



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ABNER NÓBREGA MAIA AIRES

**AVALIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO NA ADAPTAÇÃO ÀS METAS
INTERNACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

FORTALEZA

2024

ABNER NÓBREGA MAIA AIRES

AVALIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO NA ADAPTAÇÃO ÀS METAS
INTERNACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Trabalho de conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A255a Aires, Abner Nóbrega Maia.
Avaliação do setor elétrico brasileiro na adaptação às metas internacionais sobre mudanças climáticas /
Abner Nóbrega Maia Aires. – 2024.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira.

1. Energias renováveis. 2. Setor elétrico. 3. Mudanças climáticas. 4. Cenários. 5. Brasil. I. Título.
CDD 628

ABNER NÓBREGA MAIA AIRES

AVALIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO NA ADAPTAÇÃO ÀS METAS
INTERNACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Trabalho de conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovado em: 03 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. José Micael Ferreira da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Francisco Judivan Celestino de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Adonai e Ana Cláudia.
Ao Legolas, um gato estimado.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer a Universidade Federal do Ceará, bem como os projetos que participei em suas dependências. Destes, menciono o PET - Engenharia Ambiental e o laboratório SELAQUA. Eu me senti acolhido e aprendi muito com eles.

Agradeço também ao MEC e a CAPES por terem me proporcionado a experiência única de um intercâmbio na França por meio dos programas Brafitec e Duplo Diploma.

Agradeço a minha família: meu pai e minha falecida mãe, meus irmãos, minha tia, minha avó e nosso falecido gato, que se fizeram presentes e sempre me apoiaram a sua maneira. Também, agradeço a meus familiares adjacentes ou distantes de uma lista exaustiva, cujas companhias sempre são bem-vindas.

Agradeço a meus amigos do Farias Brito. Meus colegas de universidade. Meus amigos de intercâmbio. Meus amigos de outras instituições. Sem todos esses, eu não teria tido ânimo para aproveitar essa fase de minha vida.

Agradeço aos professores do DEHA, que me permitiram aprender muito neste curso. Incluo um agradecimento especial ao meu orientador, que sempre foi muito paciente e empático.

Agradeço a todos aqueles que ainda não foram contemplados, mas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse neste ponto de minha jornada.

Por fim, agradeço a oportunidade de ter escrito este trabalho.

“Em última análise, é a isso que se resume: promover o entendimento e o espírito comum de responsabilidade tão claramente necessários em um mundo dividido.” (BRUNDTLAND, 1987, tradução própria).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a relação entre o setor elétrico do Brasil e seu desempenho no adequamento a discussões internacionais que visam enfrentar as mudanças climáticas, destacando a importância da transição energética no Brasil e sua adoção de fontes mais limpas no fornecimento elétrico. Esta pesquisa inicia com uma revisão de literatura sobre políticas climáticas globais, explorando, nos últimos 50 anos, a evolução das discussões ambientais em conferências mundiais, como Estocolmo-72, ECO-92, Rio+10 e Rio+20, e as diversas edições da Conferência das Partes (COP) até o Protocolo de Kyoto e Acordo de Paris. Esse repertório permite compreender as expectativas sobre o cumprimento das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e o posicionamento do Brasil frente a esses compromissos. O objetivo central deste trabalho é avaliar o progresso do setor elétrico brasileiro em direção às metas de transição energética para 2030 e 2050 estabelecidas pela última COP (28) em 2023, que visam o atendimento às propostas do Acordo de Paris. Dentre essas metas, leva-se em conta a capacidade instalada de geradores de fontes renováveis e a melhoria anual da eficiência energética nacional. A metodologia adotada é uma pesquisa descritiva com abordagem quali-quantitativa. Como meio de análise, esta pesquisa compara o desempenho do Brasil com cenários da Agência Internacional de Energia (IEA), como Zero Emissões Líquidas até 2050 (NZE), Compromissos Anunciados (APS) e Políticas Declaradas (STEPS), destacando desafios e oportunidades. Os resultados indicaram que o Brasil está em uma posição confortável em níveis de capacidade instalada de geração elétrica por fontes renováveis para as metas de 2030, porém com as projeções atuais observadas, ainda faltam fomentos para diminuir a lacuna de ambição até 2050. Além disso, os dados de melhorias na eficiência energética mostraram que o país não apresentou bons resultados em comparação com outros países do G20, não atingindo, de 2010 a 2022, a meta estabelecida pela COP-28 nenhuma vez. Conclui-se que o país precisa declarar até 2025 mais NDCs de longo prazo relacionados a transição energética e a curto prazo em eficiência energética. Este trabalho busca contribuir para a compreensão das complexas relações entre energia, clima e políticas internacionais, ressaltando a necessidade de um planejamento energético integrado que promova uma transição energética sustentável e resiliente para o Brasil.

Palavras-chave: cenários; setor elétrico; mudanças climáticas; Brasil.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the relationship between Brazil's electricity sector and its performance in adapting to international discussions aimed at tackling climate change, highlighting the importance of the energy transition in Brazil and its adoption of cleaner sources in the electricity supply. This research begins with a literature review on global climate policies, exploring the evolution of environmental discussions at world conferences over the last 50 years, such as Stockholm-72, ECO-92, Rio+10 and Rio+20, and the various editions of the Conference of the Parties (COP) up to the Kyoto Protocol and Paris Agreement. This repertoire makes it possible to understand expectations about compliance with the Nationally Determined Contributions (NDCs) and Brazil's position in relation to these commitments. The main objective of this work is to assess the progress of the Brazilian electricity sector towards the energy transition targets for 2030 and 2050 set by the last COP (28) in 2023, which aim to meet the proposals of the Paris Agreement. These targets include the installed capacity of renewable generators and the annual improvement in national energy efficiency. The methodology adopted is a descriptive study with a qualitative and quantitative approach. As a means of analysis, this research compares Brazil's performance with scenarios from the International Energy Agency (IEA), such as Zero Net Emissions by 2050 (NZE), Announced Commitments (APS) and Stated Policies (STEPS), highlighting challenges and opportunities. The results indicated that Brazil is in a comfortable position in terms of installed capacity of electricity generation from renewable sources for the 2030 targets, but with the current projections observed, there is still a lack of incentives to close the ambition gap by 2050. In addition, the data on energy efficiency improvements showed that the country did not show good results compared to other G20 countries, and did not reach the target set by COP-28 once between 2010 and 2022. It is concluded that the country needs to declare more long-term NDCs related to energy transition and short-term NDCs on energy efficiency by 2025. This work seeks to contribute to understanding the complex relationships between energy, climate and international policies, highlighting the need for integrated energy planning that promotes a sustainable and resilient energy transition for Brazil.

Keywords: scenarios; electricity sector; climate change; Brazil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivo.....	12
<i>1.1.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>12</i>
<i>1.1.2 Objetivo Específico.....</i>	<i>12</i>
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (Estocolmo-72)..	14
2.2 Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED).....	15
2.3 Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92).....	18
2.4 Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+10).....	20
2.5 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20).....	21
<i>2.5.1 Fórum Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável (HLPF).....</i>	<i>22</i>
2.6 Conferência das Partes (COP).....	22
<i>2.6.1 Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).....</i>	<i>24</i>
2.7 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).....	25
2.8 Setor Elétrico Brasileiro (SIN/ONS).....	27
2.9 Inventário de Carbono Brasileiro.....	28
2.10 Cenários da International Energy Agency (IEA).....	31
<i>2.10.1 Cenário de Zero Emissões Líquidas para 2050 (NZE).....</i>	<i>31</i>
<i>2.10.2 Cenários de Compromissos Anunciados (APS).....</i>	<i>32</i>
<i>2.10.3 Cenário de Políticas Declaradas (STEPS).....</i>	<i>33</i>
<i>2.10.4 Síntese.....</i>	<i>34</i>
3 METODOLOGIA.....	35
4 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DA IEA EM COMPARATIVO COM O BRASIL.....	37
4.1 Cenário NZE e a Energia Global.....	37
4.2 Situação do Brasil.....	45
4.3 Eficiência energética.....	59
5 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a comunidade internacional tem enfrentado desafios crescentes em relação à preservação do meio ambiente e ao combate às mudanças climáticas. Desde a primeira grande conferência sobre meio ambiente em Estocolmo, em 1972, houve uma evolução significativa nas discussões e compromissos internacionais para integrar sustentabilidade ao desenvolvimento econômico. O relatório da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (UNCHE, 1972) destacou as primeiras preocupações globais com os impactos ambientais de um desenvolvimento desenfreado, abrindo o caminho para o surgimento de novas agendas.

A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, na sigla em inglês), com seu relatório "Nosso Futuro Comum" (WCED, 1987), foi um marco que formalizou o conceito de desenvolvimento sustentável, ligando pela primeira vez o crescimento econômico à preservação ambiental de forma explícita. Posteriormente, a ECO-92 (Cúpula da Terra) solidificou esse compromisso, culminando na Agenda 21 (UNCED, 1992), um plano de ação abrangente que influenciou políticas locais e globais.

Esses eventos prepararam o terreno para a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, sigla em inglês), que desde a primeira Conferência das Partes (COP-1) tem conduzido negociações internacionais em prol da mitigação dos efeitos climáticos. Em conferências subsequentes, como a Rio+10 e a Rio+20, com os respectivos documentos "Declaração de Joanesburgo" (WSSD, 2002) e "O Futuro que Queremos" (UNCSD, 2012), as nações reafirmaram a urgência de ações coletivas para enfrentar a crise climática.

Atualmente, a COP 28 reflete as complexidades contemporâneas, trazendo à tona discussões sobre a transição energética, adaptação e financiamento climático. Esses eventos demonstram uma continuidade de compromissos, mas também evidenciam os desafios e as lacunas que permanecem em atingir as metas estabelecidas para um futuro sustentável.

A urgência de enfrentar as mudanças climáticas tem gerado uma série de estudos científicos e iniciativas setoriais, orientadas para mitigar seus impactos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), em síntese do seu Sexto Relatório de Avaliação (IPCC, 2023), fornece evidências científicas claras sobre o aumento da temperatura global, seus impactos em ecossistemas e populações, e a necessidade de ações rápidas e ambiciosas. As conclusões do relatório reforçam a gravidade dos desafios climáticos e o papel crítico da cooperação internacional para limitá-los.

No Brasil, o Setor Elétrico, coordenado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e operado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), desempenha um papel estratégico na mitigação das emissões de carbono. A busca pela diversificação da matriz energética, com maior participação de fontes renováveis, tem sido um dos principais focos na transição para uma economia de baixo carbono, embora desafios técnicos e de infraestrutura ainda precisem ser superados.

a 6ª Edição de Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (BRASIL, 2022) oferece uma visão abrangente sobre as emissões do Brasil, sendo uma ferramenta essencial para monitorar o progresso do país em relação às suas metas climáticas e ajustar políticas públicas de acordo com os resultados obtidos.

Além disso, a Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) desenvolve cenários globais que projetam diferentes trajetórias energéticas e climáticas. Entre eles, o Cenário de Zero Emissões Líquidas para 2050 (NZE, na sigla em inglês) oferece um caminho para alcançar a neutralidade de carbono, enquanto o Cenário de Compromissos Anunciados (APS, na sigla em inglês) e o Cenário de Políticas Declaradas (STEPS, na sigla em inglês) avaliam as tendências com base em políticas já existentes e compromissos assumidos. Esses cenários fornecem orientações valiosas para o planejamento de longo prazo, permitindo que o setor energético identifique desafios e oportunidades na transição energética. (IEA, 2023d).

Este trabalho tem a intenção de evidenciar o desenvolvimento de políticas internacionais ligadas à sustentabilidade no combate às mudanças climáticas, destacando a participação do Brasil, sobretudo, no setor elétrico, onde a nação é reconhecida pela grande adoção de energias renováveis em sua matriz, além de expor os desafios que o País terá para adequar seu desempenho às metas ambiciosas estabelecidas internacionalmente.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar como o setor elétrico brasileiro pode contribuir para o enfrentamento às mudanças climáticas.

1.1.2 Objetivo Específico

- Analisar a diversificação da matriz energética brasileira com foco em fontes renováveis e níveis de emissão;

- Avaliar o alinhamento do Brasil com os cenários climáticos da Agência Internacional de Energia (IEA) e os compromissos internacionais da COP-28, no que tange o setor elétrico;
- Identificar os principais desafios que o país enfrenta, no setor elétrico, para cumprir as metas de redução de emissões até 2050 e manter sua posição de destaque global na transição energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (Estocolmo-72)

Em 1972, em Estocolmo, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a primeira conferência mundial para tratar sobre o agravamento das condições do meio ambiente. O evento reuniu líderes de 113 países e cerca de 400 organizações não governamentais (ONGs). (UN, [s.d.]a).

Como cita o Relatório da Delegação Brasileira (BRASIL, 1972, v.1, p.4): “A preocupação da comunidade internacional com os assuntos ambientais já então não era nova e se refletia sobretudo nas tendências à racionalização do aproveitamento dos recursos naturais, no planejamento industrial e urbano, e nos esforços no sentido do controle da poluição, sobretudo atmosférica e marinha.”

Pelo indicado no relatório da Delegação, o Brasil manteve, entre os países em desenvolvimento, uma posição de indiscutível liderança: defendendo, de forma intransigente, as prioridades do desenvolvimento, sem prejuízo de uma atenção aos problemas ambientais, tanto a curto como a médio e a longo prazo. (BRASIL, 1972, v.1).

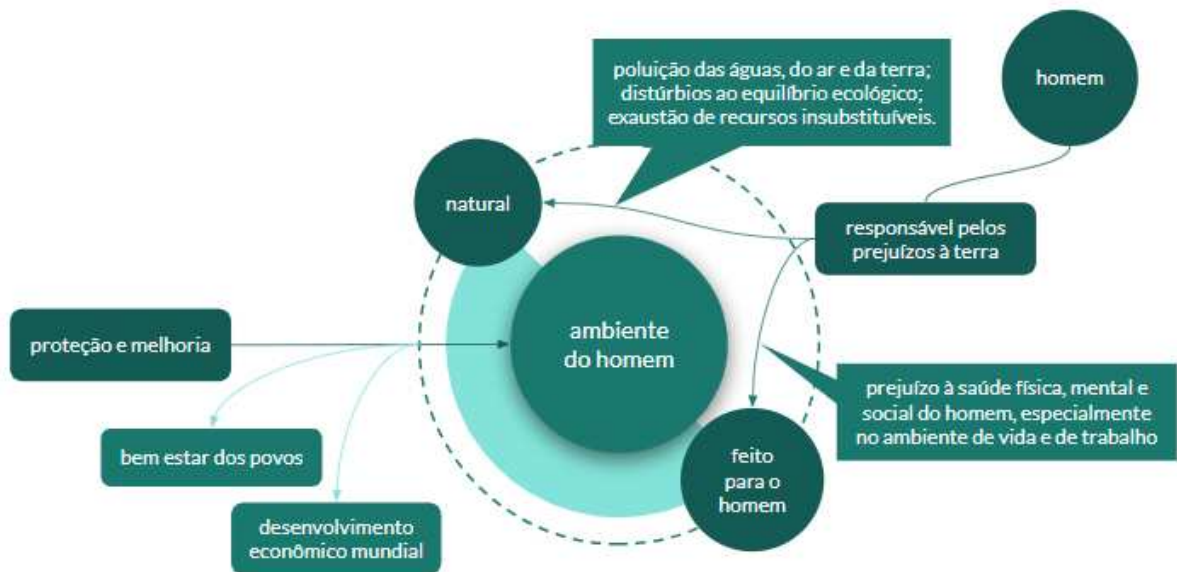
Dentro das proclamações da Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (UNCHE, 1972), pode-se destacar os seguintes:

- Ambos os aspectos do ambiente do homem, o natural e o feito pelo homem, são essenciais para seu bem-estar.
- A proteção e a melhoria do meio ambiente humano são um dos principais assuntos que afetam o bem-estar dos povos e o desenvolvimento econômico em todo o mundo.
- O homem é responsável por prejuízos em muitas regiões da Terra; perigosos níveis de poluição das águas, do ar e da terra; distúrbios grandes e indesejáveis ao equilíbrio ecológico da biosfera; destruição e exaustão de recursos insubstituíveis; e enormes deficiências prejudiciais à saúde física, mental e social do homem, no meio criado pelo homem, especialmente no ambiente de vida e de trabalho.
- Devem os países em desenvolvimento dirigir seus esforços no sentido do desenvolvimento, conscientes de suas prioridades e tendo em mente a necessidade de salvaguardar e melhorar o meio ambiente. Pelas mesmas razões, devem os países industrializados esforçarem-se para reduzir a distância entre eles e os países em desenvolvimento.

- Defender e melhorar o meio ambiente para as gerações atuais e para as futuras tornou-se um fim imperativo para a humanidade – um fim que se deve procurar atingir conjuntamente com os objetivos estabelecidos e fundamentais da paz e do desenvolvimento econômico e social em nível mundial, e em harmonia com eles.

A Figura 1 sumariza as ideias centrais das discussões de Estocolmo-72.

Figura 1 - Fluxograma de discussões em Estocolmo-72



Fonte: autoral.

Além disso, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criado para tratar de assuntos ambientais, é resultado da Conferência de Estocolmo.

2.2 Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED)

Onze anos após a conferência de Estocolmo, em 1983, a Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, na sigla em inglês) foi criada pela Assembleia Geral das Nações Unidas com o objetivo de abordar a crescente preocupação global com a degradação ambiental e seu impacto no desenvolvimento econômico e social. A comissão surgiu da necessidade de encontrar maneiras de equilibrar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental, promovendo um desenvolvimento sustentável, ou seja, que atendesse às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades.

O Relatório Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro em Comum”, tradução de “Our Common Future”, foi lançado em 1987 pela médica e futura

primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland e surgiu durante sua presidência na WCED (1987).

Como indicado na plataforma da ONU sobre Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (UN, [s. d.], tradução própria), o relatório nasceu do desejo da Assembleia Geral das Nações Unidas em propor estratégias de longo termo de sustentabilidade para os anos 2000 e após, em que as nações de diferentes estágios de desenvolvimento econômico e social cooperassem para atingir objetivos comuns tendo em conta as interrelações de pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento.

Apesar das declarações feitas em Estocolmo-72 e do posicionamento político de grandes líderes em remediação de desastres ambientais, o conceito de sustentabilidade só foi de fato definido de forma rigorosa como uma preocupação atemporal do estado social, econômico e ambiental do planeta após a apresentação do relatório da comissão. O conceito de desenvolvimento sustentável impõe limites baseados nas tecnologias atuais, no arranjo social em torno dos recursos ambientais e na capacidade da biosfera de absorver os impactos das ações humanas.

O relatório foi publicado no final da guerra fria e alguns eventos desastrosos já eram enfoque da imprensa da época, dentre eles: a seca e o atraso do desenvolvimento no continente africano; vazamento de pesticidas de fábricas em Bhopal na Índia; explosão de tanques de gasolina no México; explosão da usina nuclear de Chernobyl; poluição por químicos e metais pesados do Rio Reno após incêndio em armazém na Suíça.

O relatório mostra que durante a década de 1970, duas vezes mais pessoas sofreram com desastres "naturais" que durante a década de 1960. Os desastres diretamente relacionados à má gestão ambiental e ao desenvolvimento, como secas e inundações, impactaram a maior parte da população de forma crescente. (WCED, 1987).

É interessante mencionar que o relatório (WCED, 1987) critica a conduta dos “tomadores de decisão”, uma vez que devido a idade e a posição econômica-social, eles serão os menos afetados pelos impactos ambientais oriundos da má gestão. Segundo o relatório, quem mais terá a perder serão as gerações futuras.

Como mostra a Figura 2, fazem 37 anos desde a publicação do relatório. Tempo suficiente para a geração seguinte ocupar os novos cargos de liderança que decidem o caminho que o mundo seguirá.

Figura 2 - Fluxograma de discussões da WCED



Fonte: autoral.

A Comissão argumenta que a pobreza generalizada não é mais algo inevitável. Um mundo onde a pobreza persiste estará constantemente sujeito a desastres ecológicos e outras crises. Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário garantir que todos tenham suas necessidades básicas atendidas e possam buscar melhores condições de vida, uma vez que a pobreza não é apenas um problema em si, mas também um obstáculo para o desenvolvimento.

Um dos dados apresentados no relatório (WCED, 1987) era uma previsão para 2025 onde se discute que na intenção de industrializar os países em desenvolvimento tal qual o nível de países já desenvolvidos, seria necessário aumentar o uso de energia em um fator de 5. O ecossistema planetário não suportaria isso, especialmente se os aumentos fossem baseados em combustíveis fósseis não renováveis.

O relatório foi publicado em um período que as mudanças climáticas eram apenas uma possibilidade, mas deixa claro que existia uma preocupação forte com as consequências desastrosas.

Os riscos ambientais e as incertezas de um futuro de alta energia eram preocupantes e geraram várias discussões. Quatro delas se destacam (WCED, 1987):

- a séria probabilidade de mudança climática gerada pelo "efeito estufa" dos gases emitidos para a atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO₂) produzido pela combustão de combustíveis fósseis;
- poluição do ar urbano-industrial causada por poluentes atmosféricos provenientes da combustão de combustíveis fósseis;
- acidificação do meio ambiente pelas mesmas causas;

- e riscos de acidentes com reatores nucleares, os problemas de descarte de resíduos e desmantelamento de reatores após o término de sua vida útil e os perigos de proliferação associados ao uso da energia nuclear.

A comissão da época concluiu que considerar as mudanças climáticas como uma possibilidade séria era essencial. Decisões significativas, como a gestão de recursos hídricos, incluindo irrigação e energia hidrelétrica, o enfrentamento de secas, o uso de terras agrícolas, projetos de engenharia costeira e o planejamento energético, estavam sendo feitas com base na premissa de que os padrões climáticos históricos seriam um guia confiável para o futuro. No entanto, essa suposição já não era mais adequada, pois os dados climáticos passados, sem ajustes, não garantiam mais previsões precisas para as condições futuras. (WCED, 1987).

