

Brasil 2045

Futuro da Energia: visão do OC para uma transição justa no Brasil

Brasil 2045: Construindo uma potência ambiental
Volume 4 – 2024



OBSERVATÓRIO
DO CLIMA



CLIMA e
ENERGIA



SEEG

Equipe do secretariado do Observatório do Clima

Suely Araújo

Mirela Coelho

Fábio Ishisaki

Felipe Betim

Equipe do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) / Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)

David Tsai

Felipe Barcellos e Silva

Helen Sousa

Ingrid Graces

Ricardo Baitelo

Vinicius Oliveira da Silva

Organizações autoras

1. **350.org**
2. **Associação Rare Brasil**
3. **Engajamundo**
4. **Greenpeace Brasil**
5. **Gambá – Grupo Ambientalista da Bahia**
6. **Instituto Alziras**
7. **Instituto ClimaInfo**
8. **IDEC – Instituto de Defesa de Consumidores**
9. **IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente**
10. **INESC – Instituto de Estudos Socioeconômicos**



11. **ITDP – Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento**
12. **Instituto E+ Transição Energética**
13. **Instituto Internacional Arayara**
14. **Instituto Talanoa**
15. **IEI – International Energy Initiative**
16. **Oceana Brasil**
17. **Pólis – Instituto de Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais**
18. **Projeto Hospitais Saudáveis**
19. **Projeto Saúde e Alegria**
20. **Purpose Brasil**
21. **The Climate Reality Project Brasil**
22. **WRI Brasil – World Resources Institute Brasil**
23. **WWF Brasil**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. RESULTADOS	11
2.1. Cenário visão do OC	12
2.2. Cenário tendencial	22
2.3. Variações da demanda energética em função do PIB	26
3. CONCLUSÕES	29

Brasil 2045

1

#

+

x

INTRODUÇÃO

O Brasil pode fazer uma transição energética justa, corrigindo injustiças sociais e combatendo a pobreza energética, sem precisar abrir mão de seu crescimento econômico nas próximas décadas. No estudo *Futuro da energia: visão do Observatório do Clima para uma transição justa no Brasil*, as organizações que integram o Grupo de Trabalho Clima e Energia do Observatório do Clima detalham uma proposta para que o Brasil concretize nos próximos anos — iniciando desde já — uma transição com metas e compromissos firmes, mas tecnicamente fundamentados e factíveis, sem ignorar o crescimento da demanda energética em diferentes cenários de crescimento econômico.

Adotando as premissas e diretrizes defendidos pelo Observatório do Clima, aqui chamados de cenário **visão do OC**, o setor de energia brasileiro chegará a 2050, considerando um crescimento médio do PIB de 2,1% até esse ano, emitindo 102 milhões de toneladas de CO₂e. A cifra corresponde a cerca de 80% a menos do que o setor de energia emite atualmente — 490 milhões de toneladas de CO₂e, segundo os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) referentes a 2022.¹

Este estudo integra a Estratégia Brasil 2045 do Observatório do Clima, que defende que nosso país pode se tornar a primeira grande economia do mundo a sequestrar mais gases de efeito estufa do que emite, tornando-se negativo em carbono até o ano de 2045. Também leva em conta o objetivo de reduzir em 92% as emissões líquidas até 2035 em relação aos níveis de 2005, número defendido pelo Observatório Clima para a nova proposta brasileira de NDC.² Isso significaria um compromisso de reduzir as emissões líquidas de GEE de 2,44 bilhões de toneladas de CO₂e, cifra de 2005 estimada pelo SEEG, para cerca de 200 milhões de toneladas de CO₂e.

Desse modo, ainda que a descarbonização completa do setor de energia seja improvável, é possível que as emissões residuais sejam compensadas por uma estratégia de preservação de biomas e de intensificação da agricultura de baixo carbono. Isso fará com que a economia brasileira como um todo seja capaz de capturar mais carbono da atmosfera do que emite, com o país alcançando o status de carbono negativo em 2045.

Ao contrário da maioria dos países, o Brasil não parte do zero. A participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira foi de 49,1% em 2023, segundo o relatório do Balanço Energético

¹ Ver dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Disponíveis em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 17 set. 2024.

² OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024. **Nota Técnica – Bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil**. Disponível em: <https://oc.eco.br/nota-tecnica-bases-para-proposta-de-2a-ndc-para-o-brasil/>. Acesso em: 21 set. 2024.



Nacional (BEN) 2024,³ produzido pelo governo brasileiro. Já a participação dessas fontes renováveis em nossa matriz elétrica foi de 89,2%. Considerando apenas o Sistema Interligado Nacional (SIN), a proporção na geração de eletricidade chega a 93%.

Esses números, bastante elevados quando comparados à maior parte dos países, incluindo os membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), se devem à elevada oferta de eletricidade proveniente das usinas hidrelétricas, principal fonte da matriz elétrica brasileira, além do “incremento expressivo das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica, assim como da biomassa”, segundo o BEN 2024.⁴ O carvão mineral, por exemplo, representa apenas 4,4% de nossa matriz energética,⁵ realidade muito distinta de outros países de economia emergente, como a China, a Rússia ou a Índia.

A principal fonte de geração de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil está na mudança do uso da terra, uma vez que o desmatamento responde por 48,3% de nossas emissões, seguido da agropecuária, com 26,6% das emissões, segundo os dados do SEEG referentes a 2022.⁶ Em seguida estão o setor de energia (17,8%), resíduos (3,9%) e processos industriais (3,4%).

