fornecimento de carvão, enquanto cerca de 800 mil estavam concentrados na indústria de petróleo e gás, principalmente nas áreas de *midstream*⁹ e refino (WEF; Accenture, 2025).

A transição inclusiva e justa na Índia envolve, portanto, questões sociais e econômicas centrais, como a criação de empregos em energias renováveis e a reconversão industrial para compensar perdas nos setores tradicionais. Esse cenário reflete um grande desafio para a transição, relacionado à requalificação da mão de obra indiana para integrá-la à nova economia de energia limpa (WEF; Accenture, 2025).

Quanto ao setor industrial, responsável por cerca de 30% do PIB nacional, sua transformação é essencial para que o país alcance sua meta de emissões líquidas nulas até 2070, uma vez que ele é responsável por 24% das emissões totais de GEE. Do ponto de vista tecnológico, barreiras como restrições na cadeia de suprimentos de baterias, intermitência das renováveis e limitações no armazenamento de hidrogênio são comuns a vários países. Na Índia, porém, elas se agravam pela infraestrutura deficiente, pelas preocupações com segurança energética e por limitações financeiras e políticas (WEF; Accenture, 2025).

Uma situação que evidencia o desafio da infraestrutura das novas fontes é a massiva importação de equipamentos para o aproveitamento da energia solar. Apesar dos esforços para a expansão da produção nacional, impulsionados pelo programa *Production-Linked Incentive*, a Índia importou cerca de USD 7 bilhões desses equipamentos, sendo quase 63% proveniente da China. Nesse caso, a limitação foi caracterizada pela baixa capacidade nacional de fabricação de insumos essenciais para a produção de módulos fotovoltaicos, como silício policristalino, conforme ilustra a [Figura 7](#) (WEF; Accenture, 2025).

⁹ *Midstream* na indústria de petróleo e gás refere-se às atividades de processamento, armazenamento e transporte desses insumos.

A Índia se destaca, entretanto, na capacidade produtiva de equipamentos eólicos (naceles, torres e, principalmente, pás). E, ainda, tem relativa contribuição no fornecimento de materiais que viabilizam as tecnologias emergentes, como alumina, alumínio, amônia, aço e principalmente, ferro, como apresenta a [Figura 7](#).

Nesse contexto em que o país está transformando rapidamente seu cenário energético por meio da adoção de fontes de energia renováveis e da descarbonização industrial, novos investimentos e políticas governamentais têm sido estimulados. Os investimentos realizados por grandes corporações indianas como a *Tata Power* e a *Reliance Industries*, principalmente em fontes de energia renováveis, são vistos como propulsores da criação de novos empregos “verdes”, da expansão do acesso à energia e do crescimento inclusivo. Dessa forma, eles colaboram para promover uma transição energética benéfica a toda população (WEF; Accenture, 2025).

Na última década, a transição indiana ganhou impulso com o alinhamento das políticas nacionais aos compromissos do Acordo de Paris. Além de implementarem algumas missões no âmbito do Plano de Ação Nacional sobre Mudanças Climáticas para acelerar a transição, foram introduzidas algumas políticas estratégicas, como as voltadas para o hidrogênio verde (WEF; Accenture, 2025).

Para fomentar o hidrogênio verde, considerado pela Índia como uma alternativa promissora para viabilizar a transição, o *Union Cabinet* aprovou, em 2022, a Missão do Hidrogênio Verde. Essa missão visa tornar o país indiano um centro global para a produção, utilização e exportação de hidrogênio verde e seus derivados. Entre seus objetivos constam: (i) criar oportunidades de exportação para o hidrogênio verde e seus derivados; (ii) reduzir a dependência de combustíveis fósseis e matérias-primas importadas; (iii) desenvolver a capacidade de fabricação local; (iv) atrair investimentos e oportunidades de negócios para a indústria; (v) criar empregos e promover o desenvolvimento econômico; e (vi) apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento (PIB, 2024; NPI, s.d.).

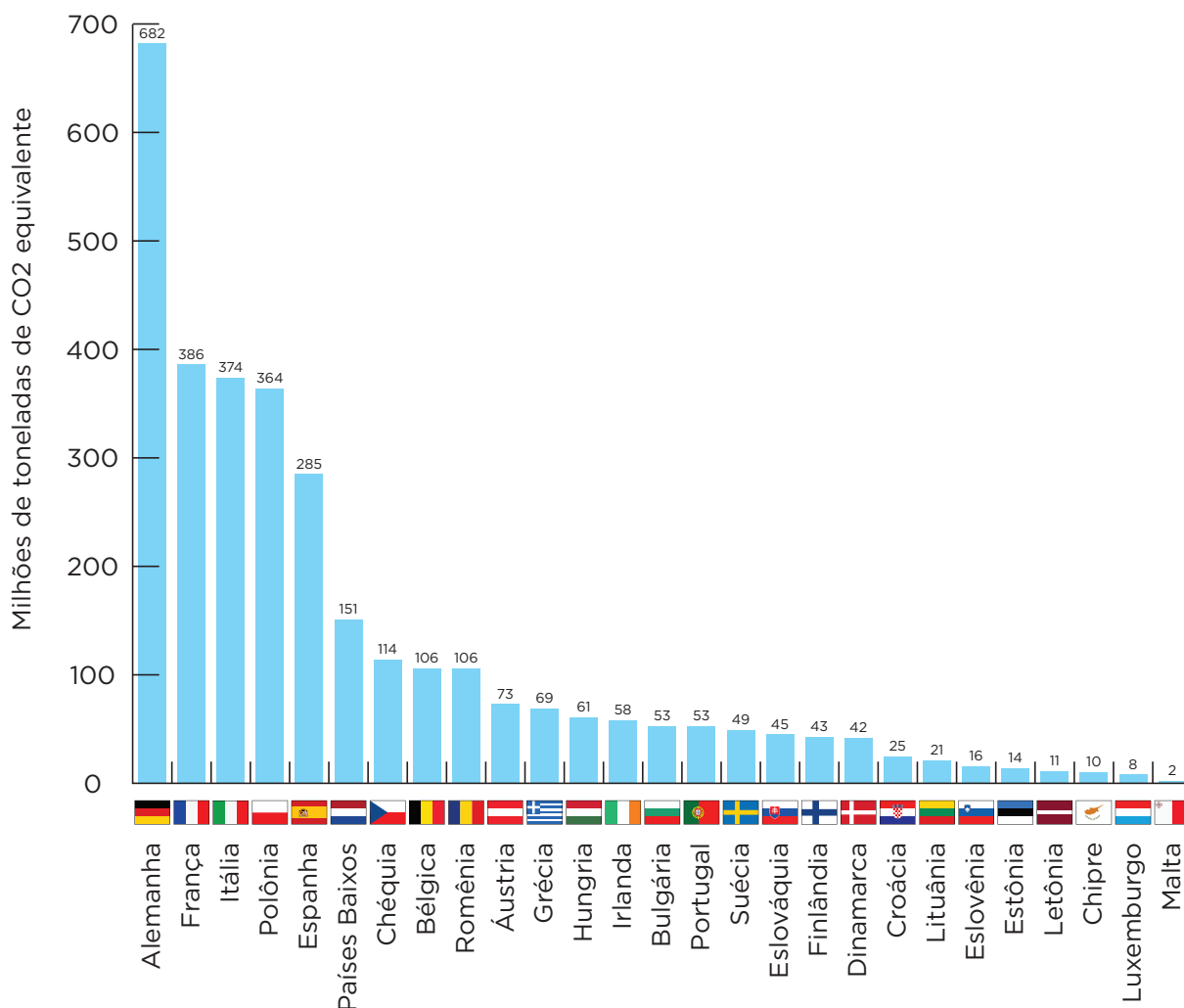
Adicionalmente, a missão oferecerá apoio a projetos-pilotos em setores de uso final e em cadeias de produção emergentes. Por meio desse apoio, Polos de Hidrogênio Verde serão identificados e desenvolvidos para produzir o hidrogênio em larga escala. Até 2030, os resultados esperados da missão incluem: capacidade para produzir ao menos 5 milhões de toneladas métricas de hidrogênio verde por ano, além de um acréscimo de aproximadamente 125 GW na capacidade de geração de energia renovável no país; investimentos totais superiores a USD 91 bilhões; geração de mais de 600 mil postos de trabalho; redução das importações de combustíveis fósseis; e redução de quase 50 milhões de toneladas métricas de emissões anuais de GEE. Para o alcance bem-sucedido desses resultados, estão envolvidos todos os Ministérios, Departamentos, agências e instituições dos Governos Central e Estadual da Índia (PIB, 2024).

Em síntese, a Índia atravessa um momento dual: para fomentar o crescimento econômico, o país utiliza combustíveis fósseis, como o carvão; e para garantir a segurança energética e construir uma economia de baixo carbono, o país busca transformar o setor industrial e aumentar sua capacidade em adotar fontes renováveis e tecnologias emergentes, com destaque para o hidrogênio verde. Essa aparente contradição - uso intensivo do carvão aliado à promoção do hidrogênio verde - reflete os esforços de uma economia emergente que busca simultaneamente crescimento e cumprimento dos compromissos climáticos internacionais.

3.4 União Europeia: Estratégias Energéticas Coletivas

A transição energética é essencial para que a União Europeia alcance sua meta de neutralidade climática até 2050, tendo em vista que o bloco era o quarto maior emissor mundial de GEE em 2023 (Figura 9). Nesse mesmo ano, a Alemanha liderou as emissões no bloco, seguida pela França, Itália, Polônia e Espanha (Figura 10).

Figura 10: Emissão de GEE pelos países da União Europeia, 2023



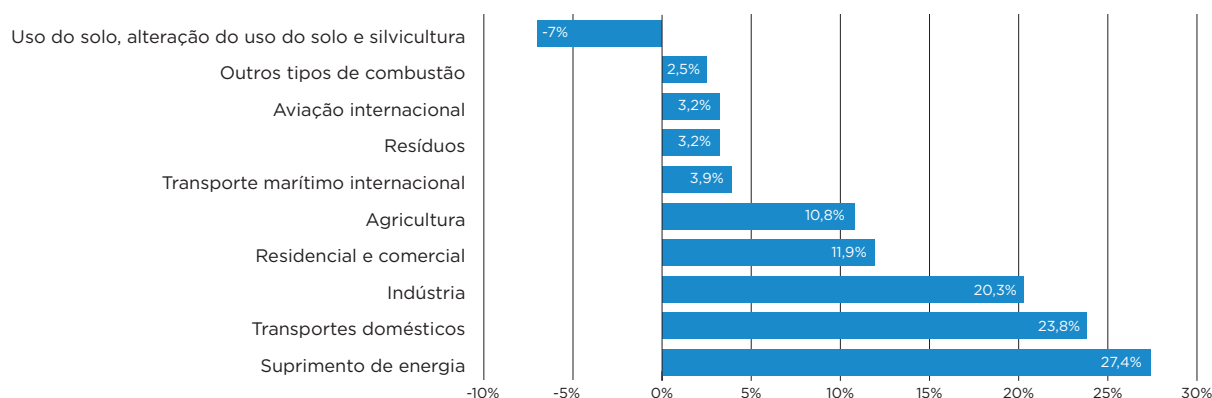
Fonte: PE (2024) apud EDGAR (2023).

Nota: os dados da França incluem Mônaco, os dados da Espanha incluem Andorra e os dados da Itália incluem São Marino e Vaticano.

Os objetivos para reduzir as emissões de GEE (55% até 2030 e emissões líquidas zero até 2050) têm acelerado a substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia mais limpas, além de promover ganhos em eficiência energética.

Na UE, em 2022, o setor de suprimento de energia foi responsável por 27,4% das emissões de GEE, enquanto o de transportes domésticos foi responsável por 23,8%, o industrial por 20,3% e o residencial e comercial por 11,9% (Figura 11). A maior participação desses setores evidencia quais devem receber prioridade nas iniciativas voltadas à transição energética, sobretudo, nas de descarbonização. Destaca-se que o setor “Uso do solo, alteração do uso do solo e silvicultura” apresentou um impacto positivo no cenário, com uma contribuição líquida negativa de 7% nas emissões totais de CO₂ equivalente (Figura 11).

Figura 11: Proporção setorial das emissões totais estimadas de CO₂ equivalente na União Europeia, 2022



Fonte: PE (2024).