O relatório retoma as declarações feitas em Estocolmo-72 que responsabilizam o homem por suas ações que impactam o meio ambiente e frisam a necessidade de preservar a natureza pelo bem da humanidade e garantir o desenvolvimento sustentável global. O documento se encerra com uma síntese de ações que as nações deveriam adotar para tratar as questões ambientais, reforçando sempre a necessidade de desenvolvimento sustentável, monitorando os impactos da atuação humana e recompensando aqueles que são diretamente prejudicados por essa atuação.

2.3 Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92)

Em 1992 o Brasil ganhou uma nova visibilidade internacional ao sediar a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, popularmente conhecida como ECO-92. Dois resultados dessa conferência foram a Declaração do Rio e a Agenda 21.

A Agenda 21 (UNCED, 1992) foi criada para enfrentar questões ambientais urgentes e preparar o planeta para os desafios do século 21. Ela representa um consenso global e um compromisso político de alto nível em prol do desenvolvimento sustentável e da cooperação ambiental. Embora a responsabilidade principal por sua implementação recaia sobre os governos, o sucesso da agenda depende das estratégias, políticas e planos desenvolvidos em âmbito nacional. Além disso, a cooperação internacional desempenha um papel essencial, complementando e fortalecendo os esforços conduzidos em cada país para alcançar os objetivos propostos.

A preocupação com as mudanças climáticas aumentaram uma vez que os níveis de poluição e as consequências da atividade humana se tornaram perceptíveis.

Como expressa a Declaração do Rio (UNCED, 1992), a crescente preocupação com a poluição atmosférica, a destruição da camada de ozônio e as variações climáticas levou à necessidade de obter mais dados científicos, econômicos e sociais que possam reduzir as incertezas nessas áreas. Para enfrentar esses desafios, é fundamental melhorar a compreensão das dinâmicas atmosféricas e dos ecossistemas prejudicados, além de prever com mais precisão os impactos dessas mudanças na saúde humana. Também é importante considerar como esses efeitos se entrelaçam com fatores socioeconômicos, como desigualdade e desenvolvimento sustentável, para formular soluções mais eficazes.

Até a data da ECO-92 alguns países já tinham assinado acordos, como o Protocolo de Montreal (VIENNA CONVENTION, 1987) para proibir ou limitar a emissão de alguns gases após a descoberta do buraco na camada de ozônio. Entre esses gases estavam os clorofluorcarbonetos (CFC). Hoje, é notório a eficácia do acordo, uma vez que a conduta mundial foi efetivamente alterada para diminuir o uso específico de alguns gases. Isso mostra que decisões internacionais em proteção ao meio natural e socioeconômico podem e são necessárias para garantir um futuro sustentável.

No que diz respeito à Declaração do Rio (UNCED, 1992), 27 princípios são pontuados a partir do que se propunha na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Dentre esses princípios, destacam-se:

- A proteção do meio ambiente deve constituir parte integrante do processo de desenvolvimento e não poderá ser considerada de forma isolada.
- Os Estados devem reduzir e eliminar os sistemas de produção e consumo não-sustentados e fomentar políticas demográficas apropriadas.
- O melhor modo de tratar as questões ambientais é com a participação de todos os cidadãos interessados, em vários níveis. No plano nacional, toda pessoa deverá ter acesso adequado à informação sobre o ambiente de que dispõem as autoridades públicas, incluída a informação sobre os materiais e as atividades que oferecem perigo a suas comunidades, assim como a oportunidade de participar dos processos de adoção de decisões. Os Estados deverão facilitar e fomentar a sensibilização e a participação do público, colocando a informação à disposição de todos. Deverá ser proporcionado acesso efetivo aos procedimentos judiciais e administrativos, entre os quais o ressarcimento de danos e recursos pertinentes.
- Os Estados deverão promulgar leis eficazes sobre o meio ambiente. As normas ambientais e os objetivos e prioridades em matérias de regulamentação do meio

ambiente, devem refletir o contexto ambiental e de desenvolvimento às quais se aplicam.

- Deverá ser empreendida a avaliação de impacto ambiental, em termos de instrumento nacional, a despeito de qualquer atividade proposta que provavelmente produza impacto negativo considerável no meio ambiente e que esteja sujeita à decisão de uma autoridade nacional competente.

A Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CSD, na sigla em inglês), grupo responsável por avaliar o progresso e a implementação da Agenda 21 e da Declaração do Rio, foi criada na Assembleia Geral da ONU do mesmo ano. Além dela, a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC, na sigla em inglês) pelo Comitê Intergovernamental de Negociação ocorreu na ECO-92.

A Figura 3 sumariza as discussões que ocorreram na ECO-92.

Figura 3 - Fluxograma de discussões da Eco-92



Fonte: autoral.

2.4 Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+10)

A próxima conferência a tratar sobre o meio ambiente foi a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, ou Cúpula de Joanesburgo, ou Rio+10, realizada na cidade de Joanesburgo, na África do Sul, em 2002. Nela foi assinada a Declaração de Joanesburgo.

Com o apoio da CSD, na intenção de fortalecer os avanços das metas da Agenda 21. Os principais compromissos acordados no Plano de Implementação da Cúpula de Joanesburgo (WSSD, 2002) incluem:

- Reduzir pela metade o número de pessoas que não têm acesso a saneamento básico até 2015;
- Minimizar os efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente decorrentes da produção e do uso de produtos químicos até 2020;
- Interromper o declínio dos estoques de peixes e restaurá-los a níveis sustentáveis até 2015;
- Reduzir a perda de biodiversidade até 2010;
- Aumentar "substancialmente" o uso de energias renováveis no consumo global de energia;
- Estabelecer uma estrutura de dez anos para programas de consumo e produção sustentáveis.

Foi então na Rio+10 que a discussão de aumentar o uso de fontes de energias renováveis surgiu. Novas tecnologias passaram a ser estudadas e amplamente desenvolvidas.

2.5 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20)

A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável ou Rio+20, retornou sua realização ao Brasil, no Rio de Janeiro, no ano de 2012. O principal documento apresentado e assinado é chamado de “O Futuro que Queremos”, tradução de “The Future We Want”.

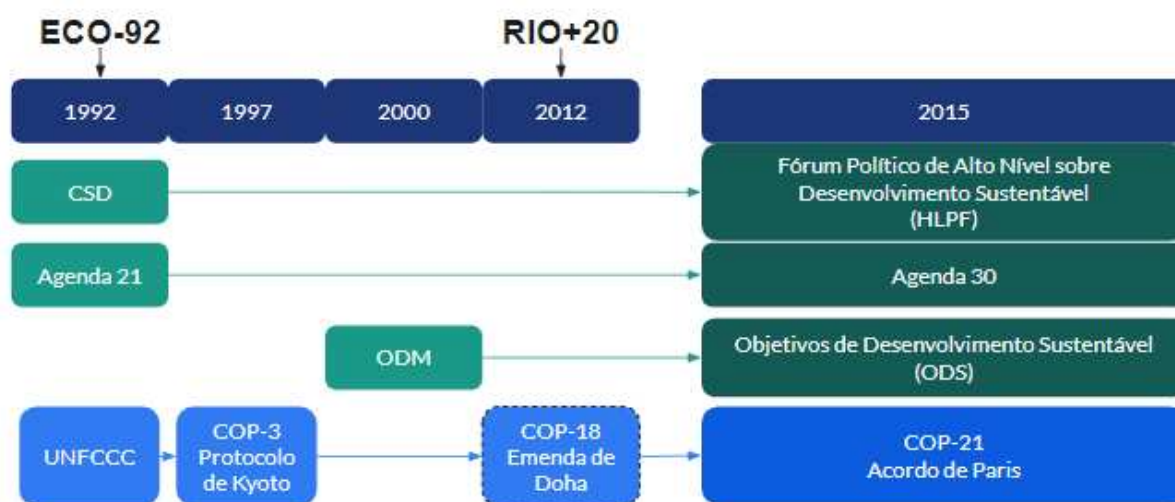
O documento não poupa críticas em relação ao desempenho das nações em cumprir os compromissos anteriores, afirmando que os progressos sustentáveis que ocorreram foram insuficientes e desiguais.

A Rio+20 introduziu fortemente o conceito de economia verde (UNCSD, 2012), que propõe integrar o crescimento econômico com a sustentabilidade ambiental, sugerindo que o desenvolvimento econômico pode ser compatível com a proteção do meio ambiente e o uso eficiente de recursos. Os princípios da economia verde abordam a necessidade de respeitar a lei internacional e a soberania nacional dos países sobre seus recursos naturais, promover crescimento econômico inclusivo e inovação, e fortalecer a cooperação internacional, sendo essencial evitar discriminação e restrições ao comércio, reduzir a diferença tecnológica entre países, e melhorar o bem-estar de grupos vulneráveis, incluindo povos indígenas e minorias. Além de requerer a contribuição igual de ambos os gêneros, promovendo atividades produtivas que combatam a pobreza e busquem padrões de consumo sustentáveis.

2.5.1 Fórum Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável (HLPF)

O fim da CSD em 2013 levou à criação do Fórum Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável (HLPF, na sigla em inglês). Entre a ECO-92 e a Rio+20, outras mobilizações internacionais com objetivos de discussão diferentes também foram realizadas, uma delas foi a Cúpula do Milênio em 2000 que elaborou os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Esses objetivos foram reformulados e expandidos em 2015 pela HLPF e passaram a se chamar Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O HLPF assumiu o papel de monitorar e revisar a implementação dos ODS, que são 17 objetivos que integram metas conhecidas como Agenda 2030. (UN, [s. d.]c).

Figura 4 - Fluxograma de mudanças viabilizadas a partir de Rio+20



Fonte: autoral.

2.6 Conferência das Partes (COP)

A Conferência das Partes (COP, na sigla em inglês) é o órgão supremo da UNFCCC. É uma associação de todos os países membros signatários da Convenção que, após sua ratificação em 1994, passaram a se reunir anualmente a partir de 1995, com primeira realização em Berlim.

A **COP-3** ocorreu de 1º a 10 de dezembro de 1997, em Kyoto, Japão. No encontro, foi adotado o Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1997), que estabelece metas de redução de GEE para os países desenvolvidos, chamados “Países do Anexo I”, totalizando 37 países industrializados e economias em transição e a União Europeia. Esses alvos somam uma redução média de emissões de 5% em comparação com os níveis de 1990 durante o período de cinco anos de 2008 a 2012.

Os GEE em questão são: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nítrico (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF₆).

A **COP-8**, que ocorreu em 2002, foi realizada em Nova Delhi, Índia. No mesmo ano da Rio+10, tem-se início a discussão sobre uso de fontes renováveis na matriz energética das Partes. O encontro também marcou a adesão da iniciativa privada e de organizações não-governamentais ao Protocolo de Kyoto e apresentou projetos para a criação de mercados de créditos de carbono. (FAS, [s. d.]).

A **COP-18** ocorreu em 2012, data limite para o Protocolo de Kyoto atingir suas metas de redução iniciais. Foi realizada em Doha, no Qatar, e na tentativa de evitar um fracasso do protocolo, foi estabelecido uma nova data com novas metas. As Partes se comprometeram a reduzir as emissões de GEE em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990 no período de oito anos de 2013 a 2020, porém países diferentes do Anexo I estariam contemplados na Emenda de Doha. (FAS, [s. d.]).

Alguns dos maiores emissores, como os Estados Unidos, nunca ratificaram o Protocolo, e o Canadá se retirou em 2011. Outros países, como a Rússia, o Japão e a Nova Zelândia, não se comprometeram com novas metas no segundo período. A União Europeia e alguns outros países, como a Austrália e a Noruega, mantiveram seus compromissos com o segundo período e alcançaram as metas de redução de emissões estabelecidas para eles. No entanto, com a ausência de vários grandes emissores, o impacto global foi limitado.

A **COP-19**, em 2013, em Varsóvia, Polônia, foi fundamental para discutir as bases que tecem o compromisso global que precederam o Acordo de Paris. O Brasil pôs em pauta a necessidade de se estabelecer um novo ordenamento financeiro internacional baseado em uma economia de baixo carbono. Uma das ideias era a criação de uma espécie de “moeda-carbono”, que remunerasse os países que reduzirem as emissões de gases de efeito estufa, equivalente a diferentes ações de compensação. (FAS, [s. d.]).

A **COP-21**, realizada em Paris, França, em 2015, chegou a um acordo histórico, que pela primeira vez envolveu quase todos os países do mundo em um esforço para reduzir as emissões de carbono e conter os efeitos do aquecimento global. O ponto central do chamado Acordo de Paris, que valeria a partir de 2020, é a obrigação de participação de todas as nações – e não apenas países ricos – no combate às mudanças climáticas. Ao todo, 195 países membros da Convenção do Clima da ONU e a União Europeia ratificaram o documento. (UNFCCC, 2015).

Segundo o Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), o objetivo de longo prazo é manter o aquecimento global “muito abaixo de 2°C” (em comparação aos níveis pré-industriais). Esse é o ponto a partir do qual cientistas afirmam que o planeta estaria condenado a um futuro sem volta de efeitos devastadores, como elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos (como secas, tempestades e enchentes), e falta de água e alimentos. Ainda, é requerido esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C (em comparação aos níveis pré-industriais). Também define que os pontos do acordo serão revisados a cada cinco anos, para direcionar o cumprimento da meta de temperatura e dar transparência às ações de cada país.

Sobre a questão de quem irá pagar a conta das ações necessárias para o sucesso do acordo, acertou-se que países desenvolvidos irão bancar US\$100 bilhões por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação em países em desenvolvimento. (FAS, [s. d.]).

2.6.1 Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)

As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, na sigla em inglês) estão no cerne do Acordo de Paris e da realização de suas metas de longo prazo. As NDCs incorporam os esforços de cada país para reduzir as emissões nacionais e se adaptar aos impactos das mudanças climáticas. O Acordo de Paris exige que cada Parte prepare, comunique e mantenha NDCs sucessivas que pretende atingir. As Partes devem buscar medidas de mitigação domésticas, com o objetivo de atingir os objetivos de tais contribuições. (UNFCCC, 2015)

O Acordo de Paris (UNFCCC, 2015) reconhece que as metas de longo prazo especificadas serão alcançadas ao longo do tempo e, portanto, se baseia em um aumento da ambição agregada e individual ao longo do tempo.

As NDCs são enviadas a cada cinco anos ao secretariado da UNFCCC (2015). Para aumentar a ambição ao longo do tempo, o Acordo de Paris prevê que as NDCs sucessivas representarão uma progressão em comparação às anteriores e refletirão sua ambição mais alta possível. As partes foram solicitadas a enviar as rodadas de NDCs em 2020 e a cada cinco anos a partir de então, independentemente de seus respectivos prazos de implementação. Além disso, as Partes podem, a qualquer momento, ajustar a sua contribuição nacionalmente determinada existente com vista a aumentar o seu nível de ambição.

A **COP-28**, em 2023, em Dubai, Emirados Árabes Unidos, foi particularmente importante porque marcou a conclusão do primeiro balanço global dos esforços mundiais para enfrentar as alterações climáticas sob o Acordo de Paris. Como está descrito na própria

plataforma da UNFCCC (2024), o progresso é demasiado lento em todas as áreas da ação climática, desde a redução das emissões de GEE, ao reforço da resiliência às alterações climáticas e à obtenção de apoio financeiro e tecnológico às nações vulneráveis. O resultado da COP-28 foi uma decisão sobre como acelerar a ação em todas as áreas até 2030.

Como sumariza o relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), a **COP-28** ocorreu em Dubai, com o objetivo de manter dentro do alcance a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5°C, cerca de 200 países fizeram grandes promessas coletivas sobre energia na cúpula climática, reconhecendo pela primeira vez que as emissões relacionadas à energia precisam chegar a zero líquido até 2050 e definiram metas importantes para ajudar a atingir esse objetivo, incluindo **triplicar a capacidade global de energia renovável e dobrar as melhorias globais de eficiência energética até 2030**, acelerando a transição dos combustíveis fósseis e implantando tecnologias emergentes, como hidrogênio de baixas emissões e captura de carbono. (IEA, 2024a, grifo próprio).

De acordo com o exposto no site da UNFCCC (2024), as **COP-29** e **COP-30** já possuem local para realização e temas a serem abordados. A COP-29, será realizada no Azerbaijão nesse ano (2024) e estabelecerá uma nova meta de financiamento climático, refletindo a escala e a urgência do desafio climático. Além disso, os países estabeleceram, para esse ano, uma Estrutura de Transparência Aprimorada (ETF, na sigla em inglês), em que os países reportarão de forma transparente as ações tomadas e o progresso na mitigação das mudanças climáticas, medidas de adaptação e suporte fornecido ou recebido, de modo a acompanhar os avanços no Acordo de Paris. Enquanto a COP-30, será sediada pelo Brasil, onde as nações devem vir preparadas com novas NDCs que sejam econômicas, abranjam todos os gases de efeito estufa e estejam alinhadas com o limite de temperatura de 1,5 °C.

2.7 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, s.d., Tradução própria) “foi criado em 1988 por duas instituições: a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a PNUMA. O objetivo principal do IPCC é fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas, seus impactos e riscos futuros, e como a adaptação e a mitigação podem reduzir esses riscos.” Ele se tornou uma das principais fontes de informação científica para as negociações internacionais sobre clima, como as que ocorrem nas COPs da UNFCCC.

A principal contribuição do IPCC é a publicação de relatórios ligados ao enfrentamento às mudanças climáticas. Atualmente o mais relevante é o Sexto Relatório de

Avaliação (AR6) que aborda uma ampla gama de questões relevantes para a política internacional.

O IPCC também emite um relatório síntese do AR6 (2023), onde ressalta que a limitação do aquecimento global causado pelo homem exige emissões líquidas zero de CO₂. A mitigação profunda, rápida e de implementação acelerada de ações de adaptação nesta década, reduziria perdas e danos projetados para os seres humanos e os ecossistemas e proporcionaria benefícios para a qualidade do ar e a saúde. O atraso nestas ações prenderia a infraestrutura de altas emissões, aumentaria os riscos de ativos irrecuperáveis e escalonamento de custos, reduziria a viabilidade e aumentaria as perdas e os danos. As ações de curto prazo envolvem altos investimentos iniciais e mudanças potencialmente perturbadoras que podem ser reduzidas por meio de uma série de políticas de capacitação.

As atividades humanas, principalmente por meio de emissões de GEE, causaram inequivocamente o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo 1,1°C acima de 1850-1900 em 2011-2020. As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar entre 2010 e 2019, com contribuições históricas decorrentes do uso insustentável de energia, do uso da terra e da mudança no uso da terra, dos estilos de vida e dos padrões de consumo e produção entre locais e entre indivíduos. As mudanças climáticas causadas pelo homem já estão afetando muitos extremos climáticos e meteorológicos em todas as regiões do mundo. Isso levou a impactos adversos generalizados na segurança alimentar e hídrica, na saúde humana e nas economias e na sociedade, além de perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas. O AR6 reforça as discussões existentes desde Estocolmo-72 e amplamente abordadas no Relatório de Brundtland de que as comunidades vulneráveis que historicamente contribuíram menos para as mudanças climáticas atuais são afetadas de forma desproporcional. (IPCC, 2023).

O AR6 também aponta alguns resultados com otimismo em suas oportunidades: os acordos internacionais sobre clima, junto com o aumento das ambições nacionais e a conscientização crescente da população, têm impulsionado esforços para enfrentar as mudanças climáticas em diversas esferas de governança. Como resultado das políticas de mitigação, houve uma redução na intensidade de uso de energia e de carbono a nível global, com muitos países registrando diminuições contínuas nas emissões de GEE por mais de uma década. Tecnologias de baixa emissão estão cada vez mais acessíveis, oferecendo alternativas com baixa ou nenhuma emissão de carbono para setores como energia, transporte, indústria e construção. O avanço no planejamento e na execução de medidas de adaptação tem gerado inúmeros benefícios, demonstrando que soluções eficazes podem reduzir significativamente

os riscos climáticos e apoiar o desenvolvimento sustentável. Embora o financiamento global voltado para mitigação e adaptação tenha aumentado desde o relatório AR5, ele ainda não atende às necessidades reais para enfrentar o desafio climático. (IPCC, 2023).

O relatório (IPCC, 2023) também fala das NDCs e mostra que há lacunas entre as ambições globais e a soma das ambições nacionais declaradas. Essas lacunas são ainda mais agravadas pelas lacunas entre as ambições nacionais declaradas e a implementação atual de todos os aspectos da ação climática. Em relação à mitigação, as emissões globais de GEE em 2030 implícitas nas NDCs anunciadas até outubro de 2021 tornariam provável que o aquecimento excedesse 1,5°C durante o século XXI e dificultariam a limitação do aquecimento abaixo de 2°C. O que vai de encontro aos objetivos do Acordo de Paris.

“As lacunas de adaptação persistem, com muitas iniciativas priorizando a redução de riscos de curto prazo, dificultando a adaptação transformacional. Barreiras sistêmicas, como lacunas de financiamento, conhecimento e prática, incluindo a falta de alfabetização climática e de dados, dificultam o progresso da adaptação. O financiamento insuficiente, especialmente para a adaptação, restringe a ação climática, especialmente nos países em desenvolvimento.” (IPCC, 2023, p. 57, tradução própria)

2.8 Setor Elétrico Brasileiro (SIN/ONS)

O Sistema Interligado Nacional (SIN), como bem descrito na plataforma do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024), “é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte.”.

