

Existe energia limpa? Desafios das estratégias de transição energética para o setor elétrico brasileiro



Clarice Campelo de
Melo Ferraz*

Resumo: A transição energética consiste na mudança da base de recursos do sistema energético. Para enfrentar os desafios contemporâneos da grave crise ecológica e do combate à pobreza e às desigualdades, é preciso sair de um sistema baseado na queima de energias fósseis, que ameaça o equilíbrio biofísico do planeta, para outro livre de emissões poluentes. Nesta configuração, o setor elétrico assume um papel central, pois deverá ser capaz de suprir as necessidades energéticas e garantir a segurança de abastecimento a preços acessíveis.

O setor elétrico brasileiro (SEB) passa por transformações de diversas ordens – tecnológica, institucional, comercial, regulatória e industrial – que afetam sua sustentabilidade econômica e a segurança de abastecimento, impondo maiores custos e ameaçando a disponibilidade de energia elétrica para a sociedade. O sucesso de uma transição ecológica justa e o padrão de desenvolvimento que o País terá nos próximos anos dependem da qualidade das transformações em curso. Neste artigo examinamos alguns dos desafios do setor elétrico, que precisa se expandir rapidamente para atender à crescente demanda por eletricidade. O aumento do consumo é consequência da eletrificação dos usos energéticos, dos aumentos de temperaturas, dos padrões de consumo e de novas demandas intensivas como os datacenters e as plantas de produção de hidrogênio.

*Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro EQ UFRJ.

Palavras-chave: Transição energética, justiça, equilíbrio ecológico, pontos de não retorno.

A necessidade de uma transição energética ecológica

Em 2023, uma equipe de cientistas quantificou, pela primeira vez, nove processos de mudança global em que as atividades humanas afetam o funcionamento do sistema terrestre estável e resiliente, chamados de “os pontos de não retorno” ou “limites planetários”. O clima é um deles (STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE, 2023).

De acordo com o painel de cientistas, ultrapassar qualquer um dos limites planetários – mudanças climáticas; poluição química; depleção do ozônio estratosférico; carga de aerossóis atmosféricos; acidificação dos oceanos; modificação dos fluxos biogeoquímicos; perda de água doce; mudanças do uso do solo; e a perda de biodiversidade – aumenta o risco de mudanças ambientais abruptas ou irreversíveis em larga escala. Esses limites são interdependentes e podem criar ciclos de retroalimentação capazes de acelerar o aquecimento do planeta ou alterar os padrões climáticos, com consequências desconhecidas, mas potencialmente catastróficas, para a vida na Terra (THE GUARDIAN, 2025).

O ano de 2025 marca o décimo aniversário da ratificação do Acordo de Paris, que preceitua uma série de medidas a fim de limitar o aquecimento do planeta a menos de 2°C, e do estabelecimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que, a partir de 17 metas, estruturam o combate à pobreza, a proteção do meio ambiente e do clima para que as pessoas, possam viver em paz e com prosperidade (ONU, 2015). Ambos foram estabelecidos a partir da constatação científica de que seis limites biofísicos do planeta estão sendo transgredidos, e outros estão prestes a sê-lo, se os padrões atuais de emissões não forem rapidamente desacelerados.

A transgressão de cada limite traz efeitos sistêmicos que, embora conectados, têm sido tratados de forma isolada. Por exemplo, a crise climática tratada no Acordo de Paris está profundamente relacionada à crise da biodiversidade (BORAN e PETTORELLI, 2024), que sustenta o funcionamento dos ecossistemas e os diversos benefícios que a natureza proporciona às pessoas. Essas crises estão interligadas e representam uma ameaça à segurança energética e alimentar, às infraestruturas, aos recursos hídricos, à estabilidade financeira e à saúde das pessoas (VANHAM, 2024). No coração dos dois pactos internacionais, se encontra o setor de energia, origem do problema e insumo essencial para a vida humana. Assim, qualquer tomada de decisão sobre a sustentabilidade da transição energética deve considerar o limite do clima de forma integrada aos demais limites.