Na União Europeia, a dimensão social é um eixo significativo para a transição energética, estando ligada à qualidade de vida dos habitantes, à reestruturação do setor energético para maior acesso à energia e à geração de empregos. Os desafios dessa dimensão, que dificultam o alcance da transição, estão relacionados ao custo elevado de algumas ações, como reformas em habitações para melhorar a eficiência energética, uso de bombas de calor para promover o conforto térmico e expansão da frota de veículos elétricos para garantir a mobilidade urbana de forma mais sustentável (EP, 2024a).

Esse cenário desafiador foi evidenciado em 2022, quando segundo a Eurostat (2024), mais de 41 milhões de habitantes da UE (cerca de 9,3% da população) não conseguiram manter suas casas adequadamente aquecidas. Esse acontecimento deveu-se, em parte, à pobreza energética, que, no âmbito residencial é um fenômeno multidimensional condicionado pela combinação de três fatores: baixa renda, altos gastos com energia e baixa eficiência energética nas edificações (EP & CEU, 2023).

Diante desses desafios, o plano *REPowerEU* (Box 2) e outras medidas adotadas em resposta a crise energética priorizaram quatro objetivos: segurança, diversidade,

independência e acessibilidade energéticas, de modo a acelerar a transição para energias limpas.

Box 2: Síntese do *REPowerEU*

REPowerEU: Energia segura, sustentável e a preços acessíveis para a Europa.

O Plano *REPowerEU* foi lançado em 2022 com o objetivo de auxiliar a UE a: economizar energia, diversificar o fornecimento de energia e produzir energia limpa.

Em resposta aos desafios no mercado mundial da energia causados pela invasão da Ucrânia pela Rússia, a Comissão Europeia decidiu pela implementação do *REPowerEU* de modo a eliminar gradualmente as importações russas de combustíveis fósseis, protegendo assim, tanto os cidadãos quanto as empresas da UE contra a escassez de energia.

Principais realizações: Proibição da importação de carvão russo a partir das sanções impostas pela UE. Países que ainda utilizam reatores de água pressurizada desenvolvidos pela Rússia, substituíram o combustível nuclear russo por combustível fornecido por outros produtores.

Novas medidas: Foi elaborado um novo roteiro para a eliminação gradual de gás, energia nuclear e petróleo russos nos mercados da UE, sendo essa eliminação simultânea à transição da UE para energias limpas. A UE está investindo na produção de energia limpa a preços acessíveis para garantir sua independência energética. Desde 2022, observou-se:

- recorde de quase 338 GW de nova capacidade de energia solar instalada;
- aumento da capacidade eólica em 234 GW;
- produção de 47% da eletricidade por fontes de energia renováveis;
- maior produção de eletricidade por fonte eólica do que por gás em 2023.

Diretiva Energias Renováveis: Nova legislação que visa aumentar a quota de energias renováveis no consumo global de energia da UE, aumentando a meta vinculativa de 2030 para 42,5%, com a ambição de alcançar 45%.

Plano Industrial do Pacto Ecológico: Visa ajudar a indústria da UE a intensificar a produção de tecnologias e produtos de impacto zero a partir do Regulamento Matérias-Primas Críticas e Regulamento Indústria de Impacto Zero.

Plano de ação da Comissão (2023): Visa acelerar a implantação de redes elétricas modernas para garantir que os cidadãos e empresas possam se beneficiar de energia mais limpa e preços mais acessíveis.

Diretiva de Eficiência Energética: As novas regras estabelecem o princípio da “prioridade à eficiência energética”, em que esta deve ser levada em conside-

ração em todas as decisões políticas pertinentes e em grandes investimentos, tanto no setor energético, quanto nos setores não energéticos.

Pacto da Indústria Limpa: Visa acelerar a descarbonização e impulsionar a indústria transformadora da UE, reduzindo os preços de energia e criando empregos de qualidade e condições adequadas para que as empresas possam prosperar.

Fonte: Comissão Europeia (s.d.).

Entre outras medidas adotadas, incluem-se as que dizem respeito ao desenvolvimento de tecnologias emergentes não mencionadas diretamente no *RePowerEU*, como o hidrogênio. Para a integração desse vetor energético na matriz energética, em 2020, as estratégias consistiam em alcançar, pelo menos, 6 GW de capacidade em eletrolisadores para produzir hidrogênio renovável e 1 milhão de toneladas de hidrogênio produzido até 2024. Para o cenário de 2030, as estratégias visam atingir a instalação de cerca de 40 GW desses eletrolisadores e a produção de 10 milhões de toneladas de hidrogênio renovável, estando o plano *REPowerEU* alinhado a esta meta. Em 2023, a Diretiva Energias Renováveis fixou uma meta indicativa para a indústria de uso de 42% de hidrogênio renovável no consumo total de hidrogênio até 2030, sendo a meta ampliada para 60% até 2035 (PE, s.d.).

Ainda nesse contexto de outras tecnologias emergentes, a União Europeia se destaca na produção de carros elétricos de maneira mais evidente. Ademais, tem participação notória na produção de equipamentos eólicos, como pás, naceles e torres; na produção de eletrolisadores (o que é compatível com as metas apresentadas anteriormente) e bombas de calor; e no fornecimento de materiais que viabilizam o uso dessas tecnologias, como alumina, alumínio, amônia, ferro e aço ([Figura 7](#)). Adicionalmente, o bloco tem uma pequena participação na produção de células para baterias e de silício policristalino para módulos fotovoltaicos.

Dessa forma, percebe-se que a UE fomentou variadas tecnologias emergentes e propôs diversas medidas para conduzir a transição. Dentre essas medidas, o Fundo para uma Transição Justa apoia regiões dependentes de combustíveis fósseis e indústrias com alto índice de emissões de GEE. Para isso, o Fundo as ajuda a investir em tecnologias de energia limpa, regeneração de áreas, requalificação de trabalhadores, transporte sustentável e modernização de redes de aquecimento urbano alimentadas por energias renováveis.

Outra medida é o Fundo Social para o Clima, destinado a apoiar cidadãos e empresas afetados pela extensão do Regime de Comércio de Licenças de Emissão (RCLE) aos setores de edifícios e transporte rodoviário. Como o RCLE limita as emissões de GEE por setor e permite a comercialização de licenças de emissão, o Fundo financia apoio direto a renda e investimentos em eficiência energética de edifícios e transportes.

Neste contexto, a Comissão Europeia, órgão executivo da UE, apresentou em novembro de 2025 um plano de investimento em transportes sustentáveis, o *Sustainable Transport Investment Plan* (STIP), um roteiro estratégico para acelerar a transição energética dos setores de aviação e transporte aquaviário, com o objetivo de destravar investimentos e escalar a produção de combustíveis renováveis e de baixo carbono (EC, 2025).

O plano responde às metas estabelecidas pelos regulamentos *ReFuelEU Aviation* e *FuelEU Maritime*, que demandarão cerca de 20 milhões de toneladas de combustíveis alternativos sustentáveis até 2035 (13,2 Mt de biocombustíveis e 6,8 Mt de *e-fuels*¹⁰), exigindo aproximadamente €100 bilhões em investimentos produtivos nesse horizonte. No curto prazo, as medidas da UE devem mobilizar ao menos €2,9 bilhões até o final de 2027, com destaque para €2 bilhões do *InvestEU*, €300 milhões via *European Hydrogen Bank* para produção de hidrogênio voltado a SAF e SMF, €133 milhões em P&D pelo Horizonte Europa e €446 milhões do *Innovation Fund* (€153 milhões para combustíveis sintéticos de aviação e €293 milhões para combustíveis marítimos), além de um projeto-piloto da *eSAF Early Movers Coalition* com pelo menos €500 milhões para combustíveis sintéticos de aviação. Estruturado em três pilares: marco estratégico, ação de financiamento e dimensão externa; o STIP também prevê a criação futura de um mecanismo intermediário entre produtores e compradores para reduzir riscos de receita, a desburocratização para companhias aéreas e operadores marítimos, e o fortalecimento de parcerias internacionais, posicionando a UE como líder industrial dessa cadeia rumo à neutralidade climática em 2050 (EC, 2025).

Com o auxílio desses mecanismos impulsionadores da transição energética, a União Europeia ambiciona ser o primeiro bloco econômico neutro em termos climáticos, ou seja, com emissões líquidas de GEE igual a zero. Direcionando esforços para alcançar esse objetivo, foi criado o *European Green Deal*, considerado uma oportunidade de construir um futuro melhor para todos. Este acordo estabeleceu metas climáticas juridicamente vinculativas que incluem: (i) redução de emissões de GEE em diferentes setores da economia; (ii) aumento dos sumidouros naturais de carbono; (iii) um sistema de comércio de emissões de GEE atualizado para limitar as emissões, precificar a poluição e gerar investimentos para a transição verde; e (iv) apoio social para cidadãos e pequenas empresas (EC, 2024).

Por fim, entre os países da União Europeia, destaca-se a Letônia, líder da categoria “Europa emergente” no ETI 2025 ([Tabela 1](#)). O país letão pretende reduzir as emissões de GEE concentrando esforços na transformação do setor de transportes (nacionalmente, o setor mais emissor de GEE) que, em 2018, foi responsável por cerca de 37% das emissões de GEE não abrangidas pelo RCLE. Para isso, a Letônia tem promovido uma reforma ecológica no sistema de transporte público, objetivando: reduzir o impacto negativo do setor na qualidade ambiental da capital do país; e consolidar o serviço de transporte público. Atualmente, este serviço está fragmentado, mas objetiva-se o integrar e racionalizar, de forma a incentivar a sua utilização e atender às necessidades dos moradores (EC, s.d.; Satiksmes ministrija, 2025). Logo, a Letônia pretende melhorar

¹⁰ *E-fuels* (ou *electrofuels*, também chamados de combustíveis sintéticos ou *power-to-liquid/power-to-gas*) são combustíveis líquidos ou gasosos produzidos sinteticamente a partir de hidrogênio verde.

a infraestrutura em cinco corredores multimodais da região metropolitana de Riga e integrar o transporte ferroviário de passageiros ao sistema de transporte público da região (Satiksmes ministrija, 2025).

De maneira geral, a União Europeia busca atingir a neutralidade climática até 2050 apoiada por metas ambiciosas de redução das emissões de GEE e investimentos em energia limpa e tecnologias emergentes. Para lidar com os desafios sociais diante da pobreza energética, promover a descarbonização e proporcionar melhorias no fornecimento de energia, algumas medidas foram implementadas, como o *REPowerEU*, o *European Green Deal*, o Fundo para uma Transição Justa e o Fundo Social para o Clima. O bloco econômico, dessa forma, avança nessa direção, considerando a transição necessária para promover equidade social, transformar a indústria de forma sustentável e cumprir os compromissos climáticos internacionais.

4. Políticas Públicas e Instrumentos de Financiamento: Incentivos Governamentais e Instrumentos Regulatórios

A aceleração da transição energética tem levado diversos países a formular políticas públicas e instrumentos de financiamento voltados, primordialmente, à expansão das fontes energéticas. De modo geral, as ações governamentais voltadas a transição energética se organizam em dois eixos: incentivos governamentais, como subsídios e créditos tributários que reduzem custos e estimulam investimentos; e instrumentos regulatórios, que estabelecem marcos legais para garantir previsibilidade e segurança jurídica, favorecendo a inovação e a competitividade.

Esses incentivos e instrumentos assumem formatos distintos conforme as condições econômicas, geográficas e políticas de cada país, buscando potencializar suas capacidades produtivas e aproveitar vantagens regionais. Esta seção objetiva apresentar algumas dessas estruturas governamentais para a promoção da transição energética adotadas pela China, Estados Unidos, Índia e União Europeia.

4.1 China

A China implementou um dos planos de transição energética mais ambiciosos do cenário internacional, fundamentado em duas metas de longo prazo. A primeira consistiu em atingir o pico de emissões de carbono até 2030 e alcançar a neutralidade de carbono até 2060. A segunda meta consistiu em aumentar a participação das energias renováveis na matriz elétrica para 33% até 2030, com a adição de mais de 1.200 GW na capacidade instalada em energia solar fotovoltaica, eólica e nuclear – meta atingida em 2023 (Greenpeace East Asia, 2025).

As linhas de ação para a descarbonização e a transição energética são delineadas nos Planos Quinquenais, que passam por atualizações conforme o alcance dos seus objetivos. Entre 2011 e 2024, esses Planos estabeleceram diretrizes para reduzir a intensidade energética e de carbono por meio da adoção das energias renováveis e da melhoria da eficiência energética. Como consequência, a China promoveu a diversificação da matriz energética, a mitigação das emissões de carbono e passou de importadora de tecnologias e equipamentos de geração renovável para líder global em ambos segmentos em apenas vinte anos (OIES, 2022).