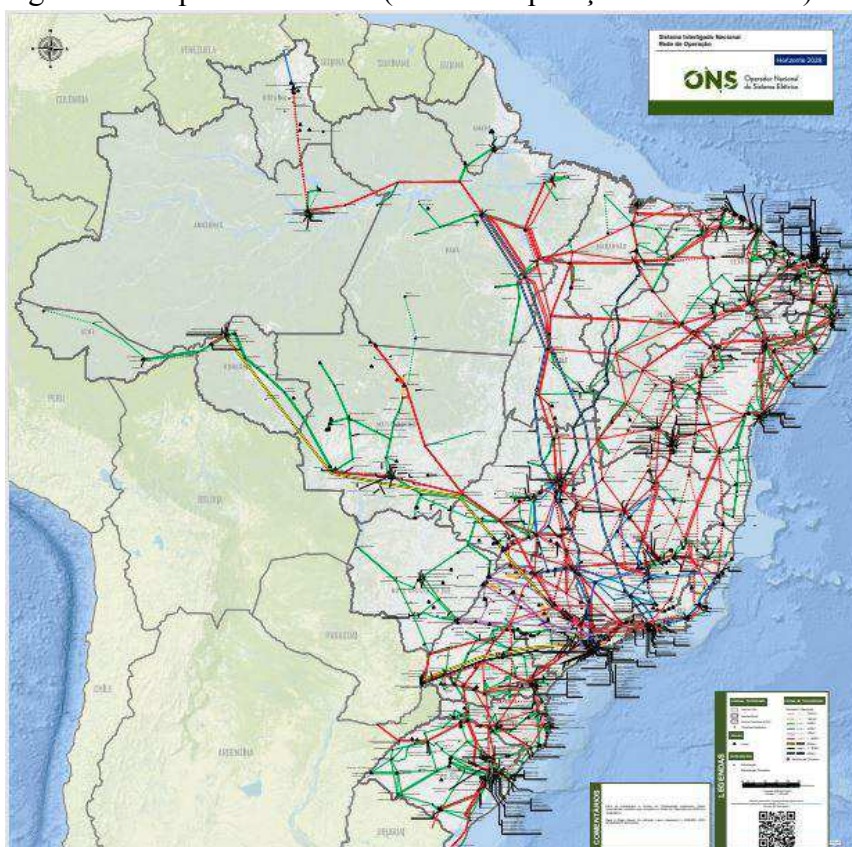
O SIN é fundamental para o fornecimento de energia elétrica no Brasil, pois conecta quase todas as usinas de geração e consumidores através de uma rede integrada de transmissão. Isso permite uma maior flexibilidade no gerenciamento da demanda energética, otimizando a geração de energia em diferentes regiões e utilizando recursos renováveis, como hidrelétricas, de forma eficiente. O SIN garante maior confiabilidade no fornecimento, ajudando a evitar apagões e permitindo o compartilhamento de energia entre estados em momentos de necessidade.

Roraima é o único estado que se encontra no Sistema Isolado e a conexão, mas já há projetos planejados para integrar o estado ao SIN, sendo esse o maior projeto de descarbonização da região amazônica. (BRASIL, 2024).

A plataforma da ONS (2024) se descreve da seguinte forma: “ONS é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).”

A Figura 5 retirada do SINMAPS (ONS, 2024) mostra um planejamento de 2028 com linhas de transmissão existentes e planejadas em diferentes voltagens. Com ela é possível perceber que na região norte o alcance é limitado, mas ainda assim é notório a magnitude do sistema.

Figura 5 - Mapa Geoeletrico (Rede de Operação - Brasil 2028)



Fonte: SINMAPS (ONS, 2024).

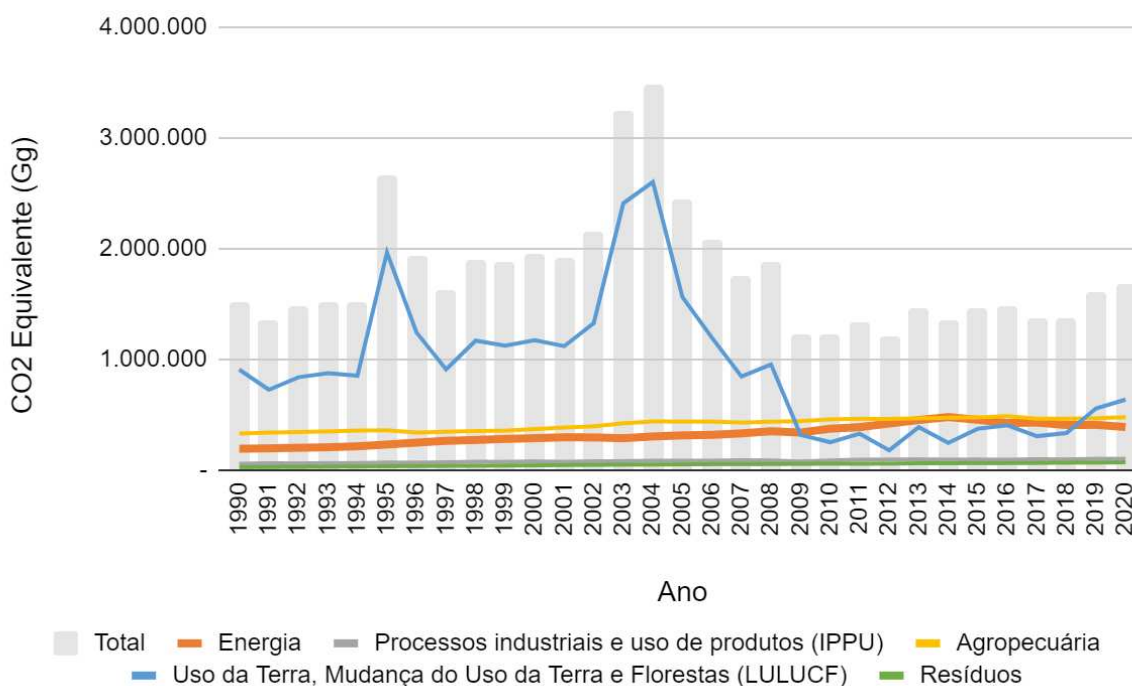
Nota: a linha vermelha-pontilhado que cruza o estado de Roraima, indica uma linha de transmissão planejada com 500kv. Sendo assim o estado não está conectado ao SIN.

2.9 Inventário de Carbono Brasileiro

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), atribui ao Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) a missão de confeccionar os inventários de emissões de GEE, utilizando como base metodológica para cálculo os documentos de orientação e diretrizes elaborados pelo IPCC.

O documento mais recente publicado pelo SIRENE (BRASIL, 2022) ao que concerne este tema é a 6ª Edição de Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, publicado em 2022. A Figura 6 é uma adaptação de uma imagem desse relatório.

Figura 6 - Emissão Anual Total de GEE no Brasil

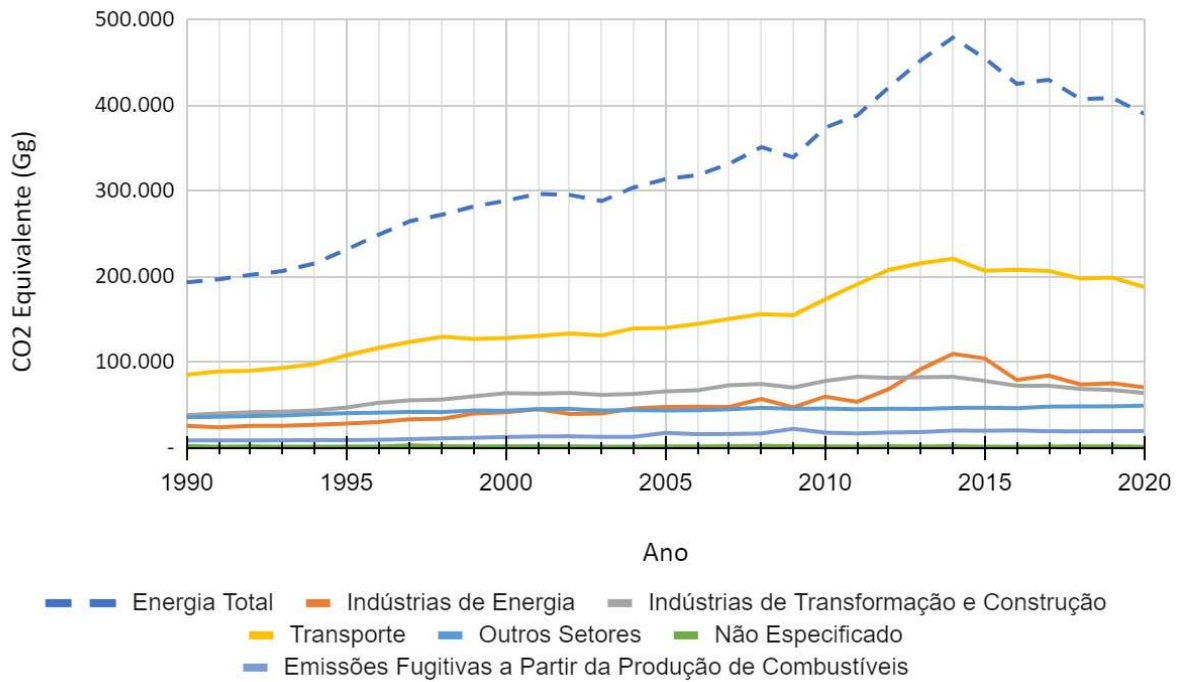


Fonte: Adaptado de Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (BRASIL, 2022, 6. ed. p. 8).

É notório que no início do milênio o Brasil foi líder mundial de emissões por conta do uso e cobertura do solo. Desde 2009 houve uma grande redução dessa realidade à medida que a agropecuária expandiu e os setores de energia cresceram. Este trabalho, contudo, tem a intenção de focar no setor elétrico que representa uma parcela dos dados de energia.

As Figuras 7 e 8 são mais específicas do setor energético e foram construídas a partir dos dados das estimativas de emissão do mesmo relatório.

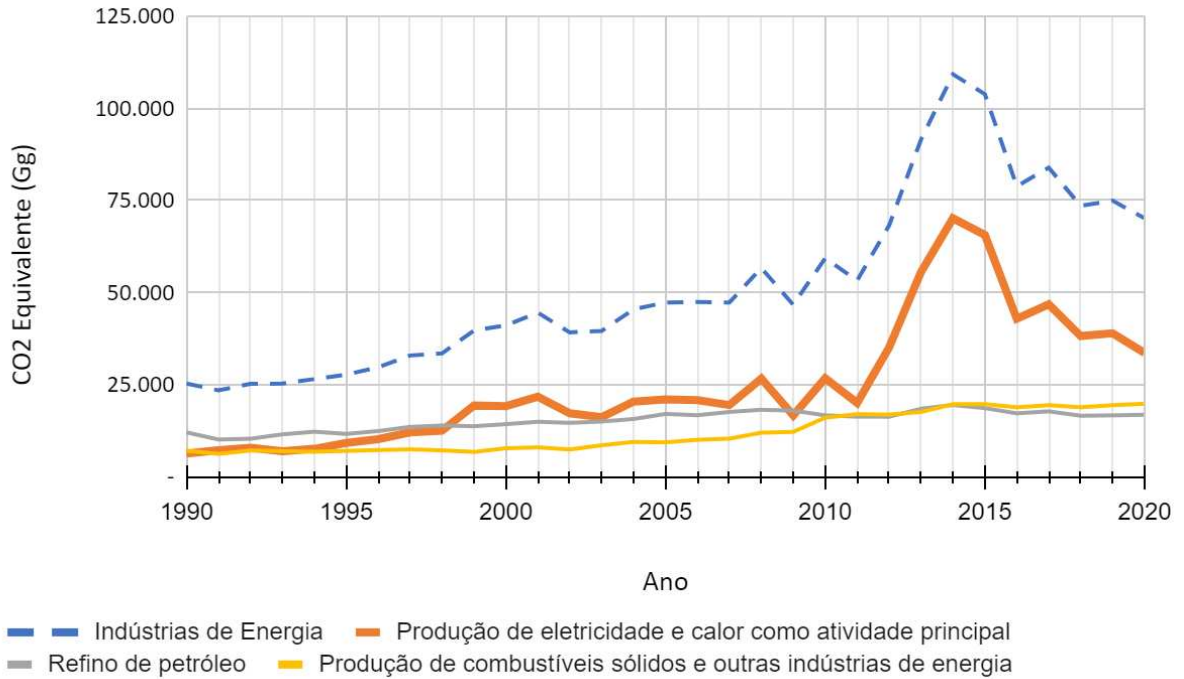
Figura 7 - Emissão Anual de GEE no Brasil (Parcela de Energia Total)



Fonte: Realização autoral a partir dos dados da Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (BRASIL, 2022, 6. ed.).

O setor elétrico é uma parcela contida em Indústrias de Energia. As Indústrias de Energia representam em média, dos 30 anos apresentados, 15,31% das emissões oriundas de Energia. E dentro do setor industrial, como mostra a Figura 8, a Produção de eletricidade e calor são 43,62% de Indústrias de Energia, em média do mesmo período.

Figura 8 - Emissão Anual de GEE no Brasil (Parcela de Indústrias de Energia)



Fonte: Realização autoral a partir dos dados da Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (BRASIL, 2022, 6. ed.).

2.10 Cenários da International Energy Agency (IEA)

As publicações de perspectivas de médio e longo prazo da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) usam uma abordagem de cenário baseada no Modelo Global de Energia e Clima (GEC) para examinar as tendências futuras de energia. O Cenário de Zero Emissões Líquidas para 2050 (NZE, na sigla em inglês) é normativo, pois foi concebido para alcançar resultados específicos. O Cenário de Compromissos Anunciados (APS, na sigla em inglês) e o Cenário de Políticas Declaradas (STEPS, na sigla em inglês) são exploratórios, pois definem um conjunto de condições iniciais, como políticas e metas, e verificam onde elas levam com base em representações de modelos de sistemas de energia que refletem a dinâmica do mercado e o progresso tecnológico. (IEA, 2023d).

As publicações mais recentes da IEA levam em consideração a atualização dos dados utilizados por cada cenário até agosto de 2023.

2.10.1 Cenário de Zero Emissões Líquidas para 2050 (NZE)

O NZE mostra um caminho para que o setor energético global atinja zero emissões líquidas de CO₂ até 2050, com as economias avançadas atingindo zero emissões líquidas antes das demais. Esse cenário também atende aos principais ODS relacionados à

energia, em especial o acesso universal à energia até 2030 e grandes melhorias na qualidade do ar. Ele é coerente com o AR6 e a limitação do aumento da temperatura global em 2100 a 1,5 °C. (IEA, 2023d).

Ele implanta um amplo portfólio de tecnologias de energia limpa e sem compensações de medidas de uso da terra. As decisões sobre essas implantações são orientadas por custos, maturidade tecnológica, condições de mercado, infraestrutura disponível e preferências políticas. (IEA, 2023d).

O NZE prioriza uma transição ordenada que visa a garantir a segurança energética por meio de políticas e incentivos sólidos e coordenados que permitam a todos os participantes antecipar as rápidas mudanças necessárias e minimizar a volatilidade do mercado de energia e os ativos irrecuperáveis. A rápida implantação de tecnologias de energia limpa e eficiência energética está no centro dessa transição. (IEA, 2023d).

“O acesso global à eletricidade e à cozinha limpa é alcançado até 2030, de acordo com os ODS estabelecidos. As reduções rápidas e importantes nas emissões de metano dos setores de petróleo, gás e carvão ajudam a ganhar tempo para reduções menos abruptas de CO₂ nos mercados emergentes e nas economias em desenvolvimento.” (IEA, 2023d, tradução própria).

Este cenário (IEA, 2023d) conclui que a colaboração global é essencial para desenvolver e implementar políticas ambientais ambiciosas, reduzindo os custos de tecnologias limpas e fortalecendo cadeias de suprimentos diversificadas e resilientes para minerais essenciais e tecnologias sustentáveis. Esse esforço é ainda mais efetivo com o suporte financeiro aprimorado a economias de mercado emergentes e em desenvolvimento, que frequentemente enfrentam desafios na transição para a sustentabilidade. Assim, a cooperação internacional e o investimento são cruciais para enfrentar as mudanças climáticas e promover um futuro sustentável.

2.10.2 Cenários de Compromissos Anunciados (APS)

O APS ilustra até que ponto as ambições e metas anunciadas podem proporcionar as reduções de emissões necessárias para atingir emissões líquidas zero até 2050. “Ele inclui todos os principais anúncios nacionais recentes até o final de agosto de 2023, independentemente de esses anúncios terem sido ancorados na legislação ou em NDC atualizadas. No APS, os países implementam suas metas nacionais integralmente e no prazo.” (IEA, 2023d, tradução própria).

A perspectiva para exportadores de combustíveis fósseis e combustíveis de baixa emissão, como hidrogênio, é moldada pelo que a implementação total de todas as metas significa para a demanda global. O APS também pressupõe que todas as metas em nível de país para acesso à eletricidade e cozimento limpo sejam alcançadas no prazo e na íntegra. (IEA, 2023d).

Não é possível saber exatamente como as promessas de zero líquido serão implementadas dentro do cenário APS, mas o design foi informado pelos caminhos que vários órgãos nacionais desenvolveram para dar suporte às promessas de zero líquido. (IEA, 2023d).

Para países que ainda não adotaram compromissos de zero líquido, as políticas são assumidas como as mesmas do STEPS, embora se beneficiem no APS das reduções de custos aceleradas e da disponibilidade mais ampla de tecnologias de energia limpa. As suposições não políticas, incluindo crescimento populacional e econômico, são as mesmas do STEPS. (IEA, 2023d).

2.10.3 Cenário de Políticas Declaradas (STEPS)

O STEPS foi criado para fornecer uma noção da direção predominante da progressão do sistema energético, com base em uma revisão detalhada do cenário político atual. “Ele fornece uma avaliação mais granular, setor por setor, das políticas que foram colocadas em prática para atingir as metas declaradas e outros objetivos relacionados à energia, levando em conta não apenas as políticas e medidas existentes, mas também aquelas que estão em desenvolvimento.” (IEA, 2023d, tradução própria).

O STEPS, assim como o APS, não foi criado para atingir um resultado específico, a diferença principal é que ele fornece uma referência mais conservadora para o futuro do que o APS, ao não assumir como certo que os governos atingirão todas as metas anunciadas. (IEA, 2023d).

As políticas avaliadas no STEPS abrangem um amplo espectro, incluindo NDCs sob o Acordo de Paris. A modelagem realizada pela IEA requer detalhes extensos no nível setorial, incluindo políticas de preços, padrões e esquemas de eficiência, programas de eletrificação e projetos de infraestrutura específicos. (IEA, 2023d).

Os anúncios do governo incluem algumas metas de longo alcance, contudo essas ambições não são automaticamente incorporadas ao cenário. A implementação total não pode ser tomada como garantida e se baseia na avaliação acerca das circunstâncias regulatórias, de mercado, de infraestrutura e financeiras relevantes dos países. (IEA, 2023d).

“Onde as políticas são limitadas no tempo, elas são geralmente assumidas como substituídas por medidas de intensidade similar. Não é assumido fortalecimento futuro – ou enfraquecimento – de ações políticas futuras, exceto onde já há evidências específicas do contrário.” (IEA, 2023d, tradução própria).

O STEPS mostra que os compromissos atuais dos países são suficientes para fazer uma diferença significativa ao longo do tempo. No entanto, ainda há uma grande lacuna entre as projeções do STEPS e as trajetórias dos outros cenários.

2.10.4 Síntese

Ainda na plataforma da IEA, é disponibilizado uma tabela síntese dos 3 cenários discutidos neste trabalho.

Tabela 1 - Síntese dos Cenário da Agência Internacional de Energia

	NZE	APS	STEPS
Definições	Um cenário que define um caminho para que o setor energético global atinja zero emissões líquidas de CO ₂ até 2050. Ele não depende de reduções de emissões de fora do setor de energia para atingir suas metas. O acesso universal à eletricidade e à cozinha limpa é alcançado até 2030.	Um cenário que pressupõe que todos os compromissos climáticos assumidos por governos e indústrias em todo o mundo a partir do final de agosto de 2023, incluindo as NDCs e as metas de zero líquido de longo prazo, bem como as metas de acesso à eletricidade e cozimento limpo, serão cumpridas integralmente e dentro do prazo.	Um cenário que reflete as configurações atuais de políticas com base em uma avaliação setor por setor e país por país das políticas relacionadas à energia que estão em vigor no final de agosto de 2023, bem como aquelas que estão em desenvolvimento. O cenário também leva em conta as capacidades de fabricação atualmente planejadas para tecnologias de energia limpa.
Objetivos	Mostrar o que é necessário em todos os principais setores por vários atores, e até quando, para que o mundo atinja zero emissões líquidas de CO ₂ relacionadas à energia até 2050 e, ao mesmo tempo, cumpra outras metas de desenvolvimento sustentável relacionadas à energia, como o acesso universal à energia.	Mostrar o quanto as atuais promessas aproximam o mundo da meta de limitar o aquecimento global a 1,5 °C. As diferenças entre o cenário APS e o cenário NZE destacam a “lacuna de ambição” que precisa ser preenchida para atingir as metas do Acordo de Paris adotado em 2015. Também mostra a lacuna entre as metas atuais e a obtenção do acesso universal à energia.	Fornecer uma referência para avaliar as possíveis conquistas (e limitações) dos recentes desenvolvimentos na política energética e climática. As diferenças entre o STEPS e o APS destacam a “lacuna de implementação” que precisa ser fechada para que os países atinjam suas metas de descarbonização anunciadas.

Fonte: IEA (2023d, tradução própria)

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada foi de uma pesquisa descritiva, que adota uma abordagem quali-quantitativa. Ela foi realizada por meio da revisão de documentos, principalmente relatórios, e dados relevantes para entender as mudanças nas políticas climáticas e suas implicações no setor energético. A Figura 9 sintetiza as principais fontes.

Figura 9 - Metodologia



Fonte: autoral.