Nesse contexto, a transição energética contemporânea é distinta dos processos históricos precedentes que podem ser caracterizados como a mudança da base de recursos energéticos sobre a qual se estruturam as atividades produtivas. Ao longo do tempo, a humanidade passou do uso da lenha para o carvão e outros combustíveis, sempre em busca de fontes com maior densidade energética, relacionados a aumentos da produtividade da economia. Desta vez, o desafio é amplificado pela identificação de diversas restrições à passagem de um sistema energético intensivo em emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis para um sistema de baixas emissões poluentes.

Para evitar o agravamento da crise ecológica, cientistas (IPCC, 2022), mostraram ser necessário alterar o padrão de produção (oferta) e de consumo (demanda) de energia. Assim, do lado da oferta, a redução da queima de combustíveis fósseis passa pela eletrificação de usos energéticos e a necessidades de expandir a geração de eletricidade a partir de fontes consideradas renováveis, além de ganhos de eficiência das tecnologias empregadas no setor. Do lado da demanda, é preciso que o setor de transportes e o setor industrial convertam sua infraestrutura para renunciar ao consumo de combustíveis fósseis.

A descarbonização do SEB

A pressão pela expansão do uso de eletricidade a partir de fontes livres de emissões poluentes provocou uma rápida expansão da capacidade de geração eólica e solar, alterando profundamente o padrão de operação e de expansão do setor elétrico.

Com efeito, essas fontes possuem atributos muito distintos das usinas alimentadas por fontes geradoras tradicionais. Como são geradas a partir de recursos não estocáveis, ao contrário da água nos reservatórios das usinas hidrelétricas ou dos combustíveis para alimentar as termelétricas, são marcadas pela dependência da disponibilidade do recurso, marcada por imprevisibilidade e por variabilidade. Essas especificidades trazem uma série de dificuldades e aumentam a complexidade da operação e da expansão do sistema.

Outra diferença fundamental se dá na conexão às redes. Durante mais de um século, o sistema elétrico foi construído com base em geradores síncronos, alimentados por turbinas hidráulicas, ou termelétricas, que fornecem inércia e energia reativa, essenciais à estabilidade das redes e à garantia de suprimento. A ruptura é radical. Os aerogeradores e os painéis fotovoltaicos são diferentes: se conectam ao sistema elétrico por meio de inversores que não fornecem elementos essenciais para o equilíbrio do sistema. Em função dessas diferenças de atributos, sistemas elétricos com alta participação de fontes com essas características devem garantir a existência de elementos de flexibilidade que possam atender aos requisitos de estabilidade da rede.

De acordo com o Relatório bienal sobre riscos emergentes estruturais e operacionais do *North American Electric Reliability Corporation* (NERC, 2023), a mudança no mix de geração — impulsionada pelo aumento da penetração das fontes de geração conectadas por inversores — é o risco mais crítico para a confiabilidade do sistema. Em sua revisão histórica dos apagões é revelado um declínio progressivo na resiliência dos sistemas elétricos, definida como a capacidade de suportar e mitigar a extensão, a gravidade e a duração da degradação do sistema após eventos de baixa probabilidade e alto impacto.

O desafio da reestruturação do lado da oferta é ampliado pelos efeitos das mudanças climáticas, que afetam o funcionamento dos equipamentos elétricos, aumentando as perdas elétricas e o desgaste dos equipamentos.

Do lado da demanda, esses efeitos se traduzem em uma aceleração de seu crescimento, relacionada à maior necessidade de climatização, sobretudo durante as ondas de calor (OMM, 2024).¹

Como mostra o gráfico abaixo, os anos de 2023 e 2024 foram, sucessivamente, os mais quentes registrados na história. Além dos recordes, foi destacado que o aumento das temperaturas enfrenta uma nova aceleração de efeitos ainda desconhecidos. O aumento das emissões poluentes conheceu trajetória semelhante. Conseqüentemente, os eventos extremos são cada vez mais frequentes e têm se agravado, mostrando como a crise climática e os eventos extremos se retroalimentam. Os impactos econômicos e sociais são tremendos.