Nesse cenário de crescimento da indústria renovável, os subsídios e incentivos fiscais tiveram um papel fundamental. Com recursos que excederam USD 940 milhões em 2024, foi possível alcançar as metas estabelecidas para 2030 e expandir a capacidade

de produção de equipamentos para geração renovável (Myllyvirta, Qin & Qiu, 2025). A dimensão dessa expansão é observada na participação de mais de 80% do setor industrial chinês na oferta global de painéis solares, bem como na empregabilidade de cerca de 7,4 milhões de trabalhadores no setor energético renovável (Myllyvirta, Qin & Qiu, 2025; OIES, 2022).

Os incentivos governamentais chineses evoluíram a partir de quatro fases (Schuman e Lin, 2012; Tong, You & Lin, 2022; Li et al., 2023; Hove, 2020):

1. Formação da base institucional e estímulo à demanda, com estabelecimento das diretrizes iniciais e criação de mercado para as energias renováveis (2004-2009);
2. Rápida expansão impulsionada por subsídios em grande escala, com investimentos em geração e transmissão de energia renovável (2010-2017);
3. Transição para mecanismos de mercado em resposta à crise de subsídios (2019-2021);
4. Paridade de rede (2021-2024).

Por meio destas, as políticas evoluíram, de maneira ordenada, de um sistema de subsídios para outro de mecanismos de mercado, possibilitando a integração e o desenvolvimento do setor energético renovável. O [Quadro 4](#) apresenta essas quatro fases das políticas de incentivos, destacando os mecanismos utilizados e os avanços percebidos na capacidade instalada.

Quadro 4: Instrumentos das políticas de transição energética da China, 2004 - 2023

Fase	Mecanismos e Avanços
Fase I	<ul style="list-style-type: none"> • Lei de Energias Renováveis: estabelece uma estrutura nacional unificada para o desenvolvimento de energias renováveis; • Feed-in Tariffs (FIT): pagamento de uma tarifa adicional para geradores de energias renováveis, sendo parcialmente financiada pelos consumidores a partir de uma sobretaxa; • Three Exemptions and Three Reductions (3+3): isenção total de impostos de valor adicionado para usinas geradoras de energia renovável nos três primeiros anos e isenção parcial no quarto ano. Essas isenções foram ampliadas para energia solar, sendo permanentes para usinas com faturamento inferior a USD 3.268.
Fase II	<ul style="list-style-type: none"> • Solar Energy Poverty Alleviation Program: incentivo, por meio de subsídios, à instalação de parques fotovoltaicos próximo a comunidades de baixa renda, sendo a renda e a energia geradas apropriadas pela comunidade. O programa já beneficiou mais de 4 milhões de famílias; • FIT expandido: as tarifas adicionais para geração fotovoltaica e eólica aumentaram durante o período, além de incluir outras fontes de energia adicionais, como a energia geotérmica.

Fase III	<ul style="list-style-type: none"> • Whole County PV: instalação de sistemas fotovoltaicos em domicílios localizados nas áreas rurais. Como resultado, alcançou mais de 670 distritos e cerca de 51 GW de capacidade instalada; • Sistema FIT foi mantido, porém com menores tarifas para as fontes de energia eólica e solar.
Fase IV	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema FIT foi mantido apenas para eólica <i>offshore</i>.

Fonte: elaboração própria a partir de Schuman e Lin (2012); Tong, You & Lin (2022); Li et al. (2023); Hove (2020).

Em relação à energia eólica, a adoção do sistema FIT permitiu que os investimentos nesse setor se tornassem mais atrativos. Assim, foi gerado um crescimento substancial desta capacidade instalada, saindo de 1,06 GW em 2005 para 17,6 GW ao final de 2009 (IRENA, 2025c). No entanto, esse crescimento não foi acompanhado pela expansão da transmissão, logo, conforme a geração eólica ficava distante dos centros de consumidores, a ausência da infraestrutura de transmissão gerava subaproveitamento da energia gerada e episódios de *curtailment*¹¹.

Apesar de inclusa na Lei de Energias Renováveis, a expansão da transmissão se tornou prioridade apenas com a emenda de 2009. Assim, recursos foram direcionados para a construção de novas linhas de transmissão e para a integração das usinas de geração renovável (Schuman e Lin, 2012). Além do melhor aproveitamento energético das usinas existentes, essas construções permitiram a expansão da geração eólica em áreas geográficas mais distantes e de alto potencial produtivo.

Nesse sentido, as regiões rurais passaram a ter maior foco nas políticas dos Planos Quinquenais, principalmente do 11º ao 13º, visando uma expansão nessas regiões com alto potencial renovável. Ao mesmo tempo, o sistema de tarifas foi expandido, permanecendo como um dos principais instrumentos para aliar potencialidades geográficas com diversificação da matriz energética (Sandalow et al., 2022).

Em consequência da expansão dos subsídios, os investimentos em fontes renováveis cresceram exponencialmente, excedendo USD 19,2 milhões em 2017. Assim, entre 2010 e 2017, foi efetivada a adição de mais de 130 GW em capacidade eólica e solar (IRENA, 2025b; IRENA, 2025c). Porém, tais investimentos tiveram como resultado a geração de déficits, que chegaram à ordem de USD 10,6 bilhões em 2017. Para arcar com esse impacto, as tarifas adicionais para os consumidores finais aumentaram, fomentando uma mudança nas políticas governamentais (WEF, 2018).

As novas políticas passaram a incorporar mecanismos de mercado, unindo eficiência econômica aos objetivos de redução de emissões de GEE e produção de energias renováveis (WEF, 2018). Assim, em 2022, além destes mecanismos, as políticas voltadas à transição energética estavam associadas a quotas provinciais obrigatórias de consumo de energia renovável e a um sistema nacional de certificados verdes.

¹¹ *Curtailment* é a interrupção forçada da geração de energia devido à restrição na rede. Normalmente, está associada a uma fonte renovável devido à distância entre os centros geradores e os consumidores.

A partir deste cenário, percebeu-se que o setor energético renovável da China havia alcançado competitividade em relação aos combustíveis fósseis e uma expressiva redução de custos, uma vez que, mesmo com a interrupção dos subsídios, em 2024, o país adicionou 373 GW de capacidade renovável (OIES, 2022).

Embora os subsídios tenham sido encerrados para tecnologias consolidadas, as políticas mantêm apoio estratégico às tecnologias emergentes e à integração do sistema elétrico. Assim, o foco mudou da expansão da capacidade instalada para o aproveitamento energético e expansão do consumo de fontes renováveis.

Outros mecanismos, como leilões competitivos e *power purchase agreements*¹² corporativos, viabilizaram a negociação direta de empresas e usinas de geração de energia renovável, impulsionando o crescimento sem a intermediação governamental (Solarbe Global, 2024). O impacto econômico destes mecanismos é observado na contribuição do setor de energia limpa em cerca de 10,4% no PIB chinês em 2024, consolidando o setor como um dos pilares centrais da economia nacional (Myllyvirta, Qin, & Qiu, 2025).

Assim como estes incentivos governamentais, os instrumentos regulatórios evoluíram gradualmente. A Lei de Energias Renováveis (2005) destacou-se como uma iniciativa transversal. Modificada em 2009, a Lei introduziu o Sistema de Aquisição Integral Protetiva, que estabeleceu exigências mais rígidas para a compra obrigatória de energia renovável pela rede elétrica. Além disso, nesta Lei, foi definida a proporção de geração renovável em relação à capacidade total para períodos determinados (IEA, 2025c; Zhang, 2009).

Essa determinação de cotas obrigatórias foi implementada de forma gradual até 2019, quando passou a vigorar formalmente por meio do *Renewable Portfolio Standard* (Hu & Zhou, 2022). Objetivando impulsionar a demanda por fontes renováveis, elas foram impostas como metas de consumo para empresas comercializadoras, grandes consumidores e para municípios.

Além dessas cotas, outros instrumentos regulatórios foram o *Emissions Trade System* e os Certificados de Energia Verde, que atuam na descarbonização da matriz energética chinesa. Os focos prioritários desses instrumentos foram as usinas térmicas, que utilizavam carvão e gás natural como combustível (OIES, s.d.).

Para o *Emissions Trade System*, implementado em 2021, foram ajustadas métricas baseadas na intensidade das emissões. Assim, em 2024, foram abrangidos os setores não energéticos, com destaque para as indústrias de aço, cimento e fundição de alumínio. Dessa forma, contemplou-se cerca de 8 bilhões de toneladas de CO₂, o que correspondeu a mais de 60% das emissões totais da China (OIES, s.d.).

Em paralelo, os Certificados de Energia Verde foram desenvolvidos para confirmar a procedência renovável da energia elétrica gerada. Inicialmente, eles contemplavam

¹² Referente a contrato de negociação de energia em longo prazo.

a energia advinda dos sistemas solares e eólicos *onshore*; no entanto, foram expandidos para incluir todos os sistemas energéticos renováveis, como os eólicos *offshore*, os de biomassa, os geotérmicos e os hidrelétricos (Zhang, 2023). E assim, juntamente com as mudanças no consumo direto de energia renovável e a compra de cotas excedentes de outros participantes, esses certificados foram um dos mecanismos para o cumprimento das cotas obrigatórias mencionadas anteriormente (Hu & Zhou, 2022).

Em síntese, a transição energética na China, em relação aos incentivos governamentais, evoluiu de um modelo fortemente baseado em subsídios para uma abordagem que integra mecanismos de mercado. No campo regulatório, os instrumentos adotados orientam a execução das metas estabelecidas, fortalecendo diretamente a formação dos mercados de energia renovável.

Nesse contexto, medidas como a obrigatoriedade de compra de energia renovável e a criação dos Certificados de Energia Verde permitiram antecipar as metas previstas para 2030. Esse avanço ocorreu em sinergia à ampliação do protagonismo tecnológico e industrial do país, demonstrando que políticas bem desenhadas podem alinhar competitividade internacional e ambição climática (CREA, 2024).

4.2 Estados Unidos

Os Estados Unidos apresentaram um sistema de incentivos governamentais centrados em créditos tributários de longo prazo, bem como um arcabouço regulatório de grande iniciativa regional. Nesse cenário, houve pouca integração entre as esferas estaduais e federais, sendo a *Inflation Reduction Act* (IRA) de 2022 o ato mais significativo nessa direção.

Antes da IRA, os principais incentivos federais eram o *Modified Accelerated Cost Recovery System* (MACRS), o *Investment Tax Credit* (ITC) e o *Production Tax Credit* (PTC). O MACRS consistia em um sistema de depreciação acelerada para equipamentos de energia eólica, geotérmica e solar, cujo valor variava conforme a natureza do equipamento (IEA, 2017). Seu objetivo era de reduzir a carga tributária sobre o capital investido, acelerando a recuperação do investimento (IEA, 2017).

O ITC consistia em uma redução dólar por dólar no imposto de renda para produtores de energia limpa, com base em uma porcentagem do investimento total realizado. Já o PTC era um crédito tributário de produção, ou seja, por kWh. Ao contrário do ITC, que era um benefício imediato, o PTC oferecia benefícios com base na produção real de energia elétrica ao longo do tempo, normalmente por 10 anos, variando de acordo com o tipo de energia renovável e a data de início de operação (Crux Climate, 2024).

Esses instrumentos, ITC e PTC, foram vinculados às metas de redução de emissões de GEE e incorporados de maneira definitiva na IRA, considerada o marco transformador mais significativo de incentivos governamentais do país (NC Clean Energy Technology Center, 2024). Sancionada em 2022, a IRA reformulou o sistema de

incentivos norte-americanos para as fontes renováveis. Assim, ampliou os créditos fiscais e introduziu mecanismos inovadores de monetização, destinando USD 370 bilhões em incentivos para o período 2025-2034.

Dentre os incentivos, incluem-se os bônus nos créditos fiscais para projetos associados à cadeia produtiva local e os créditos específicos para a indústria de equipamentos de energia renovável (DOT, 2024) devido aos objetivos de aumentar a segurança energética e acelerar a transição para fontes limpas. O [Quadro 5](#) apresenta a estrutura de incentivos governamentais da IRA, destacando seus principais mecanismos.