A Agência Internacional de Energia fornece relatórios sobre o Cenário NZE e suas últimas atualizações (IEA, 2023f). Esse é um cenário global, contudo os cenários APS e STEPS são apresentados em um recorte a nível nacional pela IEA (2023e). Nesses relatórios são mostrados dados sobre a capacidade instalada de energia renovável, uma das metas da COP-28. Levando em conta a necessidade de tornar a energia limpa e acessível para todos, é possível fazer um cálculo da “responsabilidade” de contribuição a partir dos valores demográficos. Esses valores podem ser facilmente obtidos na Divisão Populacional das Nações Unidas (UN, 2024) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). O Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024) fornece as planilhas que permitem construir gráficos da atual situação do Brasil em geração de energia, capacidade instalada e emissões de GEE pelo setor energético.

A IEA (2023a) também apresenta um relatório de comparativos nacionais no que tange a eficiência energética. O que fornece uma situação geral do Brasil. Já a EPE (2023) com seu Atlas de Eficiência Energética mostra de forma mais detalhada a evolução da intensidade energética no país nos últimos anos.

A área de estudo é o Sistema Interligado Nacional, já que ele desempenha um papel chave na distribuição de eletricidade no país e sua aprimoração será crucial para o alcance das metas da COP-28. Na Figura 10 observa-se as linhas de transmissão ativas e em planejamento.

Figura 10 - Área de atuação da metodologia



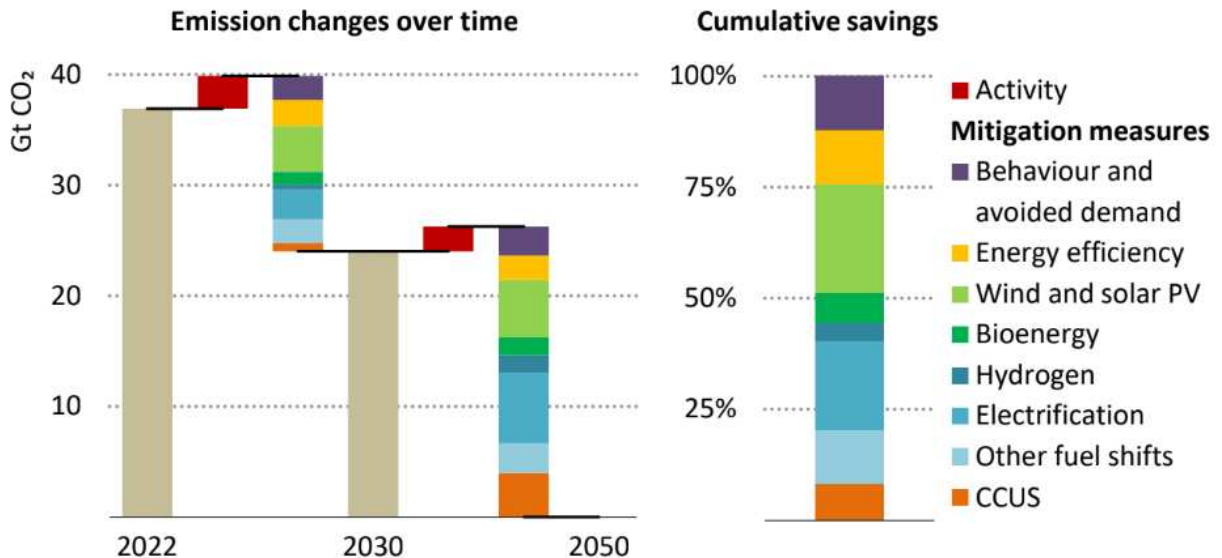
Fonte: SINMAPS (ONS, 2024)

4 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DA IEA EM COMPARATIVO COM O BRASIL

4.1 Cenário NZE e a Energia Global

A IEA mantém um roteiro atualizado do cenário NZE (IEA, 2023f). A transição energética é essencial nesse cenário. Além disso é incluso uma melhoria na eficiência energética, adoção de “Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono” (CCUS) e mudanças de hábitos e demandas. Na Figura 11, são apresentadas as medidas que devem ser adotadas, não só para que compense o aumento de emissões anuais de CO₂, mas que as atuais emissões se tornem nulas até 2050.

Figura 11 - Redução de emissões de CO₂ por medida de atenuação no Cenário NZE

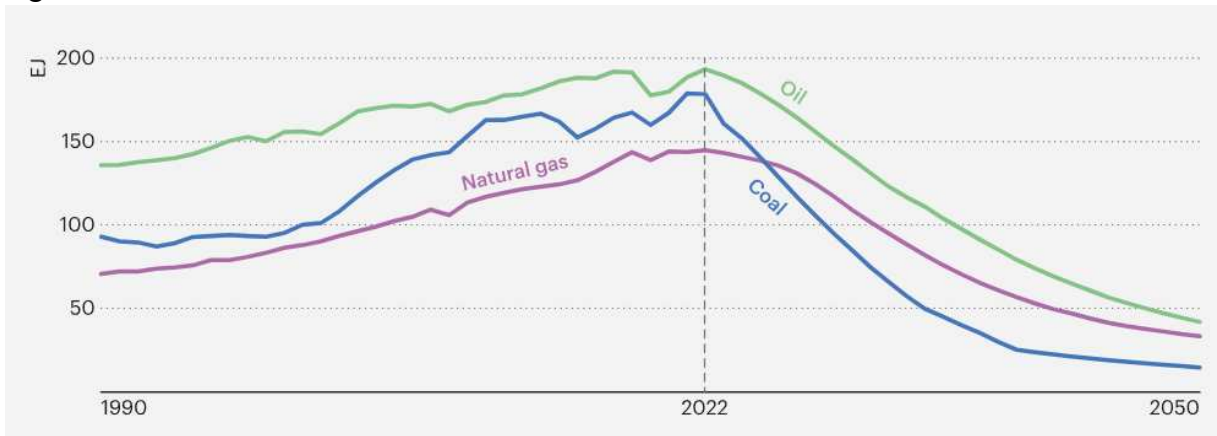


Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023, p. 67).

Nota: emission changes over time = variação de emissões com o tempo; cumulative savings = emissões poupadas acumuladas; mitigation measures = medidas de mitigação; behaviour and avoided demand = hábitos e demanda evitada; wind and solar PV; geradores eólicos e painéis solares fotovoltaicos; other fuel shifts = outras mudanças de combustível; CCUS = tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono.

Por eletrificação, entende-se o abandono pelos setores aquecimento, refrigeração, transporte, cozinha e indústria de combustíveis fósseis devido a adoção de eletricidade, esta podendo ser gerada por fontes renováveis. Como descrito no cenário, as principais fontes fósseis, como petróleo, gás natural e carvão, seguirão em uma queda brusca como se observa nas Figuras 12 e 13.

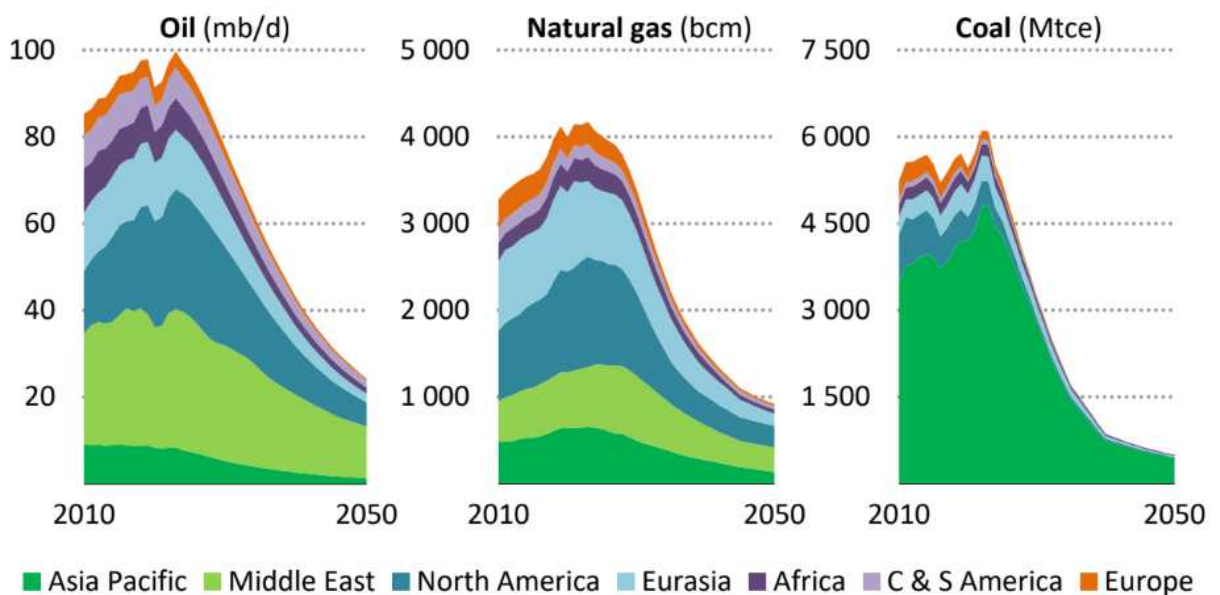
Figura 12 - Fornecimento de combustíveis fósseis no mundo no Cenário NZE



Fonte: Fossil Fuel Supply (IEA, 2023c).

Nota: oil = petróleo; natural gás = gás natural; coal = carvão.

Figura 13 - Fornecimento de combustíveis fósseis no Cenário NZE por macrorregião do mundo



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 75)

Nota: oil (mb/d) = petróleo (milhões de barris por dia); natural gas (bcm) = gás natural (bilhões de metros cúbicos); coal (Mtce) = carvão (milhões de toneladas de carvão equivalente); Asia Pacific = Ásia-Pacífico; Middle East = Oriente Médio; North America = América do Norte; África; C&S América = América Central mais América do Sul.

A macro região da Ásia-Pacífico é a principal dependente de carvão. As macro regiões da Eurásia, Oriente Médio e América do Norte são as que mais usufruem de petróleo e gás natural.

Segundo o roteiro da IEA (2023f): o petróleo, o gás natural e o carvão representaram cerca de quatro quintos do fornecimento total de energia em todo o mundo em 2022. O aumento do investimento em energia limpa no Cenário NZE, de 1,8 trilhão de dólares

para 4,5 trilhões de dólares até 2030, leva a um declínio acentuado na demanda de combustíveis fósseis. A participação dos combustíveis fósseis no fornecimento total de energia cai para menos de dois terços até 2030 e para menos de um quinto em 2050:

- A demanda de carvão cai rapidamente na década de 2020, de 5.800 milhões de toneladas de carvão equivalente (Mtce) em 2022 para 3.300 Mtce em 2030 e menos de 500 Mtce em 2050.
- A demanda de petróleo cai de 97 milhões de barris por dia (MMbbl/d) em 2022 para 77 MMbbl/d em 2030 e 24 MMbbl/d em 2050.
- A demanda por gás natural cai de 4.160 bilhões de metros cúbicos (bcm) em 2022 para 3.400 bcm em 2030 e 920 bcm em 2050.

De acordo com o Cenário NZE a IEA (2023f) projeta que os combustíveis fósseis consumidos em 2050 (pouco menos de 90 EJ) serão compensados com técnicas e tecnologias de redução de emissões. 35% (maior parcela em carvão e gás natural) desse total, é usado em instalações equipadas com CCUS. Outros 40% (maior parcela em petróleo), são consumidos em aplicações em que o carbono é incorporado ao produto e não há emissões diretas de CO₂, por exemplo, matérias-primas químicas, lubrificantes, ceras de parafina e asfalto. Os 25% restantes são usados em setores em que as tecnologias de energia limpa são menos viáveis e econômicas, por exemplo, o petróleo representa cerca de 20% do uso de combustível na aviação em 2050 no cenário NZE. A combustão ininterrupta de combustíveis fósseis resulta em 1,4 Gt de emissões de CO₂ em 2050, que são totalmente equilibradas pela remoção de CO₂ da atmosfera por meio de CCUS.

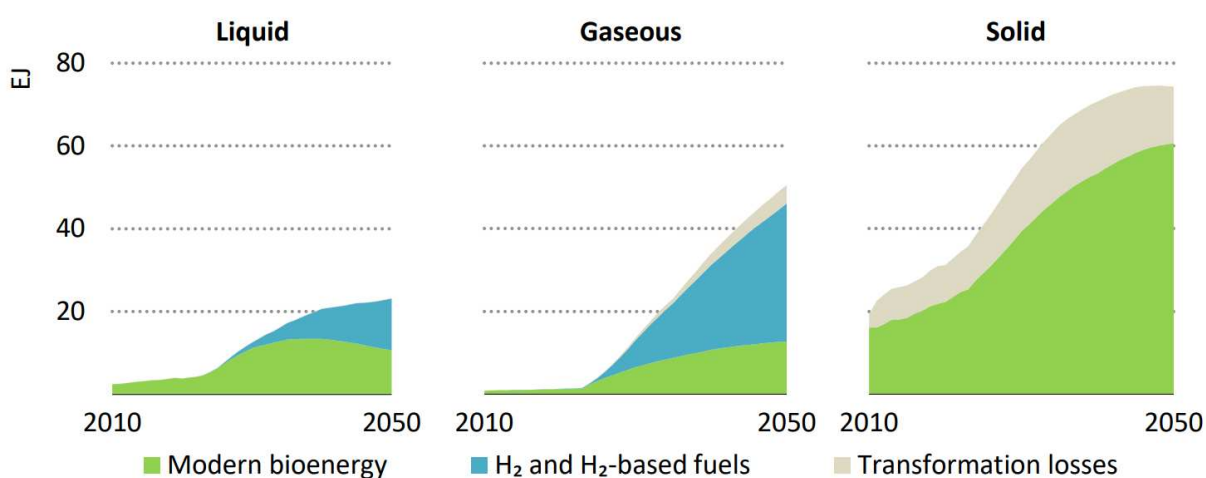
O Cenário NZE é considerado ambicioso, porque como bem ressalta a IEA (2023f), o declínio acentuado da demanda de combustíveis fósseis depende que nenhum novo projeto convencional de petróleo e gás de longo prazo seja aprovado para desenvolvimento após 2023 e que não haja novas minas de carvão ou extensões da vida útil das minas de carvão. O ritmo de declínio da demanda de petróleo e gás na década de 2030 também pode significar que vários projetos de alto custo sejam encerrados antes de atingirem o fim de suas vidas úteis técnicas.

Mas apesar da grande meta de pôr fim nos futuros projetos de fornecimento de energia fóssil, a IEA (2023f) frisa que ainda é necessário investir um mínimo nesses projetos no Cenário NZE para garantir que o fornecimento não caia mais rapidamente do que o declínio da demanda.

Um aumento grande e sustentado no investimento em energia limpa é o que elimina a necessidade de novos projetos de combustíveis fósseis no cenário NZE: a redução do investimento no fornecimento de combustíveis fósseis antes, ou em vez, da ação política e do investimento para reduzir a demanda resultaria em uma alta prolongada dos preços. Isso reduziria as chances de uma transição ordenada para emissões líquidas zero até 2050. (IEA, 2023, p. 76, tradução própria).

Para viabilizar esta queda de demanda de combustíveis fósseis, combustíveis de baixa emissão serão cada vez mais adotados como mostra nos gráficos da Figura 14.

Figura 14 - Demanda de combustíveis de baixa emissão no mundo no Cenário NZE



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 77)

Nota: os gráficos são separados nas fases dos combustíveis no momento de uso ou conversão; modern bioenergy = bioenergia moderna que incluem biomassa, etanol, biodiesel, biogás e biometano; transformation losses = perdas de conversão de uma fonte de combustível de baixa emissão para outra;

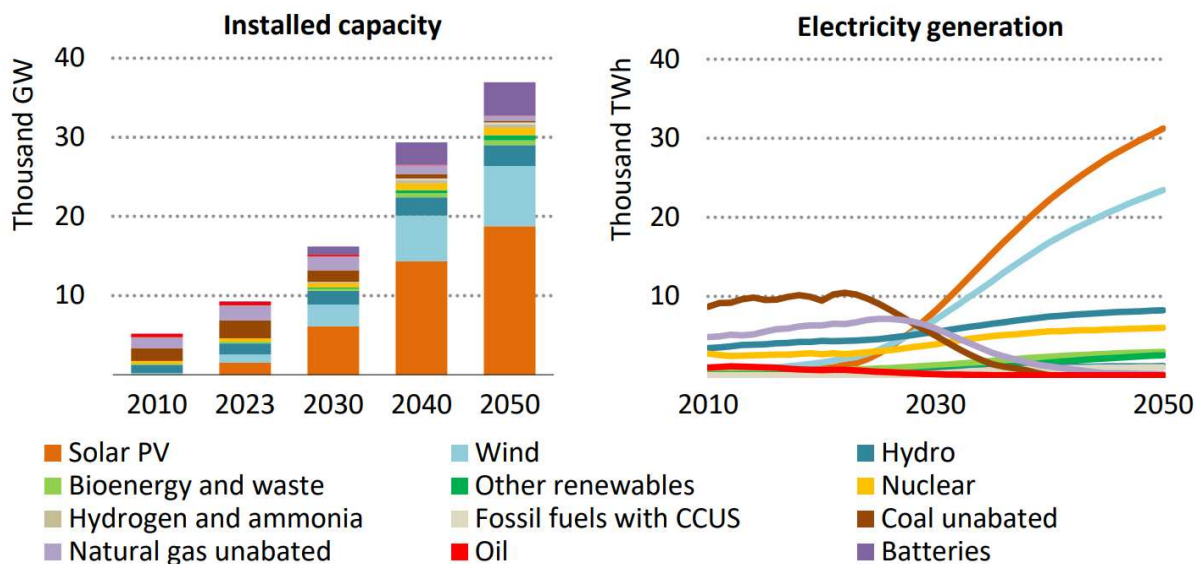
Como mostra a Figura 14, a demanda por hidrogênio e combustíveis à base de hidrogênio aumenta mais rapidamente, embora a partir de um ponto de partida baixo. A bioenergia sólida também aumenta substancialmente sua contribuição para o fornecimento de energia limpa. A demanda por bioenergia sólida aumenta em 15 EJ até 2030. (IEA, 2023f)

A demanda por biocombustíveis líquidos modernos triplica antes de atingir o pico por volta de 2040. Depois disso, a eliminação contínua dos carros com motor de combustão interna resulta em uma menor demanda de biocombustível como mistura para veículos rodoviários, e essa redução na demanda supera os aumentos constantes na demanda para usos marítimos e aéreos. (IEA, 2023f)

O substituto direto mais econômico do gás natural, é o biogás e o biometano, “um atributo que assumiu uma dimensão significativa de segurança energética desde a invasão russa na Ucrânia no início de 2022”. (IEA, 2023f, p.78, tradução própria).

O NZE propõe um grande enfoque no aumento de geradores elétricos instalados principalmente de energia solar fotovoltaica e energia eólica. Os gráficos da Figura 15 mostram como ocorre esse aumento.

Figura 15 - Capacidade instalada e geração de eletricidade no mundo no Cenário NZE



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 83)

Nota: oil = petróleo; solar PV = painel fotovoltaico; wind = gerador eólico; unabated = produção sem uso de tecnologia de redução de emissões de CO₂; bioenergy and waste = energia obtida a partir da biomassa e resíduos sólidos urbanos, industriais e agrícolas

O roteiro (IEA, 2023f) descreve os dados contidos nos gráficos fazendo ênfase na geração de eletricidade por fonte de energias renováveis:

- Os acréscimos anuais de energia solar fotovoltaica aumentam quase quatro vezes, chegando a 820 GW até 2030. A energia solar fotovoltaica se torna a maior fonte de eletricidade em 2030 e mantém essa posição até 2050.
- Os acréscimos anuais de energia eólica atingem 320 GW até 2030, dos quais mais de 30% são offshore. A energia eólica se torna a segunda maior fonte de 2030 a 2050.
- A variabilidade sazonal também aumenta em muitas regiões, exigindo energia hidrelétrica, usinas térmicas de baixa emissão e novas formas de armazenamento de longa duração, incluindo o hidrogênio.
- 25% da energia fotovoltaica e pouco mais de 10% da energia eólica são dedicadas à produção de hidrogênio.

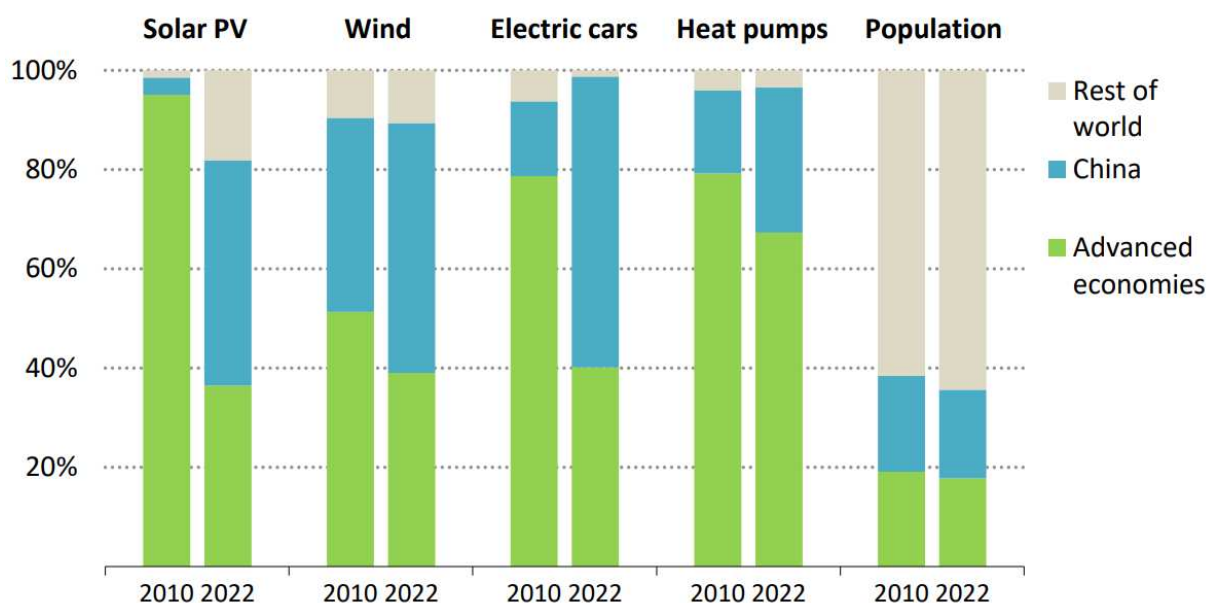
As baterias são adequadas para proporcionar flexibilidade ao sistema de energia na escala de segundos, minutos ou horas, e podem reforçar a estabilidade e a confiabilidade

das redes de eletricidade, fornecendo uma resposta rápida à frequência. Como apresentado pela IEA (2023f), até 2030, a capacidade global de baterias em escala de serviços públicos atinge 1.000 GW e representa cerca de 15% de toda a capacidade de energia despachável.