1. O relatório anual da Organização Meteorológica Mundial (OMM), *Global Annual to Decadal Climate Update (2025–2029)* projeta que as temperaturas globais devem continuar em níveis recordes ou próximos a eles nos próximos cinco anos, aumentando os riscos climáticos e os impactos nas sociedades, economias e desenvolvimento sustentável. Se continuar aumentando linearmente, poderemos atingir +2°C globalmente na década de 2030. Grandes desastres são esperados em tal clima, e devemos nos preparar para eles imediatamente. Neste contexto, a adaptação se torna uma prioridade absoluta. <https://wmo.int/publication-series/wmo-global-annual-decadal-climate-update-2025-2029>

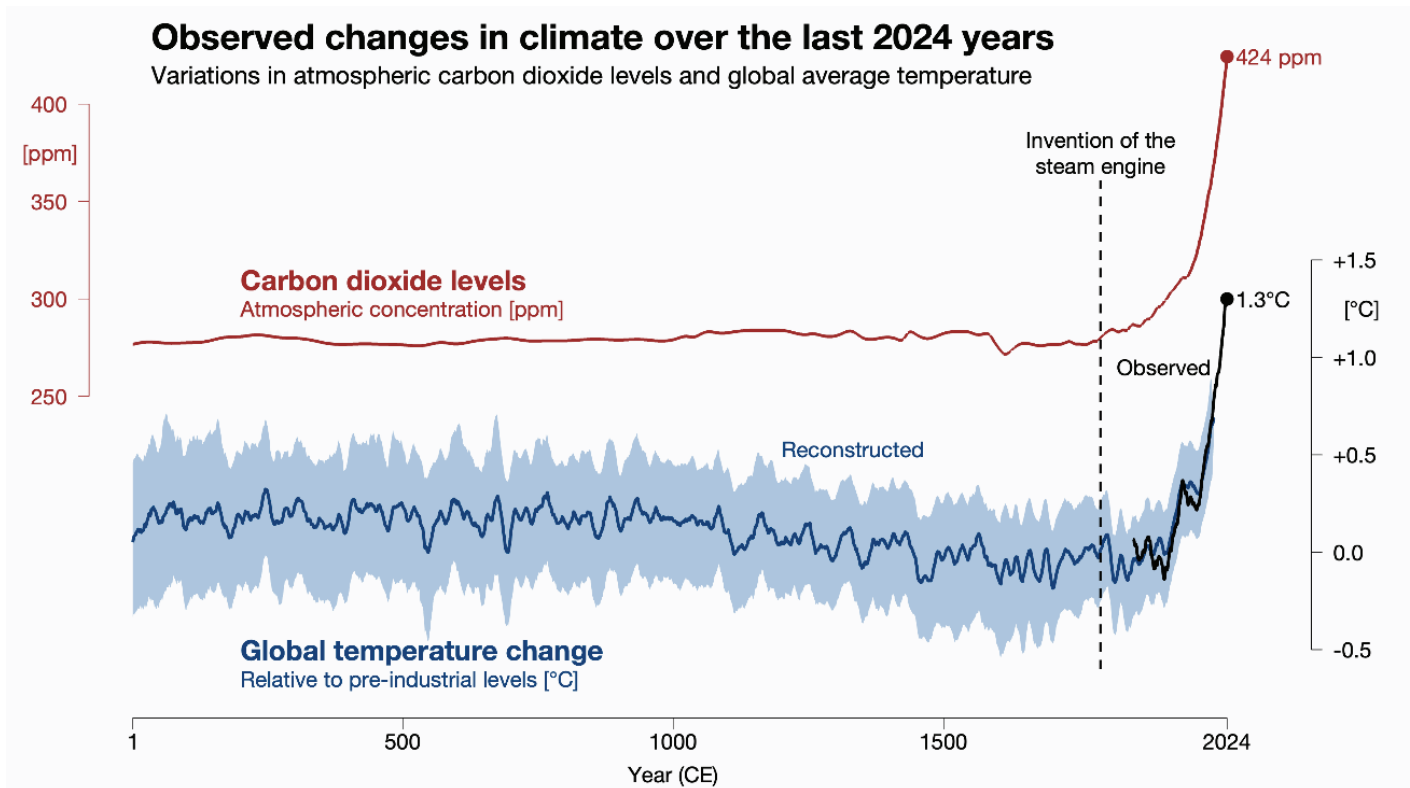


Figura 1. Mudanças climáticas observadas nos últimos 2024 anos. Fonte: HAWKINS, 2024.

As transformações no setor e a necessidade de expansão do sistema provocam uma crescente inflação das tarifas de eletricidade, reduzindo o poder de compra das famílias e a competitividade da indústria. O grau de acesso à eletricidade é cada vez mais determinante do nível de empregos e da qualidade de vida das pessoas.

O desafio de atender a demanda e garantir a segurança de abastecimento é intensificado pela emergência e difusão de novas tecnologias que consomem muita eletricidade, como os datacenters a serviço da inteligência artificial, e a geração de hidrogênio a partir de eletrolisadores.

Diante dessas evidências, surge a preocupação com a justiça social no processo de transição energética, pois os elevados custos envolvidos podem levar à exclusão econômica da maior parte da população do acesso a esse insumo essencial. Esse é um dos fatores definidores da pobreza energética, que envolve dimensões de qualidade do acesso à eletricidade, socioeconômicas e regionais.²

Dessa forma, os desafios relacionados à transição energética contemporânea estão relacionados à manutenção do equilíbrio biofísico do planeta e ao grau de desenvolvimento econômico e social. A transição energética justa é determinante para o futuro da democracia e deve zelar pela equidade na qualidade do acesso e nos impactos da alteração da matriz elétrica. A falta de planejamento fruto da desestruturação do SEB inviabiliza a transição energética do Brasil.