Quadro 5: Incentivos governamentais da *Inflation Reduction Act*

Incentivo	Mecanismos
ITC	<ul style="list-style-type: none"> • Crédito base: O ITC corresponde a 30% dos custos elegíveis para projetos de até 1 megawatt (MW) e a 6% para os projetos que superam esse limite; • Aumento de crédito: Projetos acima de 1 MW podem aumentar seu crédito, desde que atendam aos requisitos salariais e de aprendizagem em vigor; • Bônus adicionais: Os projetos podem obter acréscimos percentuais ao atenderem determinados critérios, por exemplo: <ul style="list-style-type: none"> - Acréscimo de 10 pontos percentuais para projetos que utilizam insumos nacionais; - Acréscimo de 10 pontos percentuais para projetos localizados em uma comunidade energética; - Acréscimo de 10 pontos percentuais para projetos menores que 5 MW localizados em comunidades de baixa renda ou em terras indígenas; - Acréscimo de 20 pontos percentuais para projetos de construção residencial qualificados como de baixa renda ou para aqueles considerados de benefício econômico para populações de baixa renda.
Créditos tecnologicamente neutros	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de 2025, serão fomentados os créditos baseados em emissões zero, independente da tecnologia utilizada.
Transferibilidade de Créditos	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvedores poderão vender créditos fiscais não utilizados para terceiros, criando um mercado secundário de créditos.
Direct Pay (Elective Pay)	<ul style="list-style-type: none"> • Algumas entidades são isentas de impostos, incluindo governos estaduais/locais, povos indígenas, cooperativas rurais e organizações sem fins lucrativos. Estas podem receber pagamentos diretos do Tesouro equivalentes ao valor dos créditos.
45X Advanced Manufacturing Production Credit	<ul style="list-style-type: none"> • Oferece créditos calculados por unidade produzida de equipamentos de energia renovável e baterias, incentivando a produção em larga escala.
48C Qualifying Advanced Energy Project Credit	<ul style="list-style-type: none"> • Oferece um crédito de 30% sobre o investimento de capital para estabelecer, expandir ou reequipar instalações de manufatura de tecnologia limpa; • Abrange equipamentos para energia renovável, componentes de veículos elétricos e tecnologias de captura de carbono; • Inicialmente alocou USD 4 bilhões, sendo o valor distribuído entre os projetos elegíveis e cerca de 13% direcionado para iniciativas de descarbonização industrial.

Incentivo

Mecanismos

Residential Clean Energy Credit

- Fornece créditos tributários de até 30%¹³ sobre os custos de equipamentos para energia renovável;
- Inclui sistemas solares fotovoltaicos, sistemas de aquecimento solar, células de combustível, bombas de calor geotérmicas, turbinas eólicas e tecnologias de armazenamento de bateria.

Fonte: elaboração própria a partir de Crux Climate (2024); DOT (2024); IRS (s.d.); EPA (2024c).

Em relação aos instrumentos regulatórios, esses foram estruturados a partir de cotas obrigatórias de consumo de energias renováveis, metas de eletrificação veicular e padrões para qualidade do ar. E, assim como os incentivos governamentais, esses instrumentos também possuíam caráter predominantemente estadual.

A *Regional Greenhouse Gas Initiative* (RGGI), criada em 2005 por sete governadores do Nordeste dos EUA, foi a primeira iniciativa obrigatória de *cap-and-trade* do país voltada à limitação das emissões de CO₂ no setor elétrico. Em operação desde 2009, a iniciativa abrange, atualmente, onze estados, representando mais de 30% da população americana e 36% do PIB nacional (C2ES, 2025). A RGGI opera com base na definição de um orçamento regional de emissões de CO₂, exigindo que usinas de energia com capacidade igual ou superior a 25 MW obtenham permissões para emitir. Cerca de 90% dessas permissões são distribuídas por meio de leilões trimestrais, cujas receitas são utilizadas para investimentos em programas de benefício público (C2ES, 2025).

Em 2007, a Lei de Independência e Segurança Energética fomentou a modernização das redes elétricas e a determinação de padrões de eficiência energética. A exemplo, o *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) determinou um padrão de eficiência para os combustíveis no setor de transportes (EPA, 2007).

Em 2011 e 2012, respectivamente, a *Cross-State Air Pollution Rule* (CSAPR) e o *Mercury and Air Toxics Standards* focaram na qualidade do ar. Ambos instrumentos estabeleceram padrões de emissões para as entidades emissoras, especialmente, para as usinas térmicas com capacidade superior a 25 MW, considerando a tecnologia de cada geração (EPA, 2024b). Na CSAPR, estados que influenciasses a poluição de outros através do vento seriam penalizados.

O estado da Califórnia teve um grande destaque com a aprovação da resolução AB32, que possuía objetivos abrangentes e de longo prazo associados à redução de emissões de GEE e ao aproveitamento das fontes renováveis (CARB, 2018). Em 2013, integrado à AB32, foi estabelecido o programa de *cap-and-trade*, objetivando reduzir 85% das emissões estaduais, desde o setor elétrico até o de distribuição de combustíveis (CARB, s.d.).

¹³ A taxa percentual cai para 26% a partir de 2033 e cai para 22% a partir de 2034. Para a elegibilidade ao crédito, há padrões mínimos a serem contemplados, além de restrições para as residências que possuem uso comercial.

Entre 2017 e 2020, houve uma retração das regulamentações climáticas federais, com a substituição de instrumentos baseados em metas de emissões por padrões de eficiência de usinas existentes (EPA, 2019). Ademais, o padrão CAFE foi flexibilizado, representando uma redução significativa nas metas de eficiência veicular (CAT, 2025). Nesse período, os estados fortaleceram suas ações regulatórias de maneira independente, aproveitando suas vantagens econômicas e seus recursos naturais específicos (C2ES, 2025).

Já entre 2021 e 2024, a regulamentação climática em nível federal foi reestabelecida, com base em dois instrumentos legislativos centrais. O primeiro, a Lei de Investimentos em Infraestrutura e Empregos (2021), instituiu o *National Electric Vehicle Infrastructure*. Com valor de USD 7,5 bilhões, foram definidos padrões nacionais obrigatórios para a instalação de estações de recarga de veículos elétricos. Essa Lei também expandiu a autoridade da *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC) no planejamento da infraestrutura de transmissão de energia (IEA, 2025b).

O segundo instrumento, mencionado anteriormente para os incentivos governamentais, trata-se da IRA. Esta lei, além de ter abrangido incentivos fiscais ([Quadro 5](#)), contemplou a implementação do primeiro mecanismo federal de precificação de carbono, por meio da taxação das emissões de metano. Em 2024, essa taxa estava fixada em USD 900 por tonelada métrica, com previsão de aumento gradual para USD 1.500 até 2026. Por fim, a IRA também impôs requisitos mais rigorosos de uso de energia renovável em edifícios federais (CAT, 2025).

Nesse mesmo ano, o país apresentou metas ambiciosas nas NDCs, como a redução de 61% a 65% das emissões de GEE até 2025. No entanto, atualmente, há uma lacuna substancial entre essa meta e o nível projetado pela política vigente, que indica uma redução de apenas 29% a 39% até 2030 (CAT, 2025; EPA, 2024a).

Em síntese, quanto aos incentivos governamentais, o país utiliza um modelo baseado em créditos tributários de longo prazo, possuindo, a partir de 2022, a IRA como principal impulsionadora para as energias renováveis. Esses créditos também abrangem o fortalecimento da cadeia produtiva nacional e a adesão do setor residencial. Em paralelo, embora os instrumentos regulatórios tenham impulsionado a inovação e demonstrado resiliência política, eles geraram descompassos estaduais, tendo em vista que o país apresentou um modelo de governança marcado pela predominância de decisões subnacionais. Essa dinâmica resultou em trajetórias estaduais fragmentadas e em uma trajetória nacional de descarbonização ainda abaixo das metas do Acordo de Paris para 2030 (CAT, 2025).

Por fim, ressalta-se que a retração das regulamentações climáticas entre 2017 e 2020 foi promovida pelo mesmo governo que atualmente está à frente do governo dos EUA. Isso fez ressurgir preocupações nacionais e internacionais sobre a possibilidade de repetição dessa conduta de retração.

4.3 Índia

As políticas de transição energética da Índia estabeleceram um ecossistema abrangente de incentivos governamentais e de medidas regulatórias para alcançar as metas de mitigação de GEE. Conforme suas NDCs, as principais metas consistem na redução da intensidade de emissões por PIB em 45% e na expansão das energias renováveis na matriz energética, visando alcançar a participação dessas em 50% (IBEF, 2025).

Os incentivos governamentais incluem benefícios fiscais corporativos, subsídios diretos em larga escala e programas setoriais específicos alinhados às características demográficas e econômicas. Devido à grande população rural, que é dependente da agricultura, e do setor industrial em rápido crescimento, o país implementou mecanismos diferenciados para abranger desde pequenos produtores rurais até grandes empresas. Assim, consolidou-se como o quarto maior mercado de energia renovável do mundo (Invest India, 2025).

O principal incentivo do país, para atrair investimento corporativo para as fontes renováveis, é a depreciação acelerada. Por meio desta, as empresas podem deduzir uma porcentagem significativa do custo do ativo no primeiro ano de operação, e por consequência, reduzir a carga tributária inicial, antecipando o retorno sobre o investimento (India Briefing, 2024). A evolução desse incentivo apresentou ajustes estratégicos ao longo dos anos:

- **2004-2014:** depreciação acelerada de 80% como instrumento fiscal catalisador para crescimento inicial dos setores solar e eólico (IEA, 2024a);
- **2014-2017:** suspensão temporária da depreciação acelerada para energia eólica devido à saturação do mercado e à necessidade de consolidação do setor (India Briefing, 2024);
- **2017-presente:** estabilização da depreciação acelerada de 40%, reflexo da maturidade tecnológica e da redução de custos de capital para novos investimentos (India Briefing, 2024).

Além da depreciação, o governo indiano estabeleceu o *Pradhan Mantri Kisan Urja Suraksha evam Utthaan Mahabhiyaan*¹⁴, que objetivava adicionar 34.800 MW na capacidade solar até 2026. Esse programa, lançado em 2019 com orçamento inicial de USD 4,65 bilhões, representou a convergência entre política energética e desenvolvimento rural, a partir dos seus três componentes (MNRE, 2025):

Componente A: instalação de 10.000 MW de usinas solares descentralizadas (solo/sobre estacas) conectadas à rede elétrica ou à outras usinas renováveis. Objetiva-se instalar usinas com capacidade entre 500 kW e 2 MW por agricultores e cooperativas;

Componente B: instalação de 1.400.000 bombas solares agrícolas autônomas. Objetiva-se apoiar agricultores individuais na instalação de tais bombas com capacidade de

¹⁴ Em tradução livre, Missão do Primeiro-Ministro para a Segurança Energética e o Empoderamento dos Agricultores.

cerca de 5,6 kW em áreas sem rede elétrica. O subsídio pode chegar a 50% ou 60% (dependendo do estado) do custo de referência ou do valor da proposta (o que for menor), sendo 30% concedido pelo Governo Estadual. O agricultor pode, também, obter financiamento bancário de até 30%.

Componente C: solarização de 350.000 bombas agrícolas individuais conectadas à rede ou solarização em nível de alimentador. Os agricultores podem utilizar a energia gerada para atender à necessidade de irrigação e vender o excesso de energia gerada à rede, sendo a distribuição dos subsídios para bombas individuais a mesma do Componente B. Já para solarização em nível de alimentador, é fornecido, a depender do estado, um subsídio sobre o custo de instalação da usina solar de até 30% ou 50%. Os agricultores atendidos por esses alimentadores receberão energia durante o dia para irrigação, sem custo ou com uma tarifa definida pelo respectivo estado.

Até 2024, o programa beneficiou cerca de 410.000 agricultores, gerando um expressivo impacto socioeconômico: aumento de 25% a 30% na renda agrícola; redução anual de 3,5 milhões de toneladas de emissões de CO₂; e a criação de 750 mil empregos rurais (SolarQuarter, 2024).

A Índia, além de ter promovido iniciativas para a área rural, ampliou o uso da energia solar no setor residencial urbano por meio do *PM Surya Ghar Muft Bijli Yojana*¹⁵. Lançado em 2024, o programa objetivava fornecer mensalmente até 300 sistemas fotovoltaicos para promover eletricidade gratuita, além de uma assistência financeira a famílias de baixa e média renda. Tal assistência correspondia a cobrir até 60% do custo de sistemas solares até 2 kW e até 40% dos sistemas entre 2 e 3 kW. No final do ano, foram concluídas 630.000 instalações, representando um aumento expressivo na taxa mensal de instalação, que passou a ser de 70.000 (ORF, 2025).