Além disso, “o Cenário NZE prevê a implantação de tecnologias novas e existentes para dar suporte à estabilidade do sistema, como: condensadores síncronos, sistemas flexíveis de transmissão de corrente alternada (CA), inversores formadores de rede e recursos de resposta rápida à frequência.” (IEA, 2023f, p. 83, tradução própria).

O roteiro (IEA, 2023f) também apresenta um comparativo da distribuição de tecnologias limpas no mundo e sua evolução de 2010 a 2022. Essa distribuição é avaliada entre economias emergentes e avançadas, com um destaque para a China, que é o país que mais emite CO₂ através do setor elétrico (Figura 18), ao mesmo tempo que é a nação que mais investiu e domina tecnologias limpas, como mostra na Figura 16.

Figura 16 - Participação na implementação de tecnologias de energia limpa no mundo



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 37)

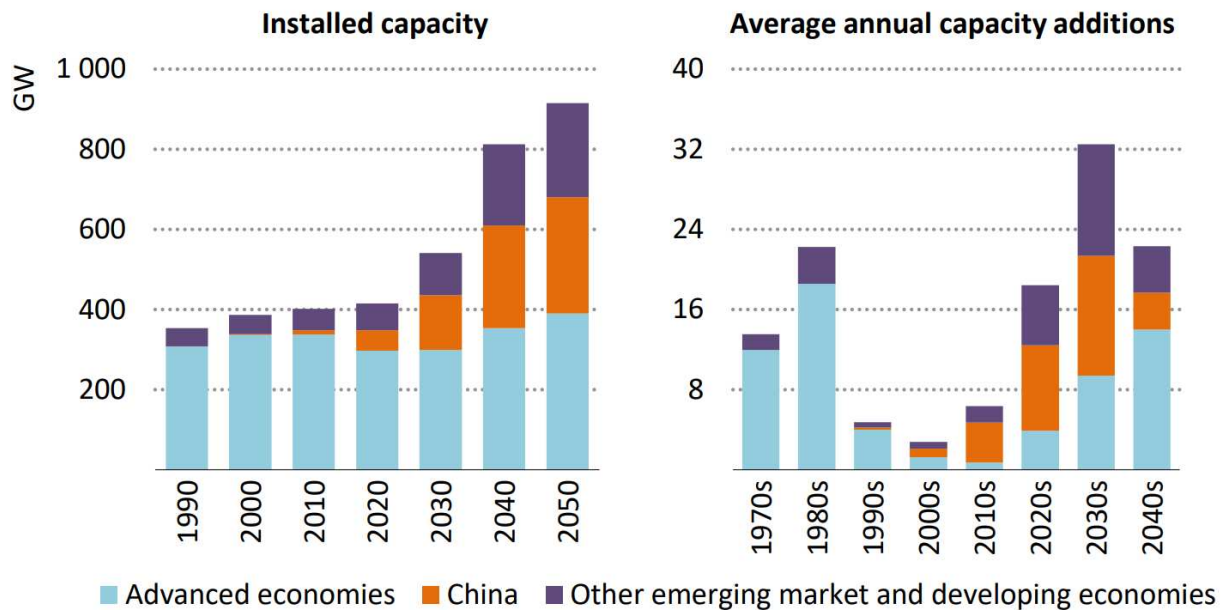
Nota: solar PV e wind = representam a capacidade instalada de painéis fotovoltaicos e geradores eólicos; electric cars e heat pumps = representam as vendas de carros elétricos e bombas de calor.

A maior parte da população se encontra em países de economias emergentes e por serem economias emergentes elas acabam sendo mais dependentes de fontes fósseis ou de tecnologias sem abatimento de emissão de GEE. É notável que a China é a nação número um no desenvolvimento e aplicação de tecnologias capazes de combater as mudanças climáticas. Este gráfico também reforça as discussões das Conferências das Partes de que os países emergentes não conseguem se adaptar a um modelo de tecnologias limpas sem o apoio e

investimento de economias avançadas. Mais da metade da população pertence a países em desenvolvimento e sua dependência de tecnologias que agravam as mudanças climáticas é o principal desafio.

No que concerne à parcela de energia nuclear, é esperado que a capacidade instalada dobre até 2050 com uma participação importante da China como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Capacidade de energia nuclear instalada no mundo no Cenário NZE



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 82)

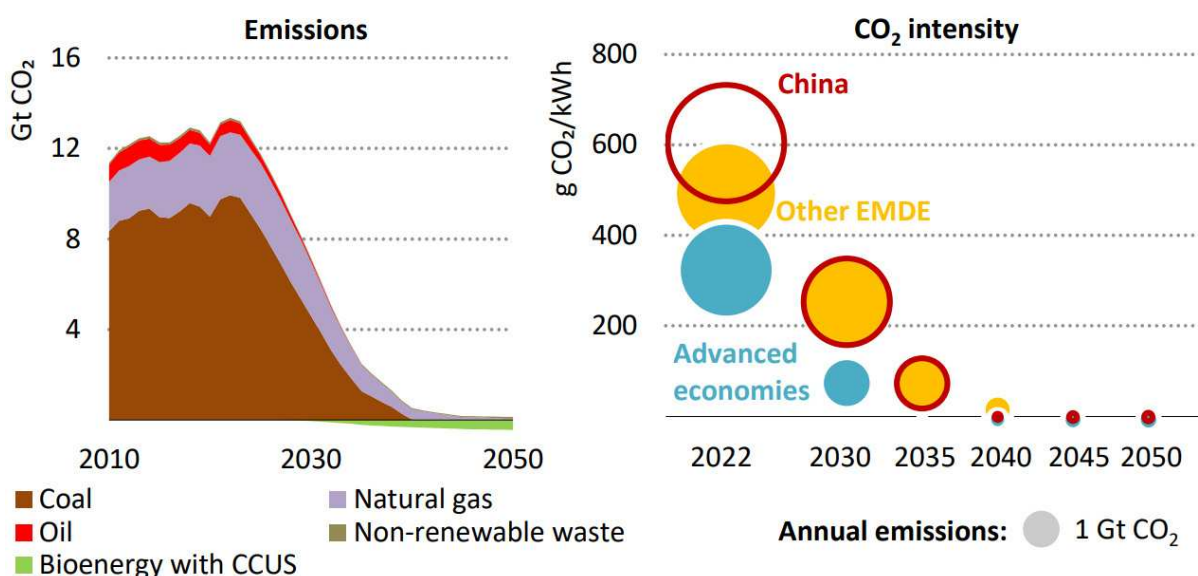
Observa-se que o cenário projeta que as economias avançadas investirão em fontes renováveis como principal meio de transição. Nessas economias, a capacidade nuclear instalada oscila com o encerramento de algumas usinas e expansão de novos projetos, mas se limitando a um total de aproximadamente 400 GW instalados até 2050.

Apesar de ser uma fonte de energia fóssil com emissões de GEEs muito menores que as outras, a energia nuclear ao ser instalada em uma região sempre é acompanhada de críticas e desaprovação da população devido aos riscos e os acidentes históricos no mundo. Fenômeno análogo também ocorre com Hidrelétricas, onde populações ribeirinhas não recebem o devido auxílio e para conseguirem transpor suas moradias, seus ofícios, suas culturas e suas vidas para ceder o espaço para que o gerador seja construído e se torne operante, ou mesmo situações históricas de rompimento de barragens que provocam o inevitável sentimento de insegurança na confiabilidade de projetos de grande magnitude e transformação do meio ambiente natural. A IEA reconhece esses fenômenos principalmente nas discussões dos Cenários APS e STEPS (2023e). O que sugere que, independente das

formas de transição e expansão energética uma nação opte, é necessário trabalhar, paralelamente, às questões sociais atreladas aos projetos a serem implementados.

Levando em consideração apenas o setor elétrico, as emissões mundiais estão apresentadas nos gráficos da Figura 18.

Figura 18 - Emissões do setor elétrico mundial no Cenário NZE



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 79).

Nota: other EMDE = mercados emergentes e economias em desenvolvimento com exclusão da China.

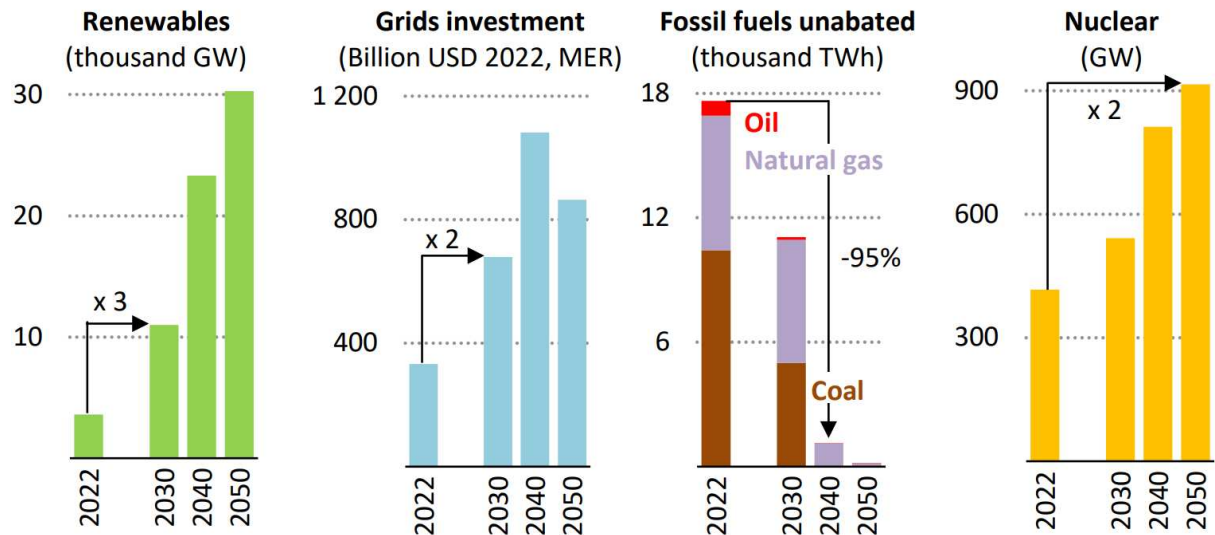
A China é a líder em emissões oriundas do setor elétrico justamente por possuir, até 2022, mais de 60% de sua eletricidade oriunda de carvão, de acordo com os dados da plataforma da IEA (2023f).

Pelo Cenário NZE (IEA, 2023f), as fontes de eletricidade de baixa emissão ultrapassam as fontes de combustíveis fósseis sem captura atingindo 71% da geração total em 2030. Os setores de eletricidade das economias avançadas atingem emissões líquidas zero até 2035, logo depois, por volta de 2040 o mesmo ocorre na China e até 2045 em outros mercados emergentes e economias em desenvolvimento. “Em todos os casos, a eletricidade é o primeiro setor energético a atingir emissões líquidas zero, criando oportunidades de eletrificação em outros setores para reduzir ainda mais as emissões.” (IEA, 2023f, p. 79 - 80, tradução própria.)

A IEA utiliza metas como guias para simplificar a evolução do cenário. Essas metas são mais fáceis de interpretar e sugerem uma mudança grande, mas gradual que deve ser feita de maneira global, levando em consideração o apoio de economias mais avançadas no combate às mudanças climáticas dedicado à evolução sustentável de economias em

desenvolvimento. A Figura 23 é um exemplo dessas metas guias expostas no roteiro do Cenário NZE.

Figura 19 - Marcos do Cenário NZE para o setor elétrico mundial



Fonte: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (IEA, 2023f, p. 80)

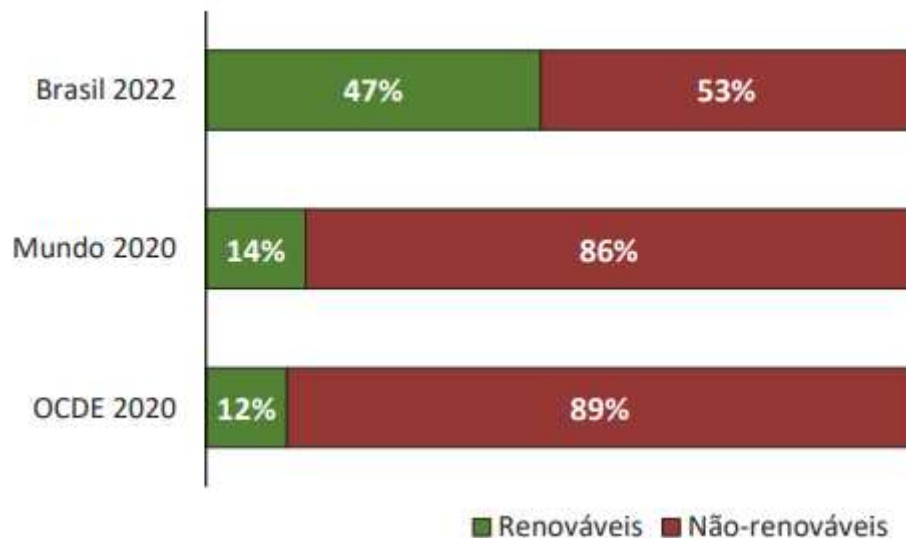
Nota: renewables = fontes renováveis; grids investments = investimentos na rede elétrica; billion USD 2022 MER = bilhões de dólares americanos utilizando taxa de câmbio do mercado; fossil fuels unabated = combustíveis fósseis sem tecnologias de redução de emissões de CO₂; oil = petróleo; coal = carvão.

4.2 Situação do Brasil

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), como descreve em sua plataforma (EPE, [s. d.]), presta serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Seu objetivo é assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país. Com isso, a EPE tem a responsabilidade de realizar e publicar estudos no setor energético nacional.

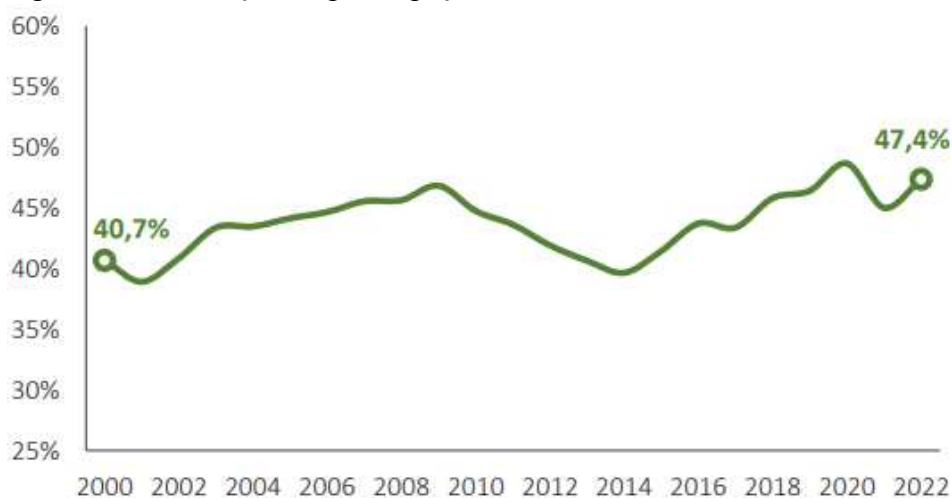
No Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023) com apoio da IEA, são apresentadas as Figuras 20 e 21 sobre a Oferta Interna de Energia (OIE) do Brasil.

Figura 20 - Comparação internacional da participação de fontes renováveis na OIE



Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 19).

Figura 21 - Evolução da participação de fontes renováveis na OIE



Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 19).

Pelos dados, se observa que nos anos mais recentes o Brasil usufruiu de energias renováveis em quase metade de sua demanda interna de energia. No ano de 2020 a situação era bem positiva em relação ao mundo e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a qual engloba 38 economias e o País é candidato a ingressar desde 2022.

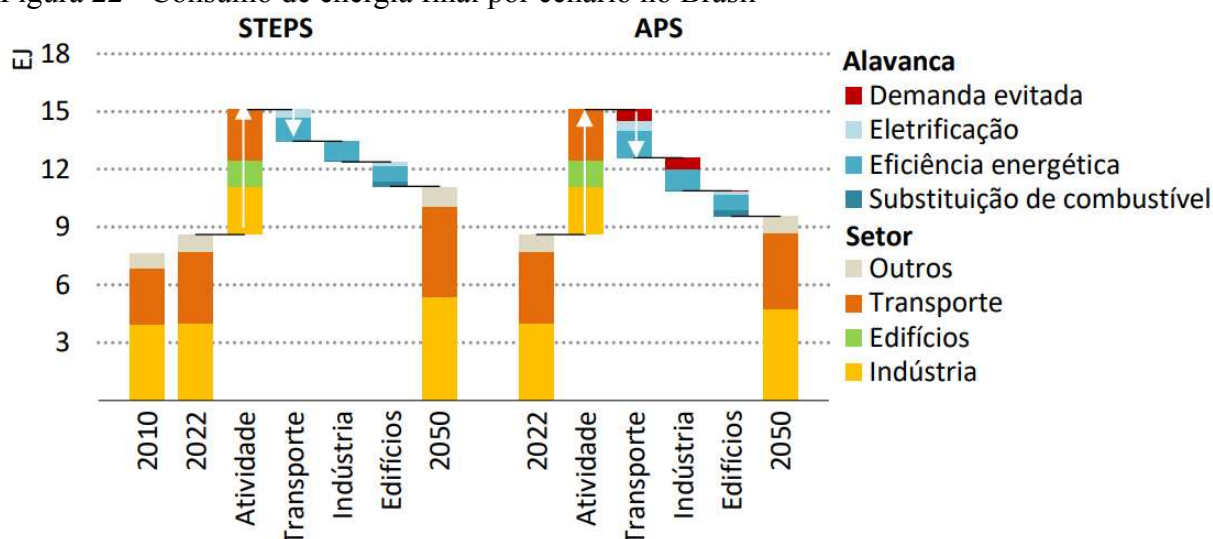
Como descrito em sua plataforma (IEA, 2024b), a IEA está no centro do diálogo global, fornecendo análises confiáveis, dados, recomendações de políticas e soluções reais para ajudar os países a fornecer energia segura e sustentável para todos. Ela colabora com os

principais países emergentes para expandir seu impacto global desde 2015. O Brasil compartilha dados com a IEA que por sua vez emite relatórios de análises das previsões e adiciona esses dados às previsões globais.

A IEA em 2023 publicou um coletivo de relatórios sobre as perspectivas energéticas da América Latina. Um dos relatórios é a perspectiva do Brasil que apresenta as projeções dos Cenários APS e STEPS.

Segundo a perspectiva (IEA, 2023e), e como apresentado na Figura 22, até 2050 o País aumentará seu consumo energético até aproximadamente 15 EJ, quase o dobro de 2022, porém, graças às medidas declaradas à IEA, esse desenvolvimento será controlado à medida que o Brasil desenvolve seu setor energético.

Figura 22 - Consumo de energia final por cenário no Brasil



Fonte: Latin America Energy Outlook (Brazil Overview) (IEA, 2023e, p. 12).

Como detalha a IEA (2023, p. 12) acerca da Figura 22: “Atualmente, os setores de transporte e indústria respondem por 75% do consumo de energia final no Brasil. No cenário STEPS, o consumo final total aumenta mais de 30% até 2050 [...]. No cenário APS, os ganhos de eficiência energética e a demanda evitada fazem com que o consumo final cresça quase 15% menos que no STEPS.”

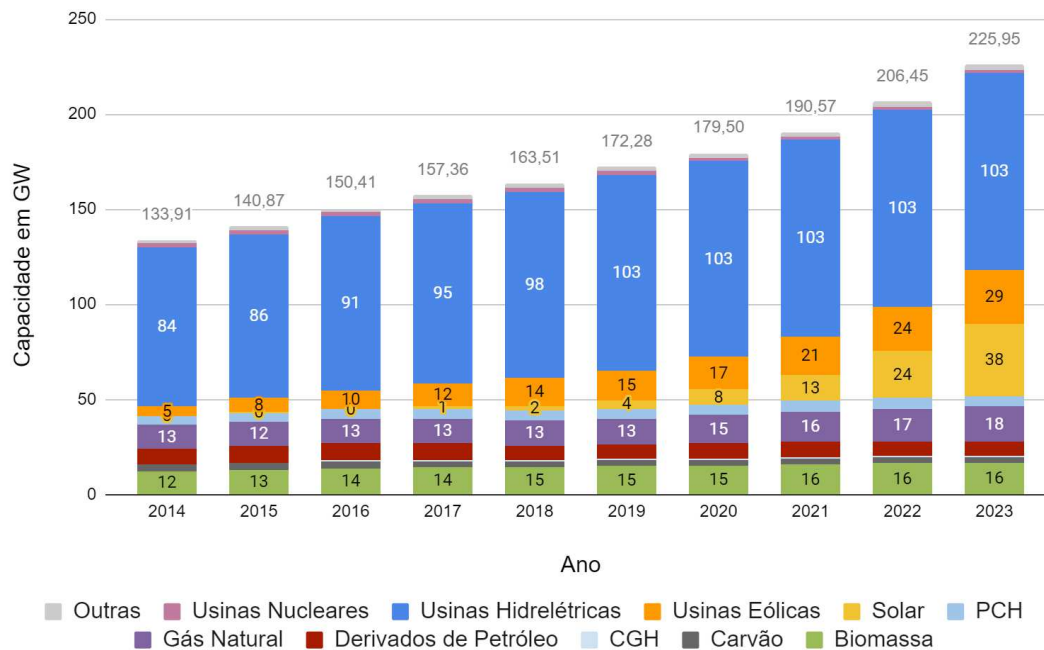
O cenário APS é uma proposta muito mais otimista que leva em conta uma mudança de conduta e um maior empenho do país em melhorar a eficiência energética.