2. De acordo com a Política Nacional de Transição Energética (MME), a pobreza energética é definida como a “situação em que domicílios ou comunidades não têm acesso a uma cesta básica de serviços energéticos ou não têm plenamente satisfeitas suas necessidades energéticas.”

Referências

BORAN, I.; PETTORELLI, N. The Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework and the Paris Agreement need a joint work programme for climate, nature and people. **Journal of Applied Ecology**, v. 00, p. 1–9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14721>.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **European Climate Risk Assessment (EUCRA)**. 2024. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment/european-climate-risk-assessment/@@download/file>. Acesso em: 9 jul. 2025.

HAWKINS, E. **Climate Visuals: Indicators**. [S.l.], [2024]. Disponível em: <https://ed-hawkins.github.io/climate-visuals/indicators.html>. Acesso em: 9 jul. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Página oficial**. 2022,. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

NATIONAL ELECTRIC RELIABILITY CORPORATION (NERC). **2023 Long-Term Reliability Assessment**. 2023. Disponível em: https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/NERC_LTRA_2023.pdf. Acesso em: 9 jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Global Annual to Decadal Climate Update (2025–2029)**. 2024. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/wmo-global-annual-decadal-climate-update-2025-2029>. Acesso em: 9 jul. 2025.

STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE. **Planetary Boundaries**. 2023. Disponível em: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>. Acesso em: 9 jul. 2025.

THE GUARDIAN. **Tipping points, climate crisis, expert doomerism and wealth**. 24 jun. 2025. Disponível em: https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2025/jun/24/tipping-points-climate-crisis-expert-doomerism-wealth?CMP=share_btnhttps_url. Acesso em: 9 jul. 2025.

UNITED NATIONS – BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 9 jul. 2025.

VANHAM, D. et al. Understanding the role of biodiversity in the climate, food, water, energy, transport and health nexus in Europe. **Science of The Total Environment**, v. 925, art. 171692, 15 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171692>.