Essas iniciativas foram possibilitadas por meio de políticas voltadas à cadeia de suprimentos da geração solar. O *Production Linked Incentive*, por exemplo, que implementou o Programa Nacional de Módulos Solares de Alta Eficiência com alocação de USD 3,1 bilhões, colaborou para a mudança da Índia de importadora para fabricante e vendedora global de módulos fotovoltaicos de alta eficiência (MNRE, s.d.).

Por outro lado, os instrumentos regulatórios indianos foram estabelecidos pelos Planos Quinquenais, que orientam as ações de transição energética com base nas prioridades econômicas, no grau de maturidade das tecnologias renováveis e na infraestrutura energética. Dessa forma, as prioridades políticas evoluíram à medida que as fontes renováveis passaram a ganhar espaço no setor energético indiano.

As diretrizes do Plano Quinquenal de 2002-2007 estabeleceram a inclusão das energias renováveis no portfólio energético indiano de maneira a reduzir a dependência dos combustíveis importados e a promover maior segurança energética (Government

¹⁵ Em tradução livre, Programa do Primeiro-Ministro para casas solares – esquema de eletricidade gratuita.

of India, 2002). Objetivou-se criar marcos regulatórios e mercados consumidores para as energias renováveis, estabelecendo cotas mínimas de participação, conhecidas como *Renewable Participation Obligation* (RPO) (MP, 2005).

Essas cotas de participação para as energias renováveis foram complementadas pelos *Renewable Energy Certificates* (REC), comercializados no mercado de energia e utilizados para certificar a origem da energia elétrica. No entanto, o mercado de REC não obteve o desempenho esperado, sendo o alto volume de certificados não vendidos decorrentes de dois fatores: descumprimento da RPO pelas distribuidoras e falta de inclusão de tecnologias emergentes, como hidrogênio, eólica *offshore* e armazenamento de energia. (Powell, Satir & Tomar, 2024).

Assim, a falha do REC destacou a necessidade de implementar instrumentos regulatórios mais robustos, dando sequência à elaboração de ações transversais, como a criação de mercados de carbono e leilões competitivos de energias renováveis (Powell, Satir & Tomar, 2024). O [Quadro 6](#) apresenta os marcos e mecanismos regulatórios desenvolvidos pela Índia entre 2005 e 2024 abrangendo as ações transversais.

Quadro 6: Marcos e mecanismos regulatórios da Índia, 2005-2024

Marcos regulatórios	Mecanismos
<i>Energy Conservation Act (ECA)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementou o programa <i>Perform, Achieve and Trade</i>; • Estabeleceu um sistema <i>cap-and-trade</i> mandatário; • No Ciclo I, contemplou 13 setores energointensivos, sendo posteriormente expandido nos ciclos seguintes com a inclusão de mais 509 consumidores designados; • Economizou 8,67 MTOE entre 2012 e 2015, superando a meta em 30%.
<i>Energy Conservation Building Code (ECBC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabeleceu padrões técnicos obrigatórios para edifícios comerciais com carga conectada igual ou superior a 100kW; • Definiu três níveis de desempenho, com potencial de economia de energia entre 25% e mais de 50%; • Aproximadamente 23 estados já publicaram regras de conformidade ao ECBC.
<i>Indian Electricity Grid Code</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabeleceu requisitos técnicos rigorosos, incluindo critérios de operação em condições de baixa e alta tensão; • Incorporou exigências de capacidade de suporte a curto-circuito para todos os geradores de energia renovável.
<i>National Smart Grid Mission</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementou uma infraestrutura avançada para medição e automação dos sistemas de distribuição e das soluções de armazenamento de energia em baterias.

Fonte: elaboração própria a partir de IEA (2021); MP (2025); BEE (2024a); BEE (2024b); CEA (2007); Powell, Satir & Tomar (2024).

Dessa maneira, a transição energética indiana apresentou avanços nos incentivos governamentais partindo da depreciação acelerada até subsídios diretos para áreas rurais e urbanas. Muitos desses incentivos estão vinculados a fontes solares, fortalecendo a Índia enquanto fabricante e exportadora de equipamentos para uso dessa fonte de energia renovável. Os instrumentos regulatórios, por sua vez, englobaram iniciativas transversais, incluindo padrões técnicos e apoio à infraestrutura da produção de energia.

Esse cenário evidencia um aprendizado político adaptativo, visto que o país tem integrado, cada vez mais, programas que contemplam diferentes segmentos socioeconômicos. Esse fato marca a disposição que a Índia tem em enfrentar desafios emergentes como a integração da rede, a flexibilidade do sistema e o surgimento de novas tecnologias, a fim de criar um mercado de energia renovável mais dinâmico, inclusivo e globalmente reconhecido.

4.4 União Europeia

A União Europeia (UE) foi pioneira no desenvolvimento de incentivos às energias renováveis, atuando como um laboratório regulatório no qual os 27 estados-membros testaram diferentes abordagens que influenciaram políticas ao redor do mundo. Além disso, o bloco econômico estabeleceu o mais ambicioso e abrangente conjunto de políticas regulatórias para transição energética, evoluindo de uma meta inicial de 20% de fontes de energias renováveis até 2020 para outras mais amplas: 42,5% até 2030 e neutralidade climática até 2050. Dessa forma, o bloco é considerado como uma referência internacional em governança climática e transição energética estruturada.

A evolução dos incentivos governamentais reflete o amadurecimento tecnológico do bloco, apesar da complexidade existente para alinhar políticas considerando as diferentes realidades geográficas (EP & CEU, 2009). Entre 2004 e 2013, foi estabelecido um sistema de subsídios a partir de dois incentivos: os *feed-in tariffs* (FIT) e os *feed-in premiums* (FIP). No FIT, os produtores de energias renováveis recebiam uma tarifa fixa por kWh produzido. Já no FIP, eles recebiam um prêmio adicional com base no preço *spot* da energia elétrica, sendo este prêmio fixado por cerca de 15 a 20 anos e fornecido quando o preço da energia estava abaixo da tarifa pré-determinada. Ambos incentivos eram pagos pelos consumidores por meio de uma taxa adicional no preço final da energia.

Esse sistema de subsídios permitia aos produtores de energias renováveis responder à sinalização do mercado, estimulando a eficiência sem comprometer o incentivo à transição energética (Bursh et al., 2023). O FIP foi um grande pilar da transição, visto que servia como um seguro para os produtores contra os riscos de mercado, por exemplo, variações no preço da eletricidade (Alolo, Azevedo & Kalak, 2020). Adotado em diversos países, esse incentivo foi adaptado de acordo com as características de cada um, como geografia local e recursos para a geração renovável. A Alemanha destacou-se

como uma das principais líderes nesse sistema, pois a partir da *Erneuerbare-Ener-gien-Gesetz*¹⁶ estabeleceu tarifas diferenciadas que refletiam os custos tecnológicos associados às fontes renováveis de acordo com a capacidade instalada.

Assim, esse sistema trouxe maior competitividade em relação à geração térmica, permitindo mudanças nas políticas de incentivo. Essas passaram a ser direcionadas para mecanismos de mercado, como leilões competitivos e contratos por diferenças (CfDs).

Os CfDs são estruturados de maneira semelhante ao FIP, porém integram um mecanismo de mercado para criar um seguro simétrico contra riscos dos preços de energia. Para isso, é estabelecido um preço mínimo de referência, garantindo viabilidade econômica em momentos de queda dos preços e um preço máximo de referência para a venda de energia renovável. Assim, quando o preço *spot* da eletricidade ultrapassar o teto, os operadores devem retornar a diferença. Logo, garante-se proteção para os produtores, servindo de *hedging* para preços baixos, e para os consumidores, por não permitir preços além do teto (Bursch et al., 2023). O [Quadro 7](#) apresenta alguns mecanismos de leilões competitivos e CfDs para dez países integrantes da UE.

Quadro 7: Leilões competitivos e Contratos por Diferença para dez países da União Europeia

País	Mecanismos
Alemanha	<ul style="list-style-type: none"> • Desde 2017, adotou integralmente o sistema de leilões para a contratação de energias renováveis. Esses leilões são divididos por tecnologias; • Desde 2022, o país tem promovido leilões híbridos que integram energia solar e armazenamento, incentivando a inovação. Nesses leilões, existe uma categoria especial para projetos comunitários, com regras simplificadas para facilitar sua participação; • O país está se preparando para implementar CfDs bidirecionais até 2027.
França	<ul style="list-style-type: none"> • Desde 2019, adotou o sistema “<i>complément de rémunération</i>” por meio de leilões trimestrais para a contratação de energia renovável. As tecnologias elegíveis incluem: solar (em solo ou em telhados), eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i> e Pequenas Centrais Hidrelétricas. Esses leilões costumam ofertar 500 MW e 1 GW em capacidade, e os projetos são avaliados mediante: preço, pegada de carbono, uso de insumo local, e outros critérios.
Espanha	<ul style="list-style-type: none"> • Desde 2020, retomou os leilões adotando o mecanismo <i>pay-as-bid</i> com contratos de 12 anos baseados no preço ofertado por MWh. Nesses leilões, as tecnologias podem competir entre si, e os volumes contratados anualmente variam entre 3 e 5 GW.
Portugal	<ul style="list-style-type: none"> • Desde 2019, promove leilões de energia solar, estruturado em três modalidades distintas: tarifa garantida, contribuição ao sistema e pagamento por capacidade; • Para a expansão futura dos leilões, pretende-se incluir a fonte eólica <i>offshore</i> flutuante e incorporar requisitos de armazenamento nos leilões de energia fotovoltaica.
Itália	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de contratação de fontes renováveis por meio de leilões segmentados por tecnologia e por porte dos projetos. Os empreendimentos vencedores celebram contratos de 10 anos, com remuneração definida a partir de uma tarifa de referência ajustada pelo desconto ofertado no leilão.

¹⁶ Em tradução livre, Lei de Energia Renovável.

País	Mecanismos
Países Baixos	• Desde 2020, o programa <i>Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition</i> introduziu um modelo de competição entre tecnologias com base no custo por tonelada de CO ₂ evitada (EUR/tCO ₂). Dentre as tecnologias elegíveis citam-se hidrogênio verde e captura de carbono, além de fontes renováveis tradicionais.
Polónia	• Desde 2018, o país tem realizado leilões anuais para instalações com capacidade menor ou igual a 1 MW e maior que 1 MW. Dentre as fontes elegíveis, há predominância da solar em 80%. Os preços máximos de referência são definidos anualmente pelo regulador.
Grécia	• Desde 2019, o país tem promovido leilões competitivos separados por tecnologia (solar e eólica) e por tamanho do projeto. Os volumes contratados variam entre 300 e 500 MW. Os requisitos para elegibilidade destes incluem rigorosas garantias financeiras.
Dinamarca	• Desde 2021, o país implementou leilões com subsídio zero para eólica offshore, além de um modelo híbrido com receitas de transmissão compartilhadas. Os projetos são avaliados por: preço, contribuições para a transição verde e outros critérios adicionais.
Irlanda	• Desde 2020, o país implementou o <i>Renewable Electricity Support Scheme</i> , com leilões anuais que incluem categorias específicas para solar, eólica <i>onshore</i> e projetos comunitários. Esse esquema exige a contribuição obrigatória para o <i>Community Benefit Fund</i> no valor de USD 2,28/MWh.

Fonte: elaboração própria a partir de EC (2024); CEW (2024); SEE (2025).

Os principais instrumentos regulatórios da UE foram o *European Union Emission Trade System* (EU-ETS) e as *Renewable Energy Directives* (RED) voltados, respectivamente, à mitigação das emissões de GEE e à expansão das energias renováveis. Esses instrumentos foram complementados progressivamente por políticas setoriais e iniciativas adicionais com ênfase especial nos setores industrial e de transportes.

O mercado de carbono EU-ETS teve início com uma fase piloto, concebida para familiarizar e integrar gradualmente os agentes ao sistema. A meta de carbono cobria, inicialmente, apenas alguns setores, além de ofertar uma quantidade de permissões com base nas emissões históricas num sistema *grandfathering*¹⁷. No entanto, a oferta de permissões foi tão elevada que o preço atingiu valor zero em 2007 (ICAP, 2024).