O Brasil é um país cuja a maior parte de sua eletricidade deriva de fontes renováveis. As grandes instalações de hidrelétricas, apesar de suas complicações de impactos ambientais e sociais negativos, sobretudo, à populações ribeirinhas, foram o que permitiram o desenvolvimento de uma rede interligada de energia que se destaca mundialmente pelo

tamanho e pela grande participação de fontes renováveis. Isso dá ao Brasil uma imagem positiva internacionalmente e uma posição avantajada no que tange a transição energética para o combate às mudanças climáticas. Entretanto, as revisões de dados, publicados pela EPE e pela IEA na intenção de acompanhar o desenvolvimento sustentável global, mostram que o Brasil ainda tem grandes desafios e que mais estratégias e investimentos precisam ser dedicados para que ele não perca sua posição de referência em eletrificação sustentável.

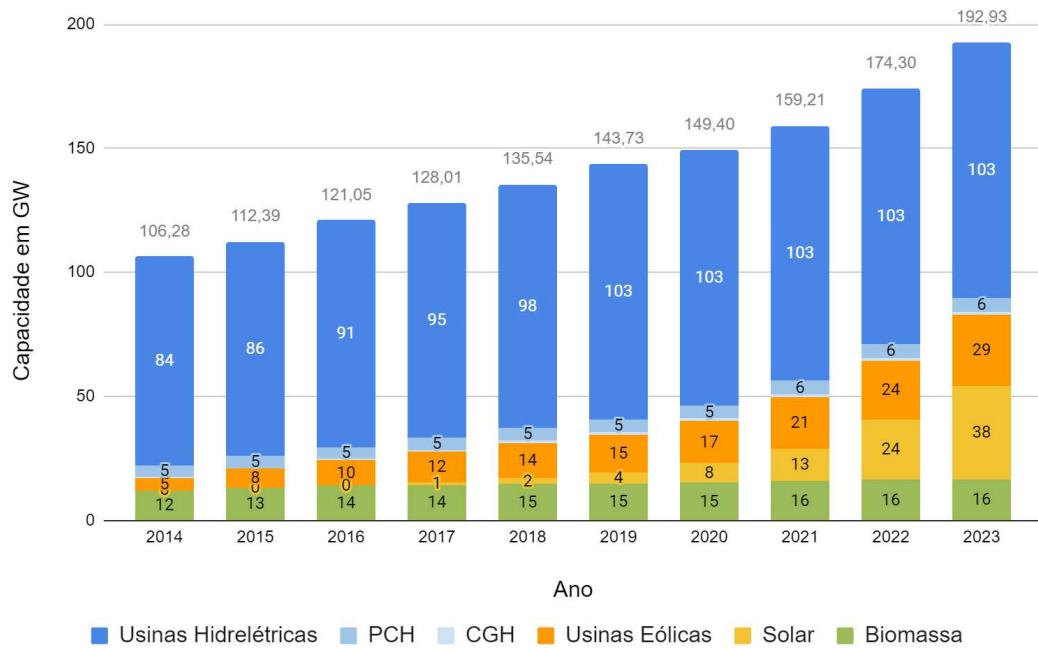
A partir dos dados fornecidos pelo Anuário Estatístico de Energia de 2024 publicado pela EPE que contempla dados de 2014 a 2023, foi possível construir gráficos de análise da capacidade de geração elétrica instalada (Figuras 23, 24, 25 e 26), juntamente com a geração declarada (Figuras 27, 28, 29 e 30), além dos valores de emissão por sistema gerador de eletricidade no Brasil (Figuras 31, 32, 33 e 34).

Figura 23 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

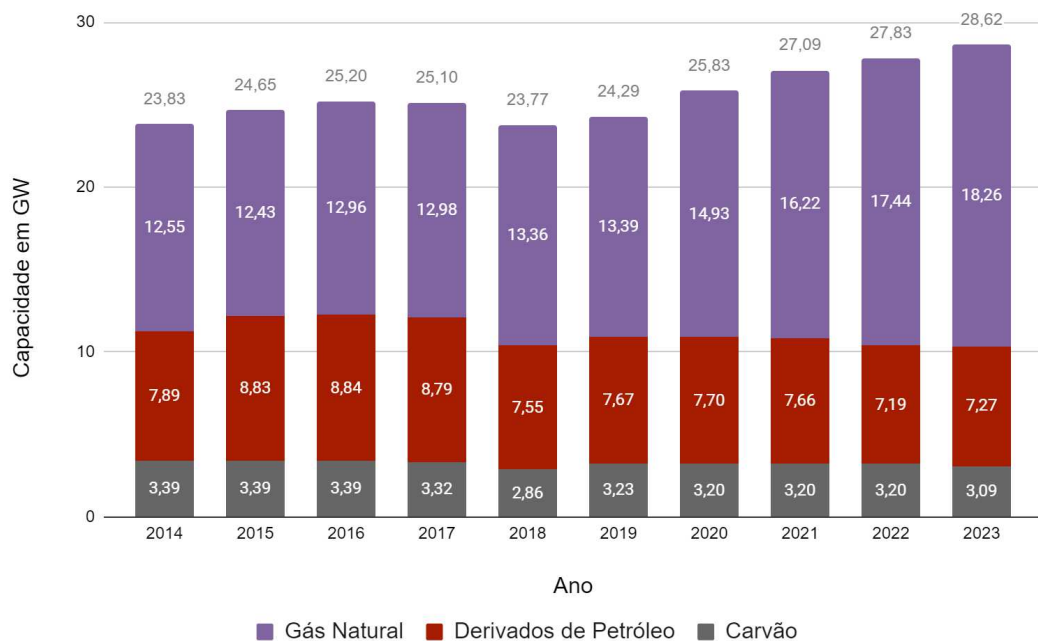
Figura 24 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (fontes renováveis)



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Notas: biomassa = inclui bagaço de cana, carvão vegetal, gás de alto forno-biomassa, lixívia e lenha; CGH = Central Geradora Hidrelétrica com potência instalada de até 5 MW; PCH = Pequena Central Hidrelétrica com potência instalada entre 5 MW e 30 MW; usinas hidrelétricas são de grande porte e têm capacidade acima de 30 MW.

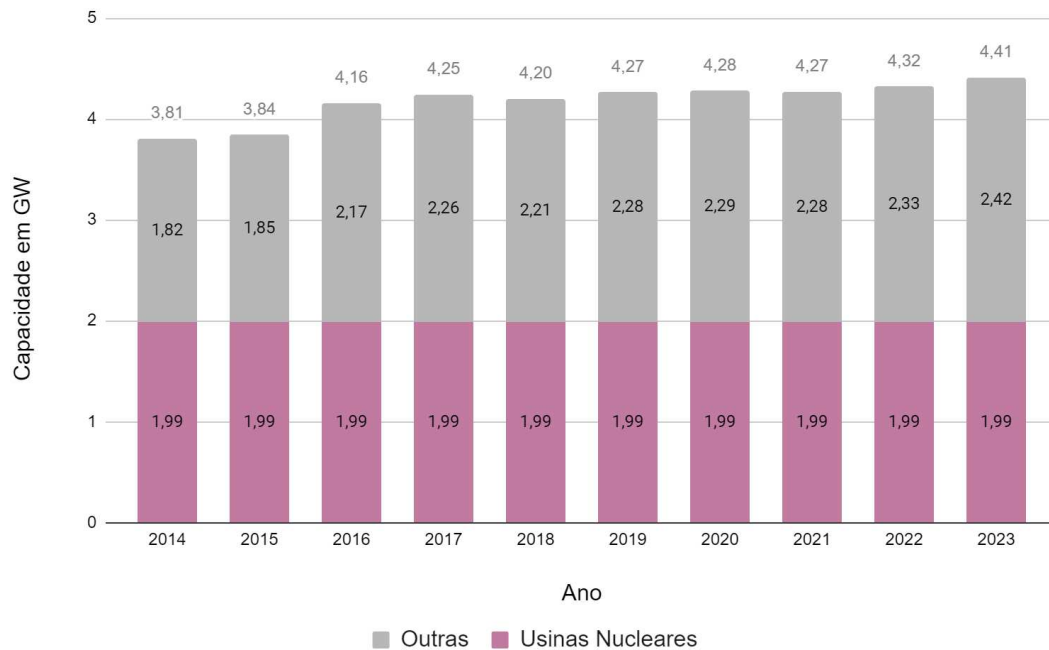
Figura 25 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (fontes fósseis)



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Nota: derivados de petróleo = óleo diesel e óleo combustível.

Figura 26 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (nucleares e outras)

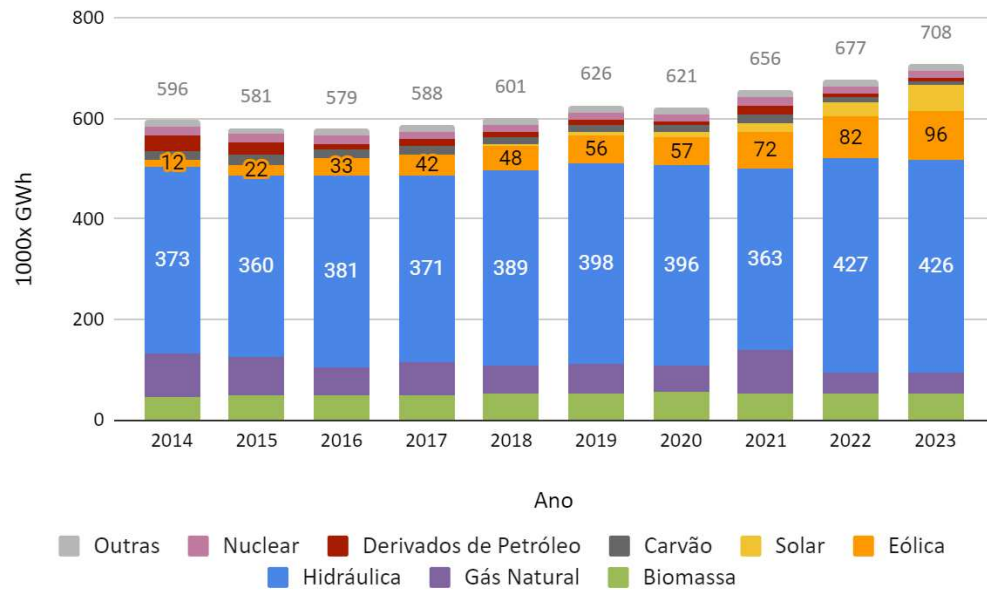


Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Nota: outras = biogás, capim elefante, casca de arroz, óleos vegetais, gás de refinaria, óleo ultraviscoso, efluentes industriais (efluentes gasosos, enxofre, gás siderúrgico, gás de alto forno e gás de processo), alcatrão e fontes desconhecidas.

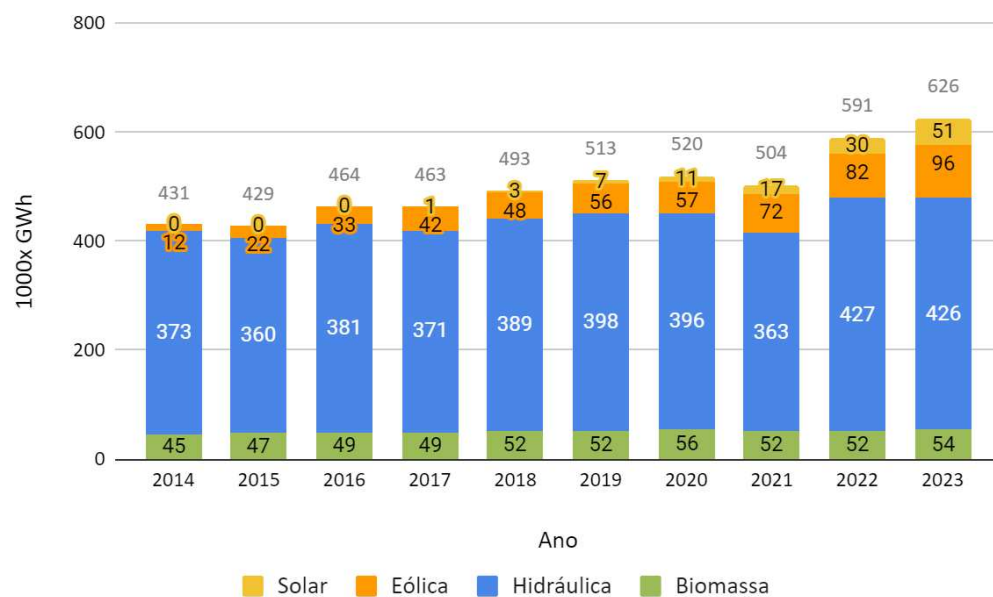
A partir dos gráficos de capacidade instalada de geração elétrica, vemos que houve um crescimento constante de 2014 a 2023 e que esse aumento se dá principalmente pelos investimentos em fontes de energias renováveis. O percentual de aumento é de 81,53% para fontes renováveis e 20,10% para fontes fósseis. Não houve alteração na capacidade instalada de energias nucleares. Em “Outras” constituem diferentes fontes, que isoladamente oferecem pouca contribuição na escala nacional. Em 2014 a capacidade instalada de fontes renováveis representava 79,37% e em 2023 essa parcela aumentou para 85,39%.

Figura 27 - Geração elétrica no Brasil por fonte



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

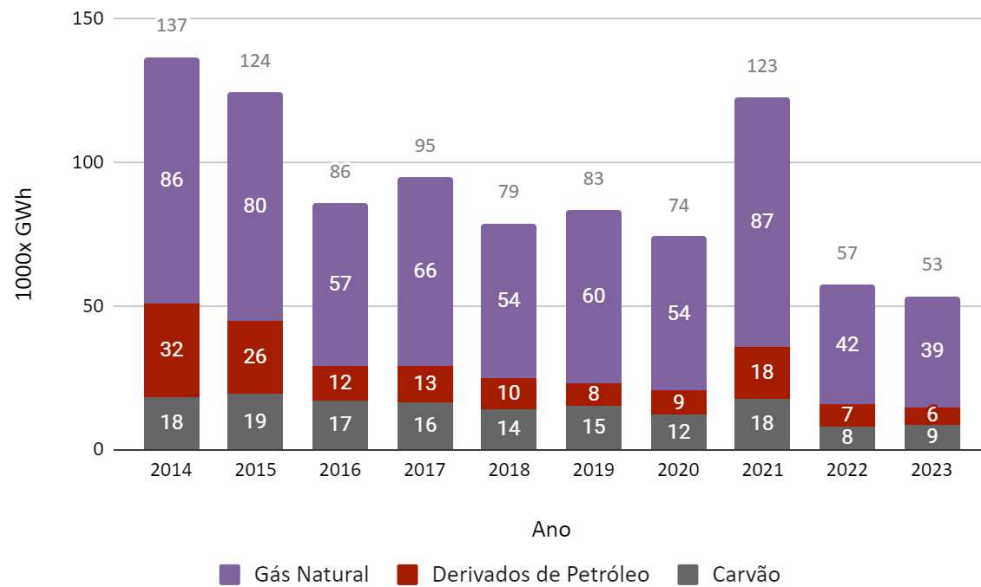
Figura 28 - Geração elétrica no Brasil por fonte renovável



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Nota: biomassa = bagaço de cana, lenha e lixívia.

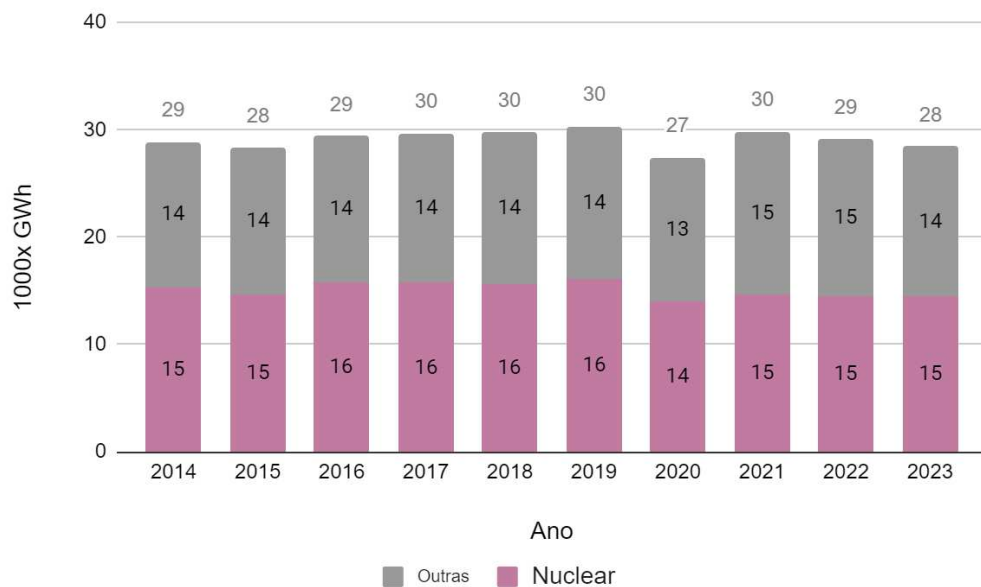
Figura 29 - Geração elétrica no Brasil por fonte fóssil



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Nota: derivados de petróleo = óleo diesel (inclui biodiesel) e óleo combustível.

Figura 30 - Geração elétrica no Brasil por fonte nuclear e outras



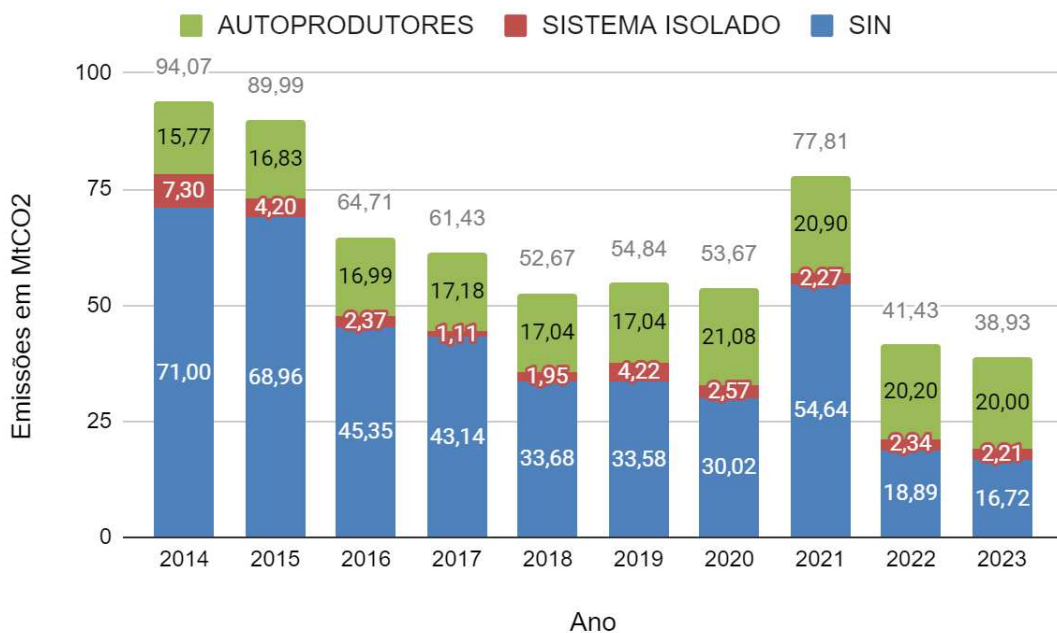
Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Nota: outras = gás de coqueria, outras não-renováveis e outras renováveis.

Em 2014 as fontes renováveis representavam 72,31% na geração e em 2023 representavam 82,42%. Comparando os gráficos de capacidade instalada e a geração elétrica que ocorreu, vê-se que o aumento total de instalação foi 68,73%, enquanto do aumento total de geração foi de 18,79%. A capacidade instalada não acompanhou a geração na mesma

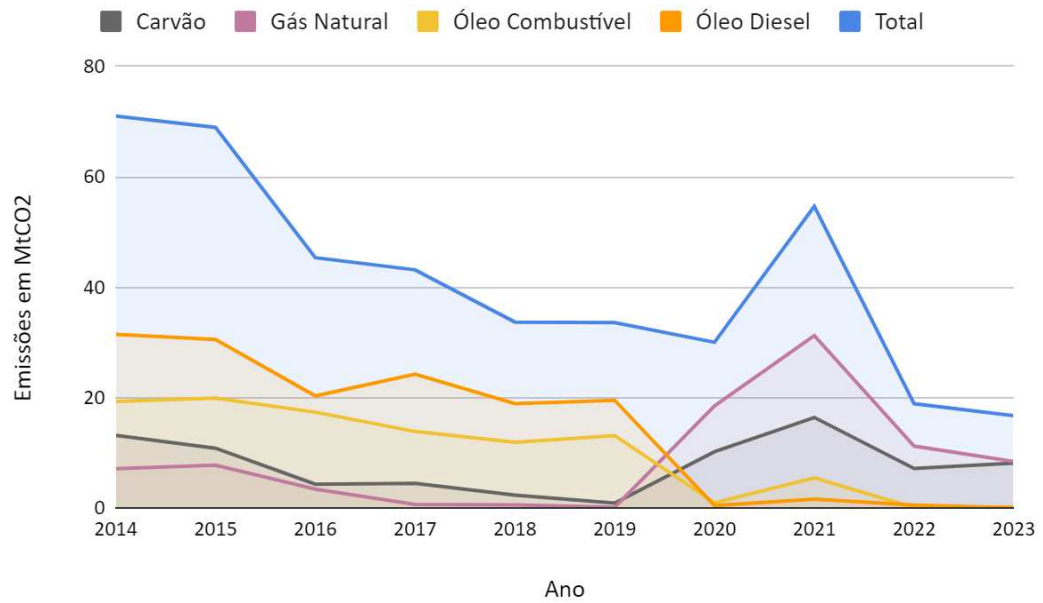
proporção e para justificar isso existem algumas considerações a serem feitas. A capacidade instalada é o total teórico que as usinas podem gerar se operarem em carga máxima o tempo todo. No entanto, a geração real depende do fator de capacidade, que varia conforme o tipo de fonte de energia. Fontes renováveis como solar e eólica têm fatores de capacidade mais baixos, ou seja, nem sempre produzem na sua capacidade máxima devido à intermitência (sol ou vento ausentes). Também, novas usinas podem ser construídas para garantir a segurança energética e atender a picos de demanda, mas nem sempre são utilizadas ao máximo de sua capacidade, especialmente em períodos de baixa demanda ou quando outras fontes são priorizadas. Além disso, a diminuição no uso de termelétricas ou a gestão hídrica de hidrelétricas para preservar água nos reservatórios pode reduzir a geração efetiva, apesar de haver uma maior capacidade instalada disponível, como ocorreu em 2021: por conta de crises hídricas as hidrelétricas tiveram que trabalhar menos para poupar água nos reservatórios e isso é expressivo no gráfico de geração de energia elétrica total que mostra um pico de geração por fontes fósseis por conta do acionamento das termelétricas de forma compensatória.