Conforme a consolidação dessa fase, na segunda não foi permitida a continuidade das permissões. Além disso, o sistema começou a ser expandido para setores mais intensivos em carbono e de difícil descarbonização. Nas fases seguintes, a meta de mitigação aumentou, passando de limites nacionais conservadores para uma meta conjunta em nível europeu. Essas fases abrangeram as emissões internacionais e a possibilidade de *carbon leakage*¹⁸ entre os membros da UE. O [Quadro 8](#) apresenta as características gerais das fases do EU-ETS, destacando suas metas, setores de cobertura e principais instrumentos.

¹⁷ No contexto de mercados de carbono, o sistema de *grandfathering* consiste em fornecer um número de permissões gratuitas com base nas emissões históricas da indústria.

¹⁸ Esse fenômeno é conhecido como “vazamento de carbono” e ocorre quando indústrias são transferidas para países que não adotam limites de emissão de carbono, como forma de evitar os custos associados à regulação climática com carbono.

Quadro 8: Características gerais do EU-ETS, 2005-2024

Fase	Metas, setores e cobertura	Descrição da fase
Fase 1 (2005-2007)	<p>Metas: Sem meta específica de redução das emissões, estabelecendo apenas um limite nacional de 2.096 MtCO₂eq;</p> <p>Setores: Abrange instalações de combustão (>20MW), refinarias de petróleo e as indústrias de cimento, cal, vidro, cerâmica, siderurgia e ferro, e papel e celulose;</p> <p>Cobertura: Aproximadamente 11.000 instalações distribuídas em 25 Estados-Membros.</p>	<p>Permissões: Mais de 95% permissões foram distribuídas gratuitamente via <i>grandfathering</i>;</p> <p>Volume: As permissões transacionadas cresceram de 321 milhões em 2005 para 2,1 bilhões em 2007;</p> <p>Preço: O valor do carbono atingiu um pico de USD 37/tCO₂, caindo para USD 0/tCO₂ ao final de 2007;</p> <p>Créditos internacionais: Embora autorizados sem restrições, não chegaram a ser utilizados.</p>
Fase 2 (2008-2012)	<p>Metas: Redução de 6,5% das emissões em relação aos níveis de 2005, com teto inicial 2.049 MtCO₂eq;</p> <p>Setores: Inclusão da indústria química de óxido nitroso (N₂O);</p> <p>Cobertura: Inclusão da Islândia, Noruega e Liechtenstein.</p>	<p>Volume: Expansão de 3,1 bilhões de permissões em 2008 pra 7,9 bilhões em 2012, totalizando aproximadamente €56 bilhões.</p>
Fase 3 (2013-2020)	<p>Metas: Redução de 21% das emissões até 2020 em relação aos níveis de 2005. Estabelecimento de um teto único para a UE de 1.816 MtCO₂eq em 2020;</p> <p>Setores: Inclusão da metalurgia de alumínio e de metais não-ferrosos, e de segmentos da indústria química voltados à produção de ácidos e químicos orgânicos;</p>	<p>Permissões: Distribuição composta por 57% das permissões via leilões (regra padrão) e 43% concedidas gratuitamente com base em 54 <i>benchmarks</i> setoriais;</p> <p>Lista de setores com “carbon leakage”: Inclusão de 165 dos 258 setores classificados na lista de risco de fuga de carbono.</p>
Fase 4 (2021-2030)	<p>Metas: Redução de 62% das emissões até 2030 em relação aos níveis de 2005. Teto de 1.386 MtCO₂eq em 2024, incluindo 78,4 milhões de toneladas provenientes do setor marítimo;</p> <p>Setores: Ampliação para o transporte marítimo a partir de 2024.</p>	<p>Permissões: Predominância de leilões como método padrão, com alocação gratuita direcionada apenas aos setores expostos ao risco de fuga de carbono;</p> <p>Inovações: Implementação da Reserva de Estabilidade de Mercado, do Fundo de Inovação (€38 bilhões) e do Fundo Social Climático (€72,2 bilhões);</p> <p>Preços: Valores ultrapassando €100/tCO₂, atingindo recordes históricos em 2023.</p>

Fonte: elaboração própria a partir de ICAP (2024); CMW (2024).

Assim, a última fase do EU-ETS incorporou reformas estruturais baseadas nas experiências anteriores, incluindo limites de emissão mais rígidos e maior participação dos leilões para as permissões. Além disso, consolidou a preocupação em desenvolver mecanismos específicos para mitigar o risco de *carbon leakage*.

De maneira geral, o EU-ETS tem mostrado eficácia crescente, evidenciada pela redução de 47% das emissões dos setores cobertos pelo sistema até 2023, em relação aos níveis de 2005 (ICAP, 2023).

Complementar ao EU-ETS, a UE estabeleceu as RED objetivando acelerar a participação das fontes renováveis na matriz energética, combinando metas climáticas com as particularidades geográficas dos países. O [Quadro 9](#) apresenta as principais características das três fases das RED, que buscaram inserção, expansão e consolidação das fontes renováveis nos diversos setores de consumo.

Quadro 9: Principais elementos das fases das RED

Fase	Metas e setores abrangidos	Descrição da fase
RED I (2009-2020)	<p>Meta UE-27¹⁹ : Alcançar 20% de participação de renováveis no consumo final bruto de energia até 2020;</p> <p>Metas setoriais obrigatórias UE-27: No transporte, atingir 10% de energia renovável;</p> <p>Cobertura setorial: Inclui eletricidade, aquecimento e resfriamento, transporte e energias geotérmica, hidrotérmica e oceânica;</p> <p>Revisão 2015: Estabeleceu critérios de mudanças indiretas no uso da terra e limitou a participação de biocombustíveis convencionais a 7%.</p>	<p>National Renewable Energy Action Plans (NREAP): Estados-Membros deveriam submeter, até 30 de junho de 2010, seus planos para alcançar as metas nacionais;</p> <p>Monitoramento: Obrigatoriedade de relatórios bienais (2011-2019) para acompanhar o avanço das metas;</p> <p>Garantias de origem: Sistema destinado a rastrear e certificar a origem renovável da eletricidade.</p>
RED II (2021-2030)	<p>Meta EU-27: Alcançar 32% de participação de renováveis até 2030;</p> <p>Metas setoriais obrigatórias UE-27: No transporte rodoviário e ferroviário, atingir 14% de energia renovável. Limite de 7% para biocombustíveis de primeira geração, com eliminação gradual até 2030 dos considerados com alto risco de promover mudanças no solo;</p> <p>Inovações conceituais introduzidas: Comunidades de energia renovável, direitos de autoconsumo, prosumidores²⁰ e contratos corporativos de compra de energia.</p>	<p>Governança integrada: Substituição do NREAP por Planos Nacionais Integrados de Energia e Clima;</p> <p>Crítérios de sustentabilidade aprimorados: Exigência de redução mínima de 50% das emissões de GEE a partir de 2021, elevando-se para 60% em 2026, juntamente com novos critérios para biomassa florestal e combustíveis sólidos e gasosos.</p>
RED III (2023-2030)	<p>Meta UE-27: Alcançar 42,5% de participação de renováveis, com objetivo coletivo de alcançar 45% até 2030;</p> <p>Metas setoriais obrigatórias UE-27: Na indústria, aumento anual obrigatório de 1,6 ponto percentual no uso de energias renováveis e pelo menos 42% do hidrogênio consumido deve ser renovável até 2030 e 60% até 2035. No transporte, atingir 29% de energia renovável ou reduzir 14,5% a intensidade de emissões de GEE. Em edifícios, atingir 49% de energia renovável.</p>	<p>Acceleration Areas for Renewables (AAR): Áreas com processos de licenciamento concluídos em até 12 meses e avaliação ambiental simplificados;</p> <p>Digitalização obrigatória: Todos os procedimentos devem ser realizados online, com disponibilização de dados em tempo real para facilitar a integração à rede.</p>

Fonte: elaboração própria a partir de EP & CEU (2009); EP & CEU (2018); EP & CEU (2023).

¹⁹ Referente aos 27 Estados-Membros que integram a União Europeia.

²⁰ Consumidores que geram sua própria energia.

As RED demonstraram uma evolução progressiva e, no presente cenário, a RED III representa um avanço com metas setoriais detalhadas e mecanismos inovadores para acelerar sua implementação, respondendo à urgência climática e às experiências das fases anteriores.

Dessa maneira, os incentivos governamentais na União Europeia revelam um processo contínuo de aperfeiçoamento e adaptação às mudanças do mercado. Inicialmente, esses incentivos focaram na criação da demanda, enquanto atualmente, a maior maturidade do setor energético renovável permite a adoção de mecanismos de mercado que elevam a eficiência econômica.

Paralelamente, os instrumentos regulatórios mostraram-se capazes de acelerar a transição energética, contribuindo para a redução de 37% das emissões desde 1990 e para uma participação de 24,6% de renováveis (EEA, 2024; EEA, 2025). Logo, o bloco econômico evidenciou que políticas bem desenhadas conseguem reduzir custos e estimular a expansão das energias renováveis, alinhando crescimento econômico às metas climáticas.

5. Perspectivas e recomendações da transição energética internacional

O presente relatório proporcionou uma análise do panorama global da transição energética, com ênfase nas principais tendências, desafios e iniciativas. Além disso, permitiu identificar as particularidades dos contextos internacionais, destacando países que têm assumido o protagonismo e delineado perspectivas para o alcance de uma transição energética justa e sustentável.

Esta seção tem como propósito sintetizar os principais destaques do relatório, evidenciando as principais barreiras e soluções globais, as boas práticas adotadas internacionalmente e suas aplicabilidades no contexto brasileiro, assim como as perspectivas de cooperação internacional voltadas ao avanço da transição energética.

5.1 Sumário de barreiras e soluções globais

A transição energética é vista como promissora para deter o aquecimento global e seus efeitos adversos ao planeta e à humanidade. Os acontecimentos de 2024, como conflitos geopolíticos e econômicos, desafios tecnológicos, eventos climáticos extremos, restrições comerciais, triagem de investimentos e desinformação, afetaram o cenário energético de 2025, expondo a vulnerabilidade energética que países e blocos econômicos enfrentam (WEF, 2025).

No panorama global, o uso ainda intensivo de combustíveis fósseis, como petróleo e gás natural, gera preocupações quanto à descarbonização de setores, como o energético e de transportes. No entanto, em 2024, pela primeira vez, a demanda total por petróleo desacelerou, resultando em uma participação inferior a 30% na demanda total de energia.

Essa desaceleração foi motivada por: (i) queda na demanda de petróleo no setor de transporte rodoviário na China e em economias avançadas, decorrentes de padrões mais rigorosos de eficiência veicular e maior uso de veículos elétricos; (ii) desigualdades e preços elevados do petróleo na América Latina e na África, somados à valorização do dólar americano, que restringiram importadores e por consequência, o fornecimento de petróleo em alguns países; (iii) obstáculos econômicos, como na Argentina e no Sri Lanka; e (iv) a redução e/ou remoção de programas de subsídios governamentais, impondo o menor uso desse combustível, como no Egito, Nigéria e Paquistão (IEA, 2025a).

Contudo, embora as economias avançadas tenham reduzido em 0,1% a participação do petróleo na demanda total de energia, as economias emergentes e em desenvolvimento da Ásia, vêm ampliando essa demanda. Destacam-se a Índia, com um aumento

de 3,4%, e o Sudeste Asiático, com 2,6% (IEA, 2025a). Essas regiões responderam, também, por 40% da demanda adicional de gás natural, impulsionadas pela contínua expansão urbana e econômica. Logo, o gás natural atingiu um novo recorde em 2024, com o crescimento de 2,7% na demanda total de energia em comparação a 2023 (IEA, 2025a).

O mesmo padrão se repetiu no consumo de carvão em 2024: a China, a Índia e países do Sudeste Asiático, especialmente a Indonésia, as Filipinas e o Vietnã, foram os maiores consumidores nesse período. Em contrapartida a esses cenários, a União Europeia manteve o declínio da demanda por carvão e o fechamento de usinas termelétricas a carvão. Isso resultou na queda da demanda desse insumo em mais de 10% em 2024 (IEA, 2025a).

Dessa forma, a desigualdade no uso de combustíveis trata-se de uma barreira à transição energética global. As economias avançadas progridem na transição ao adotar combustíveis sustentáveis, ao passo que as economias emergentes ou em desenvolvimento continuam dependentes de combustíveis mais poluentes devido às limitações financeiras e tecnológicas.

Outra barreira consiste na piora da intensidade energética, devido ao aumento intensivo de investimentos e produções industriais pós-Covid; maior demanda de energia devido ao aumento da temperatura; e baixo crescimento da produção de energia hidrelétrica (IEA, 2025a).

Diante desses desafios, as soluções adotadas consistiram, majoritariamente, no uso das energias renováveis. Essas, juntamente com a nuclear, responderam por cerca de 40% da geração total de eletricidade em 2024 (IEA, 2025a), sendo impulsionadas por meio do investimento em energia limpa, que foi quase o dobro daquele realizado em combustíveis fósseis, apesar da distribuição territorial desigual desses recursos financeiros (IEA, 2024b).

Assim, essa desigualdade no acesso a tecnologias de energia limpa surge com outra barreira: enquanto economias avançadas progridem em soluções como hidrogênio verde, captura de carbono e modernização das redes elétricas, outros países ainda enfrentam as limitações financeiras e estruturais que dificultam a expansão dessas tecnologias.

Considerando as particularidades dos países analisados no relatório, o [Quadro 10](#) apresenta algumas soluções para a transição energética.

Quadro 10: Soluções específicas dos países para a transição energética

País	Redução do uso de combustíveis fósseis	Metas para reduzir emissões de GEE	Políticas nacionais sólidas (subsídios e investimentos)	Diversificação da matriz energética e elétrica	Adoção de fontes de energia renovável	Ambiente para inovação
China	●	●	●	●	●	●
Estados Unidos	●	●	●	●	●	●
Índia	●	●	●	●	●	●
União Européia	●	●	●	●	●	●
Brasil	●	●	●	●	●	●

Fonte: elaboração própria (2025).

Nota: ● Ausente ou em retração; ● Solução parcial ou de longo prazo; ● Solução consolidada/presente.

5.2 Boas práticas da transição energética e suas aplicabilidades ao contexto brasileiro

Os países mais bem posicionados no ETI, apesar de suas diferenças, compartilham cinco aspectos essenciais, considerados como boas práticas para avançar na transição energética. Esta subseção apresenta a aplicabilidade dessas práticas no contexto brasileiro, com ênfase nos planos, programas e políticas existentes no país, para identificar aqueles que promovem a transição energética.

- **Sinais políticos claros e estáveis:** Os governos garantem segurança a longo prazo por meio de objetivos climáticos legalmente vinculativos, legislações nacionais e marcos regulatórios multissetoriais. Os planos direcionam os investimentos em todos os setores, enquanto os instrumentos transmitem sinais claros e robustos ao mercado (WEF, 2025).

No Brasil, algumas das principais iniciativas federais com estabilidade legal e política voltadas à garantia da segurança de longo prazo por meio de metas climáticas incluem o Plano Plurianual, a Estratégia Brasil 2050 e o Novo Programa de Aceleração do Crescimento (Novo PAC).

Essas iniciativas possuem uma base legal sólida, estabelecem metas clara, promovem a articulação interministerial e definem orçamentos mais previsíveis, o que é essencial para a confiança dos investidores. Além disso, são orientadas por diretrizes de sustentabilidade, infraestrutura e desenvolvimento industrial, criando um ambiente político e regulatório favorável à implementação de outros programas nacionais voltados à transição energética.

- **Diversificação de energias limpas combinada à eficiência como uma prioridade estratégica:** Os países dependem mais fortemente das energias renováveis e nuclear, e menos dos combustíveis fósseis. Para além, integram a eficiência energética na concepção e planeamento de um projeto.

No Brasil, algumas iniciativas federais que promovem o uso de fontes de energia renováveis são o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o Energias da Amazônia e o de Geração Distribuída. Já algumas que promovem a eficiência energética são o Programa de Eficiência Energética e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

Essas iniciativas atuam na diversificação da matriz elétrica por meio de fontes renováveis e na melhoria da eficiência de produtos elétricos para os consumidores. Além disso, fomentam a descarbonização dos setores brasileiros, contribuindo a redução de GEE. O país também possui iniciativas para a produção e consumo de combustíveis sustentáveis, para que esses se tornem aptos a substituir os fósseis, por exemplo, no setor de transportes. São algumas dessas iniciativas o Programa Nacional do Hidrogênio, o Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, o Combustível do Futuro e a Política Nacional de Biocombustíveis.

- **Infraestruturas modernas para sistemas energéticos seguros e flexíveis:** Os governos fortalecem a resiliência energética ao modernizar a infraestrutura das redes e integrar tecnologias digitais. Logo, combinam a expansão da energia limpa com investimentos em flexibilidade, armazenamento e interconexão.

No Brasil, o Novo PAC fomenta as transições ecológica e energética por meio de investimentos estratégicos. A partir desses, o programa estimula o desenvolvimento de tecnologias para geração e armazenamento de energia com baixa emissão de carbono; a ampliação do parque de geração elétrica; a universalização do acesso à energia elétrica; e a expansão e modernização do Sistema Interligado Nacional para integrar as fontes renováveis.

- **Estratégia industrial forte com alto investimento em tecnologias limpas:** Os governos articulam metas climáticas e estratégias econômicas ao promover políticas industriais ecológicas com elevados investimentos público-privados em inovação e comercialização de tecnologias, como hidrogênio, armazenamento de energia e redes inteligentes.

O Brasil possui iniciativas que propiciam a reindustrialização com foco na transição industrial verde e na modernização tecnológica, promovendo a competitividade e a sustentabilidade. São exemplos a Estratégia Nacional de Economia Circular, a Estratégia Nacional de Propriedade Intelectual, e a Nova Indústria Brasil com a missão “Bioeconomia, descarbonização e transição e segurança energéticas para garantir os recursos para as gerações futuras”.

Nessa missão são incentivadas a inovação tecnológica, a qualificação de profissionais e a produção nacional de equipamentos para a geração de energia renovável. Assim, a iniciativa busca aproveitar as vantagens competitivas do país e impulsionar sua presença qualificada no mercado internacional, apresentando-se como uma estratégia para a nação.

- **Confiança social e desenho de uma transição justa:** Promoção e manutenção do apoio público a partir da adoção de impostos ambientais, associados a sistemas de proteção social e a mecanismos que garantam o acesso equitativo a tecnologias limpas.

No Brasil, o apoio público no desenho de políticas é essencial e viabilizado por meio de consultas públicas, gerando maior confiança social nesse processo. Além disso, existem iniciativas nacionais com foco no desenvolvimento em sinergia com a inclusão social de grupos desfavorecidos, como o Programa Minha Casa, Minha Vida e o Programa Gás para Empregar. Dentre os mecanismos que incentivam práticas sustentáveis, destacam-se o Selo Verde Brasil, o Selo Amazônia e o Selo Biocombustível Social. Esses certificados agregam valor aos produtos, ao atestarem sua sustentabilidade e/ou contribuição para inclusão social, gerando benefícios tanto para os produtores quanto para os consumidores.

Por fim, a Política Nacional de Transição Energética configura-se como um marco relevante para o desenho de uma transição justa, visto que objetiva promover a coordenação da transição brasileira, combater a pobreza energética e garantir o acesso a serviços energéticos de qualidade.

5.3 Caminhos futuros para a colaboração internacional

A colaboração internacional é fundamental para viabilizar a transição energética global, como evidencia a elaboração de planos e acordos multilaterais como o Acordo de Paris, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, o *Mission Innovation* e o *Powering Past Coal Alliance*.

Destaca-se, igualmente, a atuação efetiva de organizações internacionais, como a IEA, a IRENA, a UN, o GCF e o WBG, cuja contribuição é estratégica para a transição energética. Essas instituições desempenham papel central na elaboração de políticas públicas, mecanismos de financiamento e na disseminação de conhecimento teórico para a consolidação de sistemas energéticos acessíveis, resilientes e confiáveis.

Embora muitos países, organizações e atores internacionais tenham adotado iniciativas de forma isolada, a cooperação entre eles permanece um fator-chave para impulsionar e acelerar a transição energética, ainda que este represente um desafio considerável. Isso ocorre porque a transição pode implicar, sobretudo em fases iniciais,

em custos elevados para os governos adotarem novas tecnologias, modernizarem as infraestruturas e resguardarem o meio ambiente.

Nessa perspectiva, é fundamental que os países e blocos econômicos atuem de maneira coordenada, especialmente na adoção de fontes de energia limpa e na descarbonização. Também é essencial que eles avancem na incorporação de tecnologias emergentes, no estímulo a investimentos e subsídios, e em outras ações estratégicas previstas nos acordos internacionais.

Em 2025, o setor energético registrou obstáculos relevantes, entre os quais se destaca a restrição dos esforços dos Estados Unidos, país de grande influência global, no avanço da transição energética. Esse posicionamento tem provocado preocupação no cenário internacional, sobretudo porque o governo norte-americano, amparado por sua autoridade geopolítica, vem adotando discursos contrários às energias renováveis, aos veículos elétricos e à suposta necessidade de manter o uso de combustíveis fósseis.

Em contrapartida, países da União Europeia e de outras regiões, alavancam o panorama internacional na busca pela transição, visto que têm logrado sucesso na implementação de seus planos de ação. Esse fato evidencia a determinação de alguns países em manter os esforços para a transição energética, mesmo diante de desafios, como os financeiros e tecnológicos.

Diante desse cenário e da urgência em adaptar os sistemas energéticos frente às mudanças climáticas, é necessário que os líderes globais compreendam que a transição energética só será eficaz se realizada de maneira coordenada e integrada. O avanço isolado de um único país não garante êxito diante dos acordos internacionais e da crise climática, ao contrário do progresso conjunto de múltiplas nações. Dessa maneira, a colaboração internacional garantirá que países avançados, emergentes e em desenvolvimento tenham acesso às mesmas tecnologias e iniciativas, permitindo que todos usufruam conjuntamente dos benefícios que essas promovem. Assim, a transição energética poderá se tornar uma realidade possível para todos.

6. Conclusão

A transição energética global, embora promissora enquanto resposta ao aquecimento global, enfrenta barreiras nas dimensões geopolítica, econômica, tecnológica, climática e comercial. Os acontecimentos de 2024 afetaram o cenário energético de 2025, no qual foi evidenciada a fragilidade dos sistemas energéticos diante de eventos climáticos extremos e de contextos desiguais entre países e blocos econômicos.

As economias avançadas reduziram a participação de fontes fósseis de energia em suas matrizes energéticas e ampliaram os investimentos em fontes limpas e em tecnologias inovadoras. No entanto, economias emergentes e em desenvolvimento, principalmente as do território asiático, permaneceram dependentes dessas fontes poluentes devido às limitações financeiras e tecnológicas.

Como exemplo, o declínio da demanda por carvão e o fechamento de usinas termelétricas a carvão na União Europeia contrastam com o aumento do consumo de gás natural e carvão na Ásia. Esse aumento foi impulsionado pelo crescimento urbano e econômico da região, bem como pela maior demanda por eletricidade para resfriamento decorrentes das temperaturas recordes e ondas de calor.

A desigualdade territorial na adoção de soluções mais sustentáveis e na descarbonização de setores da economia é um dos principais entraves para a consolidação da transição energética justa e efetiva. Além disso, a piora na intensidade energética e a concentração dos investimentos em energia limpa em determinados países evidencia a necessidade de mecanismos mais equitativos de financiamento por meio da cooperação internacional.

Embora muitos fossem os desafios, nos últimos anos, avanços também foram observados: as energias renováveis lideraram o crescimento da oferta energética em 2024, enquanto a agenda da transição energética foi integrada às políticas nacionais. Assim, foi possibilitada a implementação de metas claras e estáveis, a maior diversificação de fontes energéticas, o aprimoramento da eficiência energética, a modernização da infraestrutura energética, bem como a promoção da confiança social.

No Brasil, esse avanço pode ser reconhecido nos planos, programas e políticas implementados ou em fase de elaboração. Esses têm priorizado a segurança energética em sinergia com os objetivos climáticos a partir do alinhamento das estratégias com o apoio social e o desenvolvimento econômico.

Por fim, observou-se que os países vêm implementando medidas alinhadas a planos e acordos multilaterais, reforçando a integração entre sustentabilidade ambiental e energética, equidade social, inovação tecnológica e infraestrutura moderna. Essas dimensões são fundamentais para garantir uma transição energética segura, acessível, ambientalmente responsável e coordenada, capaz de beneficiar toda a população.