Figura 31 - Emissões totais de GEE por sistema



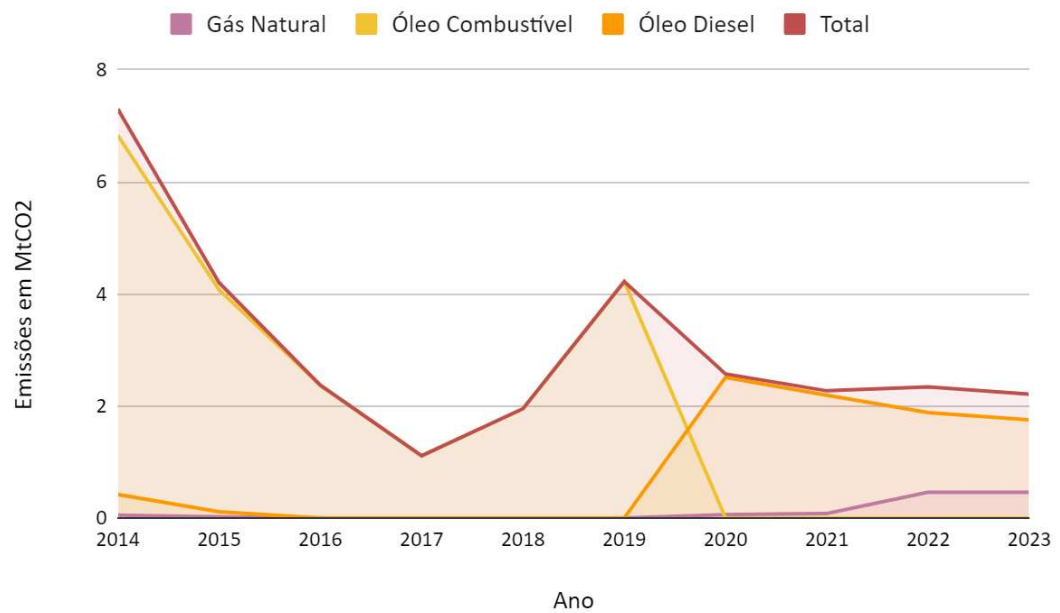
Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Figura 32 - Emissões de GEE do SIN



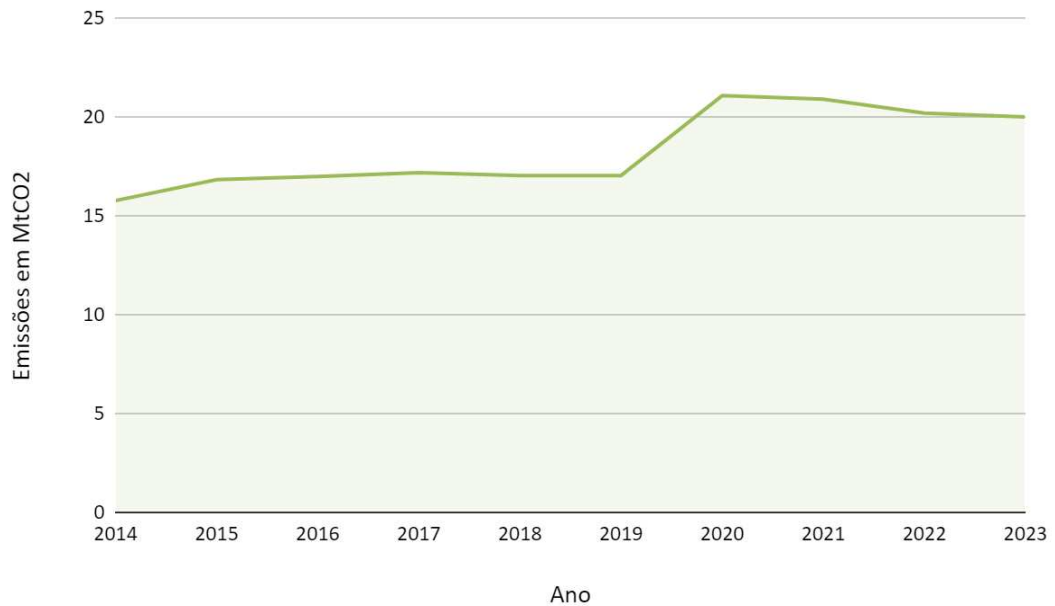
Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Figura 33 - Emissões de GEE dos Sistemas Isolados



Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Figura 34 - Emissões de GEE dos Autoprodutores

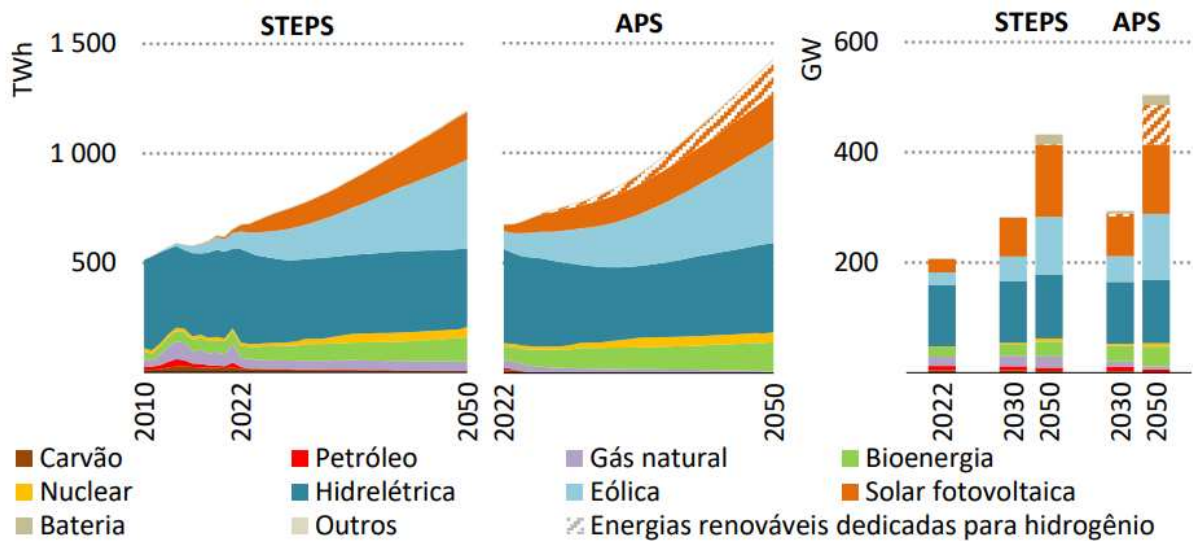


Fonte: autoral, a partir dos dados coletados Anuário Estatístico de Energia de (EPE, 2024).

Com os gráficos de emissões de gases de efeito estufa, vemos que das 38,93 milhões de toneladas de CO₂ emitidas em 2023, 51,4% foram provenientes da geração em Autoprodutores, 42,9% foram emitidos por meio da geração no Sistema Interligado Nacional (SIN) e 5,7% das emissões estavam associadas aos Sistemas Isolados. As evoluções seguiram da seguinte forma desde 2014: redução de 58,61% do total; aumento de 26,82% pelos autoprodutores; redução de 76,45% pelo SIN; e redução de 69,73% por Sistemas Isolados. Assim, comparando com os gráficos anteriores, é evidente que a queda de emissões de GEE na geração de eletricidade do país acompanha a transição energética e os investimentos que vêm acontecendo em instalação de geração elétrica por fonte renovável. É possível também observar o cenário de crise de 2021 observado pelo acionamento compensatório de termelétricas e o quão impactante foi para os níveis de emissões daquele ano, tendo o SIN emitido mais de 3 vezes o que emitiu em 2023.

A partir da perspectiva do Brasil (IEA, 2023e), foram analisados os gráficos de projeção de geração e capacidade de eletricidade nacional nos Cenários APS e STEPS, como mostra a Figura 35.

Figura 35 - Capacidade e geração de eletricidade por combustível e cenário no Brasil

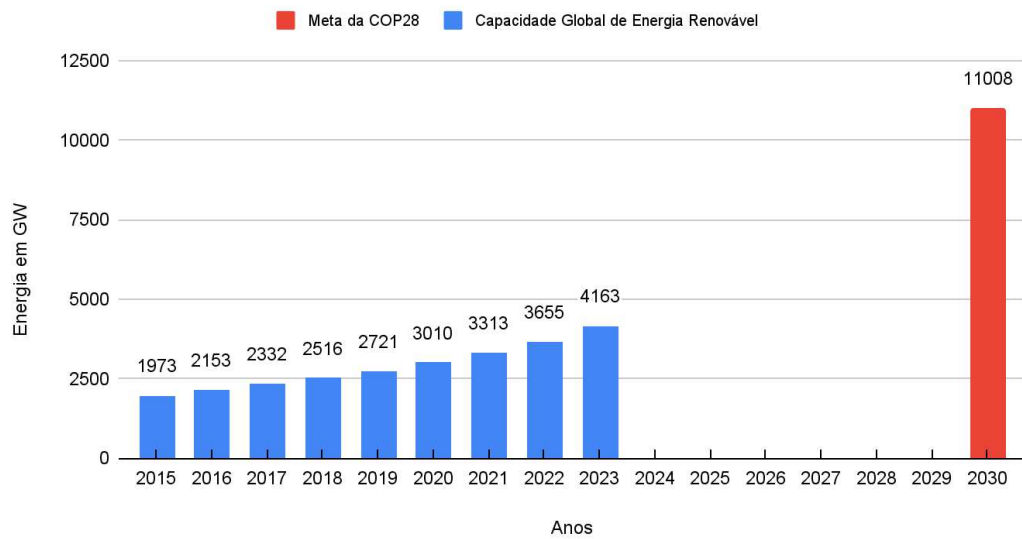


Fonte: Latin America Energy Outlook (Brazil Overview) (IEA, 2023e, p. 14).

É notável a evolução da energia elétrica renovável no Brasil pelas previsões STEPS e APS. O Brasil sempre foi um líder na inclusão de fontes renováveis na matriz energética e desde a última década vimos um grande crescimento de fontes eólicas e solares que continuarão a crescer até 2050 como a principal rota de eletrificação do País. Nesse gráfico, toda a geração por meio de hidrogênio foi incluída apenas na previsão APS, uma previsão mais otimista. É fato que o país tem se comprometido a impulsionar métodos de produção e uso de hidrogênio verde como novidade para as próximas décadas, mas essa é uma grande promessa que ainda não oferece nenhuma segurança de mercado.

Como dito anteriormente, na COP-28 foram estabelecidas as metas de triplicar a capacidade global de energia renovável até 2030, com o objetivo de manter dentro do alcance a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5°C. A IEA disponibiliza um gráfico semelhante a Figura 36, onde pode-se observar a evolução dos últimos anos e a meta de capacidade instalada de eletricidade renovável estabelecida para 2030.

Figura 36 - Meta de Instalação Global de Eletricidade Renovável para 2030 em GW



Fonte: Global renewable energy capacity and COP28 pathway 2030 (IEA, 2024c).

Além de triplicar a capacidade global de energia renovável instalada, para 2030 espera-se obter 30000 GW de instalação até 2050 (IEA, 2024c). A partir disso e das previsões populacionais do Brasil e do mundo, considerando que essa distribuição de capacidade instalada seja proporcional à população de cada país, foi feita uma estimativa de o quanto o Brasil teria que contribuir para que o mundo se mantenha no Cenário NZE.

Os dados de crescimento populacional mundial foram coletados na plataforma das nações unidas, com a última edição de projeção populacional (UN, 2024) e mostram que de 2022 até 2050 o mundo irá crescer em cerca de 1 bilhão e 700 milhões de pessoas. A Tabela 2 aponta alguns desses anos.

Tabela 2 - Projeção populacional no mundo até 2050

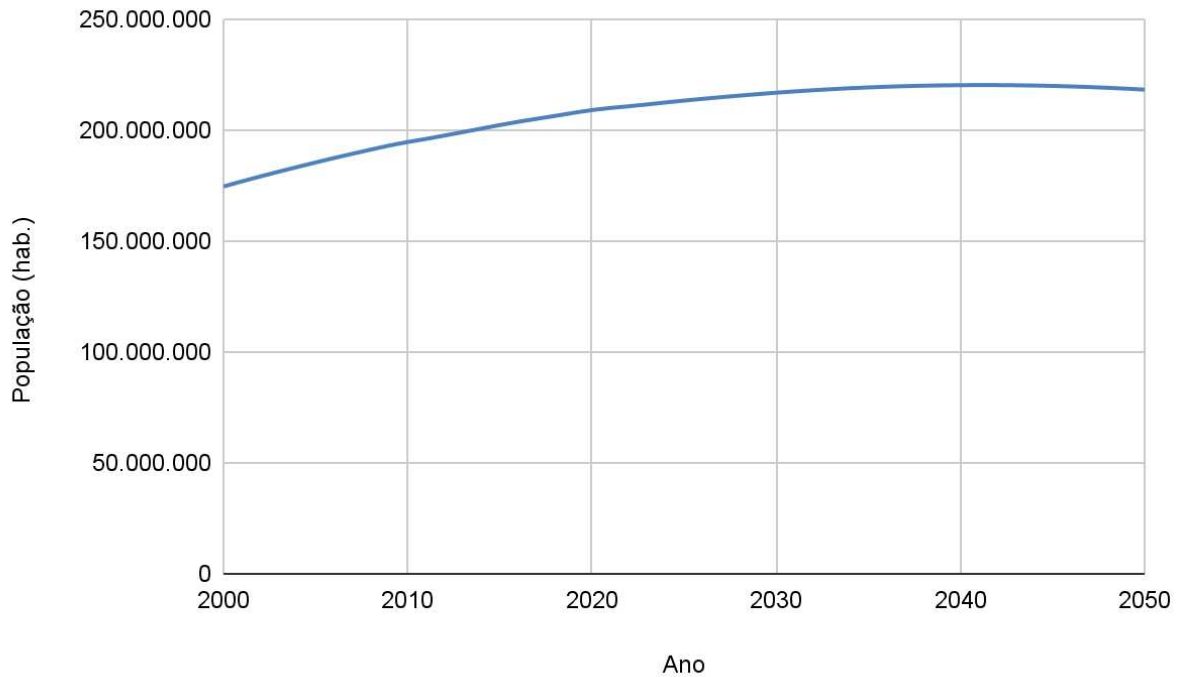
Ano	População Mundial (hab.)
2022	7.922.312.800
2023	8.091.734.930
2030	8.569.124.911
2040	9.177.190.203
2050	9.664.378.587

Fonte: 2024 Revision of World Population Prospects (UN, 2024).

Em relação ao crescimento populacional do Brasil, a fonte utilizada foi a previsão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que apresenta um pico no ano de

2041 com 220.425.299 habitantes. De 2022 a 2050 a população do Brasil deve aumentar em cerca de 7 milhões, como mostra a Figura 37.

Figura 37 - Projeção do crescimento populacional do Brasil



Fonte: Projeções das Populações (IBGE, 2024)

Na tabela 3 estão apresentando os valores que se espera atingir de capacidade de energia renovável instalada nas próximas décadas.

Tabela 3 - Capacidade esperada do Brasil

Ano	População estimada		Capacidade instalada de eletricidade gerada por fontes renováveis			
	Brasil (milhões de hab.)	Mundo (milhões de hab.)	Brasil Atual (GW)	Mundo Atual (GW)	Mundo Metas COP-28 (GW)	* Esperada do Brasil (GW)
2022	211	7.922	174	3.655	-	97
2023	212	8.092	193	4.163	-	109
2030	217	8.569	-	-	11.000	279
2040	220	9.177	-	-	21.500	516
2050	218	9.664	-	-	30.000	678

Fonte: autoral, com dados mesclados de diferentes fontes. Projeções populacionais retiradas da UN (2024) e do IBGE (2024). Capacidades instaladas de eletricidade de fonte renovável retiradas da EPE (2023) para o Brasil e da IEA (2024) para o mundo.

Nota: *supondo uma distribuição de energia proporcional à população mundial.

Ao comparar a Tabela 3 com o a Figura 35, pode-se prever que o Brasil atinge as metas discutidas na COP-28 até 2030, porém numa projeção mais longa, o país fica bem atrás dos 678 GW esperados como projetam os Cenários STEPS e APS. Isso indica a necessidade de desenvolver mais políticas de longo prazo.

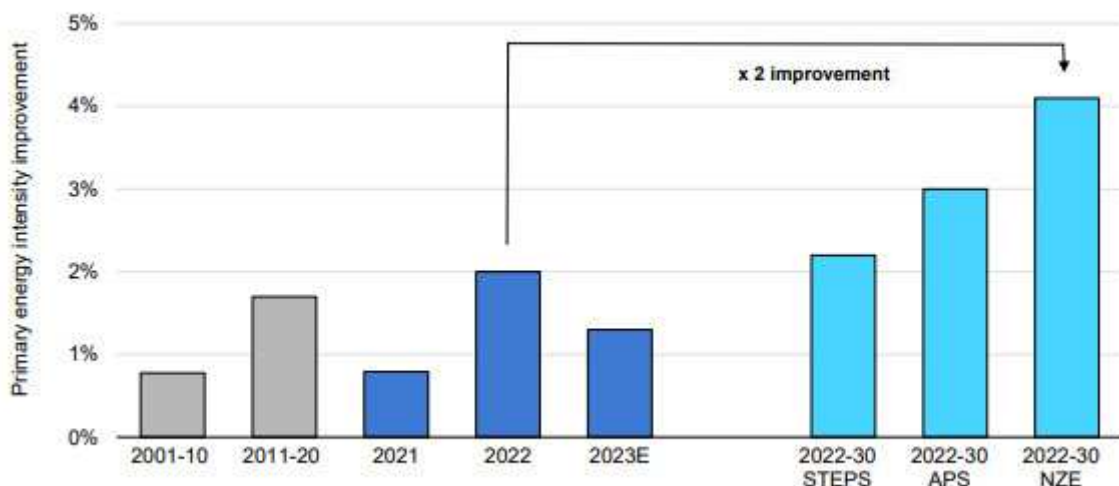
4.3 Eficiência energética

Atualmente, a eficiência energética está recebendo um grande foco global entre os formuladores de políticas, em reconhecimento à sua importante função de aumentar a segurança e a acessibilidade energética e de acelerar as transições de energia limpa. Eficiência energética refere-se à relação entre a quantidade de energia usada e a quantidade de trabalho ou serviço útil obtido. Quando se aumenta a eficiência energética, significa que é possível fazer mais com menos energia.

Como dito anteriormente, os governos concordaram na COP-28 em dobrar a taxa média anual global de melhorias na eficiência energética até 2030. De acordo com o Cenário NZE (IEA, 2023f), o progresso anual precisa dobrar de uma linha de base de 2% ao ano para uma média de mais de 4% ao ano até 2030. Em 2023, a eficiência energética global melhorou em uma estimativa de 1,1%, bem abaixo da meta.

A Figura 38 foi coletada do relatório anual mais recente (2023a) de Eficiência Energética da IEA e trata sobre a evolução de Intensidade Energética.

Figura 38 - Melhoria na intensidade energética anual por cenário da IEA



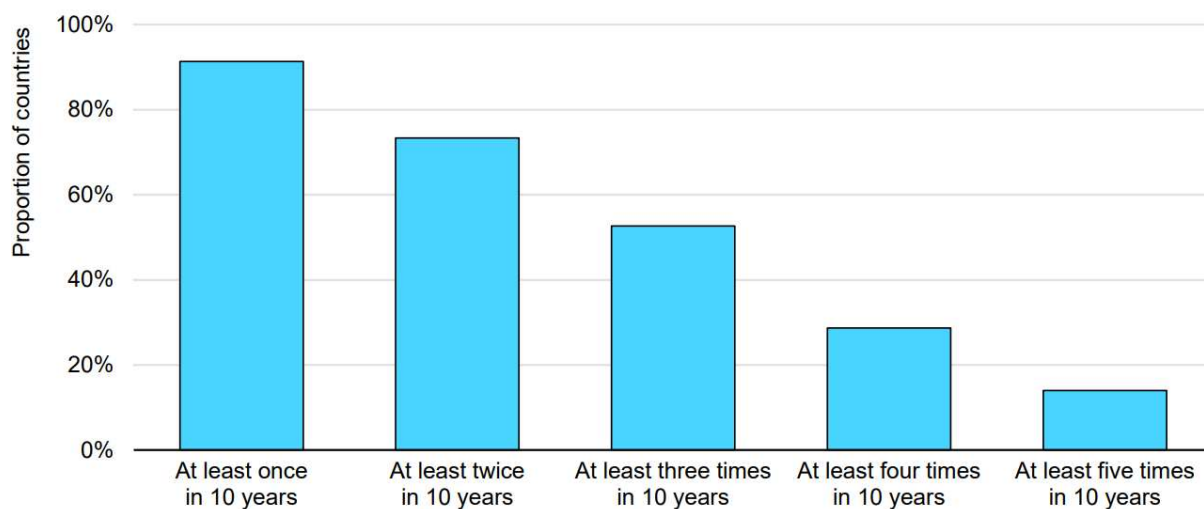
Fonte: Energy Efficiency 2023 (IEA, 2023a, p. 9).