Referências

Bureau of Energy Efficiency (BEE). (2024a). *About BEE*. bit.ly/477qZCw

Bureau of Energy Efficiency (BEE). (2024b). *Energy Conservation Building Code (ECBC)*. bit.ly/4gWaVqC

California Air Resources Board (CARB). (2018). *AB 32 Global Warming Solutions Act of 2006* [Fact sheet]. bit.ly/46Mzdyz

Carbon Market Watch (CMW). (2024). *EU ETS 101: A beginner's guide to the EU Emissions Trading System (2024 Update)*. bit.ly/42jQ8HA

Central Electricity Authority (CEA). (2007). *CEA Grid Connectivity Regulations* [PDF] bit.ly/4nYKFOz

Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA). (2024). *Analysis: Clean energy was top driver of China's economic growth in 2023*. bit.ly/4pNI9xH

Clean Energy Wire (CEW). (2024). Q&A: How will Germany support the expansion of renewables in future? bit.ly/46KuQnG

Climate Action Tracker (CAT). (2025). *USA - Policies & Action*. *Climate Action Tracker*. bit.ly/4mErOqV

Comissão Europeia. (s.d.). *REPowerEU*. bit.ly/46yM6gY

Congress.gov. (2025). *H.R.1 - One Big Beautiful Bill Act 119th Congress (2025-2026)*. bit.ly/46N1ogJ

Empresa de Pesquisa energética (EPE). (2024). *Matriz Energética e Elétrica*. bit.ly/48cWFHF

Energy Transitions Commission (ETC). (2025). *Global trade in the energy transition: Principles for clean energy supply chains & carbon pricing*. bit.ly/48IDjdA

Environmental Protection Agency (EPA). (2007). *Summary of Inflation Reduction Act provisions related to renewable energy*. bit.ly/46yhagJ

European Commission (EC). (2024). *Delivering the European Green Deal*. bit.ly/3VI9fHz

European Environment Agency (EEA). (2025). *Share of energy consumption from renewable sources*. bit.ly/4pWTc6E

European Environment Agency (EEA). (2024). *Trends and projections in Europe 2024 (EEA Report No. 11/2024)*. bit.ly/3VMVwiK

European Parliament & Council of the European Union (EP & CEU). (2009). *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources*. bit.ly/4gNgc3y

European Parliament & Council of the European Union (EP & CEU). (2018). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*. bit.ly/4pWIGw8

European Parliament & Council of the European Union (EP & CEU). (2023). *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 on renewable energy targets and rules*. bit.ly/3WigZ30

European Commission (EC). (2025, November 5). Commission unveils the Sustainable Transport Investment Plan: A strategic approach to boost renewable and low-carbon fuels for aviation and waterborne transport. Directorate-General for Mobility and Transport. bit.ly/4vu7e1U

European Parliament (EP). (2024a). *Briefing: Energy transition*. bit.ly/48hQ4Mh

European Parliament (EP). (2022). *China's climate change policies: State of play ahead of cop27*. bit.ly/46MFV7J

European Parliament (EP). (2024b). *Energy transition*. bit.ly/49tpMq0

Eurostat. (2024). *Renewable energy statistics*. bit.ly/4mNAqfc

Green Climate Fund (GCF). (s.d.a). About GCF. bit.ly/4gUYXh5

Green Climate Fund (GCF). (s.d.b). Project Portfolio. bit.ly/4oOH2HY

Greenpeace East Asia. (2025). *Why 2025 is such a critical year for China's energy transition*. bit.ly/48QQclQ

Hove, A. (2020). *Trends and contradictions in China's renewable energy policy*. Center on Global Energy Policy, Columbia University. bit.ly/48L7hxD

India Brand Equity Foundation (IBEF). (2025). *India's renewable energy growth: Solar power & more*. bit.ly/3lTh1LI

India Briefing. (2024). *Accelerated depreciation of solar power assets in India*. bit.ly/46UY97d

International Carbon Action Partnership (ICAP). (2023). *EU adopts landmark ETS reforms and new policies to meet 2030 target*. bit.ly/4mRkMEI

International Carbon Action Partnership (ICAP). (2024). *EU emissions trading system*. (EU ETS). ICAP ETS Map Factsheet No. 43. bit.ly/3KvwPFO

International Energy Agency (IEA). (2024a). *Accelerated depreciation tax benefit - Policies*. bit.ly/4nzx2FT

International Energy Agency (IEA). (2023). *Clean Energy Transitions Programme* [PDF]. bit.ly/4nzPzSt

International Energy Agency (IEA). (2025a). *Global Energy Review 2025* [PDF]. bit.ly/42jyy6r

International Energy Agency (IEA). (2025b). *Inflation Reduction Act of 2022*. bit.ly/3RP7zx1

International Energy Agency (IEA). (2025c). *Renewable Energy Law of the People's Republic of China*. bit.ly/3RDYDKX

International Energy Agency. (IEA) (2021). *Tariff Policy 2006*. bit.ly/4wXwcrq

International Energy Agency (IEA). (s.d.a). *Energy mix*. bit.ly/4ocDbci

International Energy Agency (IEA). (s.d.b) *The International Energy Agency (IEA) works with governments and industry to shape a secure and sustainable energy future for all*. bit.ly/4dDINbJ

International Energy Agency (IEA). (2024b). *World Energy Investment 2024*. bit.ly/3PzanOh

International Energy Agency (IEA). (2024c). *World Energy Outlook 2024*. bit.ly/3Q5ydRT

International Renewable Energy Agency (IRENA). (s.d.a). *IRENA Publications*. bit.ly/4wNFVAy

International Renewable Energy Agency (IRENA). (s.d.b). *IRENA Vision and Mission*. bit.ly/4u65nyL

Invest India. (2025). *Investment opportunities in renewable energy*. bit.ly/4vCoL7R

Ministry of New and Renewable Energy. (2025). *Pradhan Mantri Kisan Urja Suraksha evam Utthaan Mahabhiyaan (PM KUSUM)*. bit.ly/4wWWj1D

Ministry of Power (MP). (2005). *National Electricity Policy*. bit.ly/4u8l4FI

Mission Innovation. (s.d.). *Catalysing clean energy solutions for all*. bit.ly/3RSfd9U

Myllyvirta, L., Qin, Q., & Qiu, C. (2025). *Analysis: Clean energy contributed a record 10 % of China's GDP in 2024*. bit.ly/3RBIZJD

Nações Unidas Brasil. (2015). *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. bit.ly/3PSQf9V

National Development and Reform Commission (NDRC); National Energy Administration (NEA). (s.d.) “十四五”现代能源体系规划. “14th Five-Year Plan for a Modern Energy System” (FYP; 2021-2025) [PDF]. bit.ly/4u5mn8f

National Development and Reform Commission (NDRC) - People's Republic of China. (2023a). 产业结构调整指导目录 (2024) 年本. 《产业结构调整指导目录(2024年本)》 2023 年第7号令. bit.ly/3RFf49M

National Development and Reform Commission (NDRC) - People's Republic of China. (2023b). 关于建立煤电容量电价机制的通知(发改价格 (2023) 1501号. 产业结构调整指导目录 (2024 年本. bit.ly/4u89nyG

National Energy Administration (NEA). (2023). *Blue Book on the Development of New Power Systems* [PDF]. bit.ly/4wS9sJn

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (s.d.). *Corporate Average Fuel Economy*. bit.ly/4wZaTWx

National Portal of India – india.gov.in (NPI). (s.d.). *National Green Hydrogen Mission*. bit.ly/3S8pcrK

NDC Partnership. (2024). *The People's Republic of China First Biennial Transparency Report on Climate Change*. bit.ly/4aggGxO

O Biólogo. (2024). *Transição Energética: Biólogos e Biólogas apontam os desafios da descarbonização, maior esperança para deter o aquecimento global* [PDF]. bit.ly/4dESIho

Observer Research Foundation (ORF). (2025). *Budget 2025: Powering India's green energy future*. bit.ly/43HMS8R

Oxford Institute for Energy Studies (OIES). (s.d.). *Emissions trading. In Guide to Chinese climate change policy*. bit.ly/4wTYROA

Oxford Institute for Energy Studies (OIES). (2022). *Guide to Chinese climate policy: Renewable power*. bit.ly/3RQh5ju

Parlamento Europeu (PE). (2024). *Emissões de gases com efeito de estufa por país e setor* (Infografia). bit.ly/4fMzffU

Powell, L., Sati, A., & Tomar, V. K. (n.d.). *Renewable purchase obligations: Unobliging states*. bit.ly/49oDE4Y

Powering Past Coal Alliance. (s.d.a). *What we do*. bit.ly/4a1WG17

Powering Past Coal Alliance. (s.d.b). *Who we are*. bit.ly/4a4nm1h

Sandalow, David; Meidan, Michal; Andrews-Speed, Philip; Hove, Anders; Yue Qiu, Sally; Downie, Edmund. (2022). *Guide to Chinese Climate Policy 2022* [PDF]. bit.ly/3Sa4dVt

Satiksmes ministrija. (2025). *Rīgas un Pierīgas sabiedriskā transporta sistēmas modernizācija un zaļināšana*. bit.ly/3RBiB9i

Schuman, S., & Lin, A. (2012). *China's renewable energy law and its impact on renewable power in China: Progress, challenges and recommendations for improving implementation*. *Energy Policy*, 51, 89–109. bit.ly/4333kk2

Solarbe Global. (2024). *China to offer over 2.7 billion subsidies for wind, solar power*. bit.ly/3S8pChO

SolarQuarter. (2024). *PM-KUSUM scheme implementation guidelines unveiled, propelling agriculture towards sustainable energy transformation*. bit.ly/4vnabAV

Strategic Energy Europe (SEE). (2025). *In 2025, Over 21 GW Up for Grabs: Europe's Renewable Auctions by Country and Technology*. bit.ly/4vfMvyb

The State Council The People's Republic of China (TSCC). (2021a). *Action Plan for Carbon Dioxide Peaking Before 2030*. bit.ly/3RFUF4s

The State Council The People's Republic of China (TSCC). (2021b). *China to lift subsidies for new photovoltaic, onshore wind power projects*. bit.ly/4uEG3kv

The State Council The People's Republic of China (TSCC). (2021c). *Working Guidance for Carbon Dioxide Peaking and Carbon Neutrality in Full and Faithful Implementation of the New Development Philosophy*. bit.ly/4dleYp6

The White House. (s.d.). *Energy Dominance*. bit.ly/3Pt2jyA

The White House. (2025). *Fact Sheet: President Donald J. Trump Ends Market Distorting Subsidies for Unreliable, Foreign-Controlled Energy Sources*. bit.ly/4wYOAIE

The White House (2022). *Inflation Reduction Act Guidebook*. bit.ly/4nTTtX8

United Nations (UN). (s.d.a). *About Us*. bit.ly/43BwgQd

United Nations (UN). (s.d.c). *Our Work*. bit.ly/4dzKqqY

United Nations (UN). (2025). *The Sustainable Development Goals Report 2025* [PDF]. bit.ly/4nYfgNA

United Nations Development Programme (UNDP). (s.d.). *UNDP*. bit.ly/4uDtOV8

United Nations Environment Programme (UNEP). (s.d.). *About us*. bit.ly/4uGtKUX

United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments*. bit.ly/3RzT7sN

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (s.d.a). *About the secretariat*. bit.ly/4nYfog2

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (s.d.b). *The Paris Agreement*. bit.ly/4fQbC69

World Bank Group (WBG). (s.d.a). *Energy*. bit.ly/4fgqlan

World Bank Group (WBG). (s.d.b). *Open Knowledge Repository*. bit.ly/43B71NQ

World Bank Group (WBG). (s.d.c). *Who We Are*. bit.ly/4v8ZOAK

World Economic Fórum (WEF); Accenture. (2025). *Accelerating India's Energy Transition through Industrial Clusters. India Briefing Paper*.

World Economic Forum (WEF). (2018). *China is a renewable energy champion. But it's time for a new approach*. bit.ly/3RSpGCd

World Economic Forum (WEF). (2025). *Fostering Effective Energy Transition 2025 Insight* [PDF]. bit.ly/49sH8mS

World Meteorological Organization (WMO). (2025). *State of the Global Climate 2024*. bit.ly/4wSaFjT

WRI Brasil. (2024). *Os países que mais emitiram gases de efeito estufa*. bit.ly/4uGudXd

Zhang, J. (2023). *China lays out new scheme for green electricity certificate*. bit.ly/3PTI5z3

Zhang, L. (2009). *China: Renewable Energy Law amended*. bit.ly/3PwnbVH