Entende-se como Intensidade Energética a quantidade de energia gasta por unidade de produção, serviço ou atividade executada, ou seja, é a energia primária consumida dividida pelo Produto Interno Bruto. A Melhoria na Intensidade Energética é interpretada

como a sua redução, ou aumento da Eficiência Energética. O valor de 2% significa que no ano de 2022 o mundo consumiu 2% a menos de energia para obter o mesmo PIB do ano anterior, a partir de 2030 espera-se que todos os anos seguintes passem a consumir 4% menos energia que o ano anterior para obter o mesmo PIB, de modo a atender as metas estabelecidas na COP-28.

Embora dobrar a taxa de progresso da intensidade energética global seja uma meta desafiadora, como pontua a IEA (2023a), não se trata de um nível de progresso sem precedentes. Nos últimos dez anos, 90% dos países atingiram a taxa de 4% pelo menos uma vez, e metade o fez pelo menos três vezes. No entanto, mesmo que vários outros tenham chegado perto, apenas quatro países do G20 conseguiram atingir essa meta em um período contínuo de cinco anos na última década, são eles: China, França, Reino Unido e Indonésia. A Figura 39 mostra como é essa distribuição.

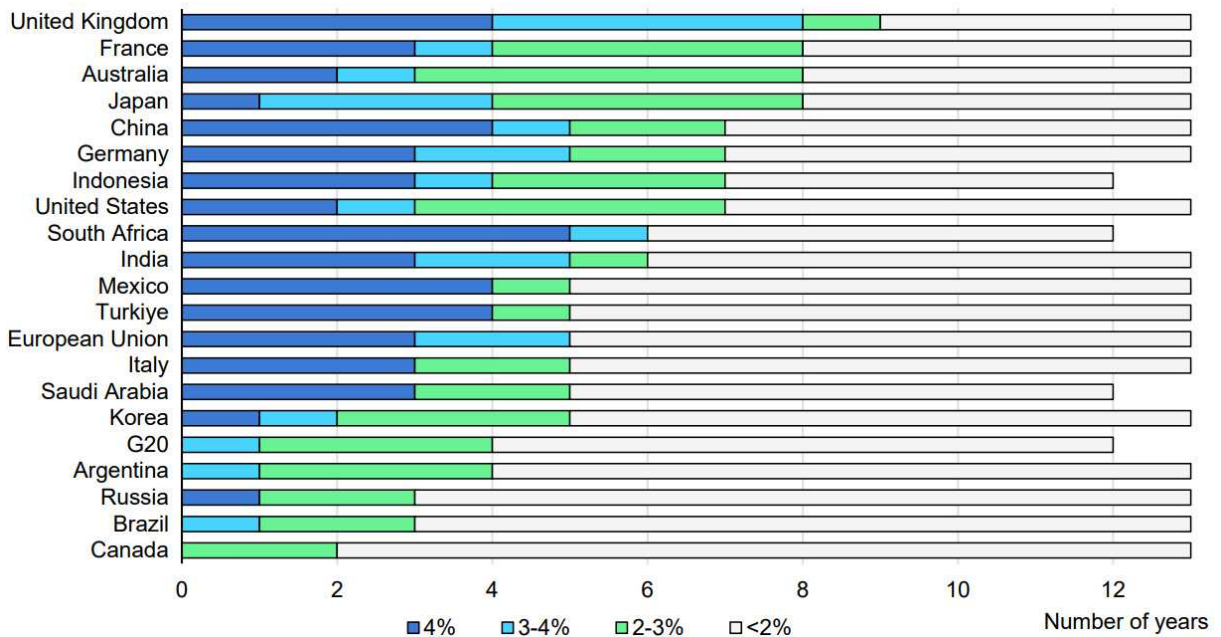
Figura 39 - Proporção de países que superaram uma melhoria anual de 4% na intensidade energética uma ou mais vezes entre 2012 e 2021



Fonte: Energy Efficiency 2023 (IEA, 2023a, p. 14).

Entretanto, quando analisada a situação dos países membros do G20 na Figura 40, percebe-se que o Brasil se encontra entre os piores resultados das grandes economias, não tendo alcançado a meta de 4% de eficiência energética anual nenhuma vez na última década. (IEA, 2023a).

Figura 40 - Progresso da intensidade energética, número de anos acima de 2%, 3% e 4% para os países do G20, 2010-2022.



Fonte: Energy Efficiency 2023(IEA, 2023a, p. 99).

O Atlas da Eficiência Energética no Brasil (EPE, 2023) mostra que, entre 2013 e 2022, o Brasil investiu quase 5 bilhões de reais em pesquisa, como apresenta a Figura 41, desenvolvimento e demonstração (PD&D) em projetos de eficiência energética oriundos de investimentos públicos ou publicamente orientados. Desse montante, mais da metade foi oriunda do BNDES, enquanto a ANEEL e a Finep corresponderam a 13% e 11%, respectivamente.

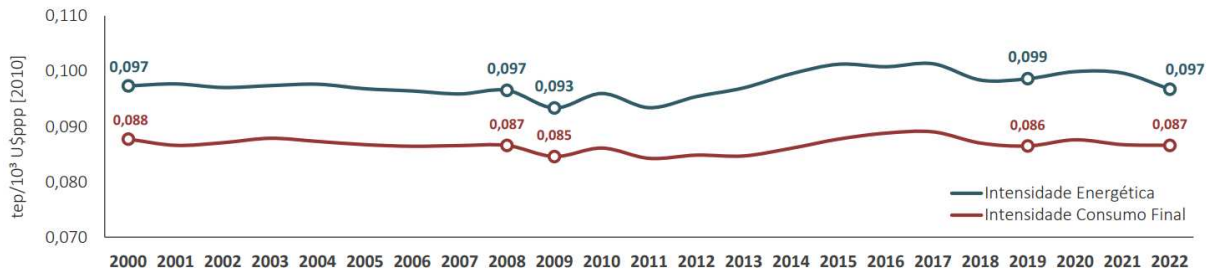
Figura 41 - Evolução dos investimentos de PD&D em Eficiência Energética



Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 23).

Entretanto, ao analisar outro gráfico apresentado pelo Atlas (Figura 42), observa-se que a Intensidade Energética oscilou durante os anos sem apresentar grandes mudanças.

Figura 42 - Evolução da intensidade energética no Brasil



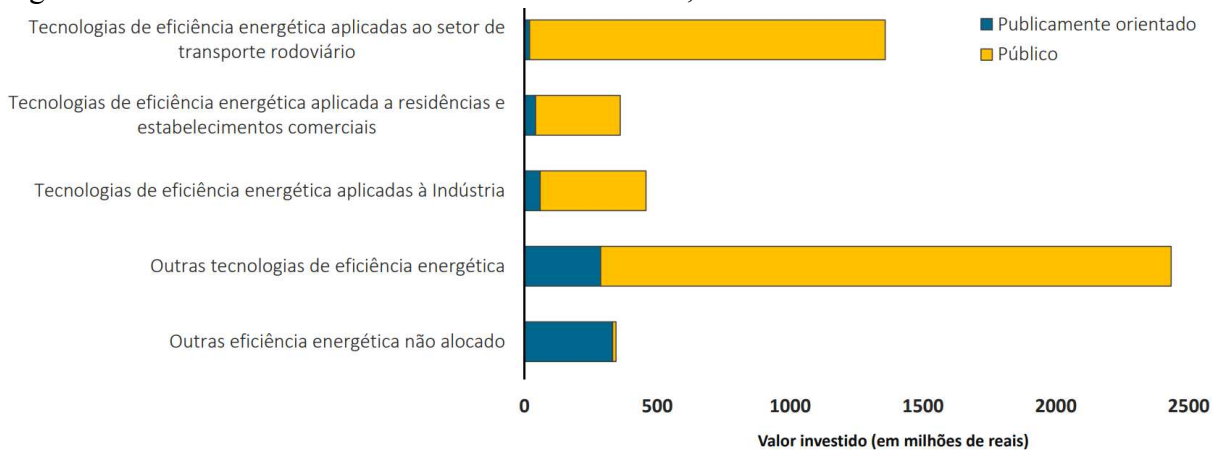
Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 22).

Nota: 100 tep/US\$ ppp [2010] = energia consumida (em toneladas equivalentes de petróleo) por unidade de PIB ajustado pela paridade do poder de compra de 2010; Intensidade Energética Primária = Energia total (incluindo perdas) usada por unidade de PIB; Intensidade Energética Final = Energia consumida pelos usuários finais por unidade de PIB.

O gráfico apresenta um perfil de crescimento a partir de 2011, mesmo com o crescente investimento em PD&D. Segundo a EPE (2023, p. 22), “a tendência de crescimento das intensidades energéticas pode estar associada ao crescimento da produção de energointensivos de baixo valor agregado na pauta produtiva, em relação aos demais produtos manufaturados.” Por volta de 2018 até 2022 houve pouca oscilação, mesmo com a queda anual dos investimentos em Eficiência Energética.

A natureza dos investimentos realizados é apresentada na Figura 43.

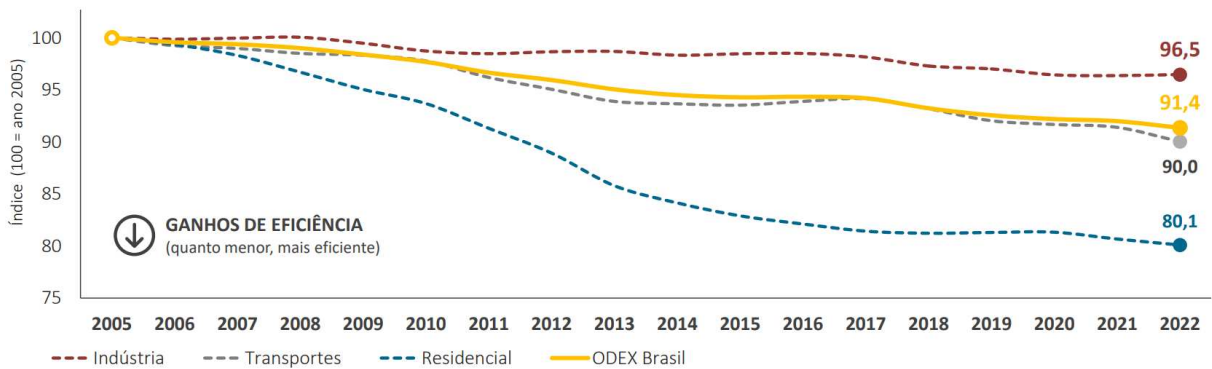
Figura 43 - Natureza e modalidade dos investimentos, em milhões de reais - 2013 a 2022



Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 24).

O Atlas também fornece a avaliação ODEX, que é um indicador mais específico que mede a evolução da eficiência energética em diferentes setores, considerando as melhorias tecnológicas e as mudanças nas práticas energéticas em cada setor, como mostra a Figura 44.

Figura 44 - ODEX Brasil

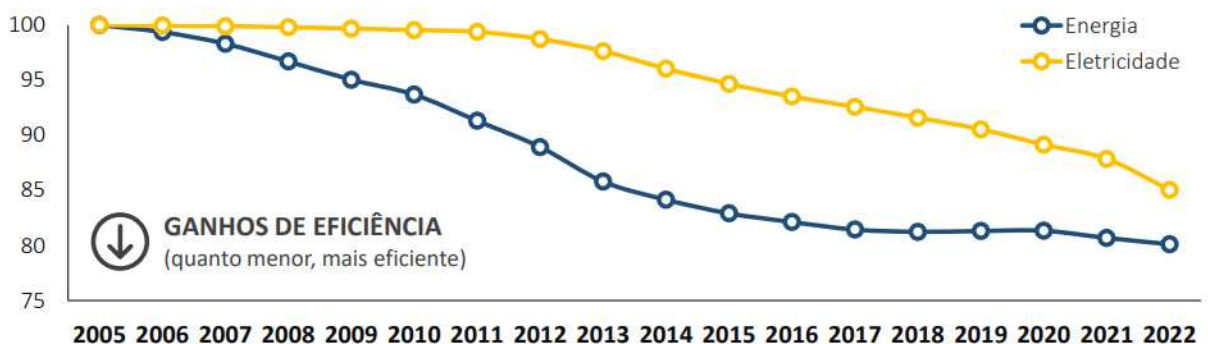


Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 26).

A principal fonte de energia utilizada nas edificações é a eletricidade. Os edifícios comerciais e públicos utilizam majoritariamente a eletricidade com 90% de participação.

No ano de 2022 as residências utilizaram 46% de eletricidade, 22% GLP e 26% de lenha. A avaliação ODEX isolada das residências evidenciando a parcela elétrica é apresentada no Atlas como mostra a Figura 45.

Figura 45 - Evolução do ODEX residencial calculado para energia total e eletricidade



Fonte: Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores (EPE, 2023, p. 39).

Enquanto o ODEX calculado para eletricidade assinalou queda de 15% entre 2005 e 2022, a retração do ODEX para a energia foi de 20%. Observa-se, que nos últimos anos, o declínio do indicador é mais significativo para a energia elétrica, sugerindo a importância dessa fonte na conservação de energia residencial no país. Além disso, ao considerar as demais fontes de energia, é possível observar que houve uma desaceleração da queda do ODEX a partir de 2014 que pode ser explicada pela ligeira intensificação do uso de lenha para cocção devido ao aumento das restrições orçamentárias e aumento do peso do GLP nas despesas familiares, principalmente para as famílias de baixa renda. (EPE, 2023)

5 CONCLUSÃO

O Brasil possui uma matriz elétrica reconhecida mundialmente pela sua alta participação de fontes renováveis, especialmente a energia hidrelétrica, que historicamente tem sido a principal fonte de geração de eletricidade no país. A expansão das fontes renováveis como a energia solar e eólica representa um avanço significativo na diversificação da matriz energética. O País também declara compromissos de produzir Hidrogênio Verde como combustível para a próxima década. Esses investimentos em novas tecnologias de geração estão alinhados com as metas globais de transição energética e sustentabilidade, colocando o Brasil em uma posição de destaque no que se refere ao uso de fontes limpas. Entretanto, a dependência excessiva da energia hidrelétrica torna o setor elétrico vulnerável a crises hídricas, como as que ocorreram em 2021, forçando o uso de fontes mais poluentes e caras, como as termelétricas.

Os cenários de APS e STEPS mostram que o Brasil vai evoluir bem na adoção de energias renováveis na geração de eletricidade para 2030 em comparação a metas estabelecidas no cenário NZE. Porém, quando distribuída a responsabilidade da meta de 2050 levando em consideração o tamanho populacional, é evidente que o Brasil ficaria longe do ideal previsto, com contribuições abaixo de 600 GW. Isso indica que para as próximas NDCs a serem submetidas em 2025 (ano em que a COP será realizada em território nacional) já devam mostrar mais rigor, ou que mesmo em 2030, ano de metas do Acordo de Paris, sejam realizadas grandes mudanças no ritmo de evolução sustentável do Brasil para que ele consiga manter sua posição de destaque no combate às mudanças climáticas.

Da Oferta Interna de Energia brasileira, praticamente metade vem de fontes renováveis. Em questão de eletricidade, mais de 80% é de fonte renovável. A eletrificação é um meio de reduzir emissões, uma vez que a maior parte do fornecimento elétrico nacional é uma fonte limpa. Dentro das NDCs utilizadas pela IEA na cenarização até 2050, a maior redução de emissões decorre de demandas evitadas e melhoria na eficiência energética.

Contudo, o histórico de Eficiência Energética cria insegurança em relação a esses cenários. A Evolução da Intensidade Energética do Brasil não apresentou bons resultados nos últimos anos, refletindo a manutenção de um padrão de produção industrial energointensivo e de baixo valor agregado. Isso contribui para uma imagem de baixa eficiência no uso de energia, especialmente quando comparado a outros países do G20 que têm alcançado progressos mais consistentes nesse quesito. O fato de um país já ter atingido a meta de 4% de melhoria na intensidade energética até 2022, mostra que ele teria mais chances de manter esse

desempenho na próxima década. O Brasil não alcançou esse valor nenhuma vez entre 2010 e 2022. Também, dos investimentos realizados a esse propósito, pouco foram os impactos na Eficiência Energética, o que pode sugerir estudos mais detalhados de cada setor e também de uma avaliação das políticas públicas já implementadas, de modo que o Brasil não permaneça estagnado nas estatísticas.

Estudos que podem seguir para complementar este trabalho incluem analisar outros setores. Como visto nas estimativas de emissão, a principal fonte das emissões de CO₂ do Brasil se dá por uso e ocupação do solo. Recentemente o País tem vivenciado episódios de queimadas graves que têm afetado a visibilidade em todo seu território. Essas incidências devem atrasar o País no cumprimento de metas emissões. Um fato interessante é que a energia fotovoltaica deverá se expandir muito nos próximos anos e talvez os níveis de poluição atmosférica possam impactar negativamente no fator de capacidade das instalações de energia solar. Outra sugestão de análise complementar é o ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos que são estimados em 25 anos, o que significa que até 2050 o mundo precisará encontrar formas de lidar com o fim da vida destes componentes.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissões de GEE**. 6. e. Brasília, 2022. Disponível em:

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee>. Acesso em: 22 set. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Conexão de Roraima ao SIN é a maior obra de descarbonização da região amazônica**. [S. l.], 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conexao-de-roraima-ao-sin-e-a-maior-obra-de-descarbonizacao-da-regiao-amazonica>. Acesso em: 09 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Interior. **Relatório da Delegação Brasileira à Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente**. v.1 (mimeo). Brasília, 1972. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/estocolmo_72_Volume_I.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Interior. **Relatório da Delegação Brasileira à Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente**. v.2 (mimeo). Brasília, 1972. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/estocolmo_72_Volume_II.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 24 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores**. Brasília, 2023. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2023>. Acesso em: 24 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Quem somos**. [S. l.], [S.d.]. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 24 set. 2024.

FAS. **O caminho até Dubai: confira o histórico de COPs desde 1995**. Fundação Amazônia Sustentável. 2023. Disponível em:

<https://fas-amazonia.org/blog-da-fas/2023/11/17/o-caminho-ate-dubai-confira-o-historico-de-cop-desde-1995/>. Acesso em: 22 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da população do Brasil e unidades da federação: 2000-2070**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **COP28 Tripling Renewable Capacity Pledge**. Paris, 2024a. Disponível em:

<https://www.iea.org/reports/cop28-tripling-renewable-capacity-pledge>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2023**. Paris, 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy system of China**. [S. l.], 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/china>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Fossil fuel supply**. Paris, 2023c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/fossil-fuel-supply>. Acesso em: 23 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy and Climate Model**. Paris, 2023d. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model>. Acesso em: 22 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global renewable energy capacity and COP28 pathway 2030**. Paris, 2024c. Disponível em: <https://prod.iea.org/data-and-statistics/charts/global-renewable-energy-capacity-and-cop28-pathway-2030>. Acesso em: 09 out. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Latin America Energy Outlook (Brazil Overview)**. Paris, 2023e. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/brazil-energy-profile#downloads>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach**. Paris, 2023f. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>. Acesso em: 23 set. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The IEA works with governments and industry to shape a secure and sustainable energy future for all**. [S. l.], 2024b. Disponível em: <https://www.iea.org/about/mission>. Acesso em: 24 set. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023**. Geneva, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 22 set. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **About the IPCC**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/>. Acesso em: 19 set. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O Sistema Interligado Nacional**. [S. l.], 2024a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 09 out. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **SINMAPS - Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN**. [S. l.], 2024b. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 30 set. 2024.

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on the Human Environment**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS. Division for Sustainable Development Goals. **Commission on Sustainable Development**. [S. 1.], [s. d.]b. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/csd.html>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS. Population Division. **2024 Revision of World Population Prospects**. [S. 1.], 2024. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 23 set, 2024.

UNITED NATIONS. High-Level Political Forum on Sustainable Development. **High-Level Political Forum**. [S. 1.], [s. d.]c. Disponível em: <https://hlpf.un.org/>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT & DEVELOPMENT. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992a. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT & DEVELOPMENT. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992b. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/declaracao_rio_ma.pdf. Acesso em: 22 set.2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **The Future We Want**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html>. Acesso em: 22 set.2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON THE HUMAN ENVIRONMENT. **Report of the United Nations Conference on the Human Environment**. Stockholm, 1972. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/523249?v=pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Kyoto, 1997. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/2409>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Paris Agreement**. Paris, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 22 set. 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement**. Dubai, 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/636608>. Acesso em: 28 set. 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **COP 28: What Was Achieved and What Happens Next?** [S. 1.], 2024. Disponível em: <https://unfccc.int/cop28/5-key-takeaways>. Acesso em: 09 out. 2024.

VIENNA CONVENTION FOR THE PROTECTION OF THE OZONE LAYER. **Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer**. Montreal, 1987. Disponível em: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>. Acesso em: 22 set. 2024.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Londres, 1987. Disponível em:
<https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>. Acesso em: 27 set. 2024.

WORLD SUMMIT ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Report of the World Summit on Sustainable Development**. Joanesburgo, 2002. Disponível em:
<https://digitallibrary.un.org/record/478154?v=pdf>. Acesso em: 09 out. 2024.