Diante desses números, cabe reconhecer os importantes e rápidos avanços do atual governo no controle do desmatamento na Amazônia. Porém, a eliminação do desmatamento em todos os biomas e a adoção da agricultura de baixo carbono, embora imprescindíveis, não são suficientes para que o Brasil cumpra as metas do Acordo de Paris. São prioridades que não devem gerar desatenção para o setor de energia brasileiro, sobretudo quando propostas de expansão da produção de petróleo e gás fóssil em áreas sensíveis na perspectiva socioambiental recebem o apoio entusiasmado de autoridades governamentais importantes, como tem ocorrido no debate sobre a exploração da Foz do Amazonas e de outras bacias sedimentares da Margem Equatorial brasileira.

³ EPE, 2024. **Balanco Energético Nacional (BEN): Relatório Síntese 2024 – Ano Base 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

⁴ EPE, 2024. **Balanco Energético Nacional (BEN): Relatório Síntese 2024 – Ano Base 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

⁵ EPE, 2024. **Balanco Energético Nacional (BEN): Relatório Síntese 2024 – Ano Base 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

⁶ Ver dados do **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. Disponíveis em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 17 set. 2024.

A expansão do uso de fontes fósseis no setor de energia não deve integrar as opções governamentais, sob pena de se anularem as conquistas alcançadas em termos de redução de emissões de GEE com o controle do desmatamento, a intensificação da agricultura de baixo carbono, a expansão das fontes renováveis e as iniciativas de eficiência energética, entre outros avanços.

Por conta desses riscos, o estudo também considerou um cenário **tendencial**, com premissas e diretrizes que dizem respeito ao que o Observatório do Clima entende como tendência do setor de energia para os próximos anos. Para isso, as organizações analisaram os compromissos — positivos ou negativos — assumidos pelo poder público, com foco nos programas do governo federal e nas legislações discutidas no Congresso Nacional, além das tendências de mercado e dos planos estratégicos de empresas como a Petrobras.

Neste cenário **tendencial**, mesmo com o aumento das fontes renováveis na matriz elétrica e a expansão do uso de biocombustíveis e dos motores elétricos a bateria nos transportes, o setor de energia brasileiro chegaria a 2050, considerando um crescimento médio do PIB de 2,1% ao ano, emitindo 558 milhões de toneladas de CO₂e. Portanto, ao invés de diminuir drasticamente suas emissões, como ocorre no cenário **visão do OC**, o setor de energia manteria uma trajetória de ligeira alta em relação a 2022.

As premissas e diretrizes consideradas nos cenários **tendencial** e **visão do OC**, imprescindíveis para que fossem calculados os níveis de emissão das atividades do setor de energia, foram debatidas e analisadas entre novembro de 2023 e agosto de 2024, em reuniões com representantes das organizações que integram o Grupo de Trabalho Clima e Energia e membros do secretariado do Observatório do Clima. Todas as definições foram feitas de forma coletiva.

O estudo traz o resultado dessas discussões ao abordar os cenários para as principais fontes de energia no Brasil — petróleo, gás fóssil, carvão, biocombustíveis, hidrogênio, hidráulica, solar, eólica e nuclear. Também traz análises sobre as atividades de transporte e indústria, além de se debruçar sobre temas imprescindíveis, como pobreza energética, impactos socioambientais das renováveis e eficiência energética.

Além das premissas e diretrizes dos cenários descritos, os cálculos também levaram em conta três possíveis projeções de crescimento da economia brasileira. Essas projeções econômicas geraram, por sua vez, três diferentes demandas energéticas totais para o Brasil, que deverão ser supridas por uma matriz energética vislumbrada nos cenários **tendencial** — ainda com relevante



presença de combustíveis fósseis — e **visão do OC** — que reduz substancialmente o uso de fontes fósseis, atentando para as necessárias salvaguardas socioambientais no uso das renováveis.

As três projeções econômicas adotadas podem ser assim descritas:

- crescimento médio de 1,3% ao ano — tendência linear que considera a série histórica de resultados do PIB brasileiro entre 1960 e 2023, segundo dados compilados e disponibilizados pelo Banco Mundial;⁷
- crescimento médio de 2,8% ao ano até 2050 — valor definido a partir da média das taxas superior e inferior de evolução do PIB apresentadas pela EPE em seu Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2034; e
- crescimento médio de 2,1% ao ano — adoção da média simples entre os crescimentos anuais das duas projeções anteriores.

A figura 1 apresenta o PIB anual brasileiro entre os anos de 1960 e 2023 e ilustra os resultados que seriam obtidos em um futuro hipotético (2024 a 2050) em que o PIB, a partir de 2024, varia conforme cada uma dessas três taxas.

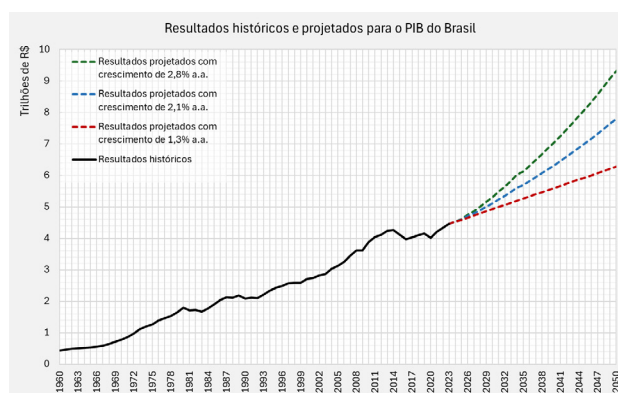


Figura 1 - Gráfico com três projeções de crescimento do PIB (números em valor constante do real, tendo o ano de 2010 como base). Fonte: Elaboração própria.

⁷ World Bank, 2024. **Open Data - Brazil**. Disponível em: https://data.worldbank.org/country/brazil?_gl=1%2A-15qu3y0%2A_gcl_au%2AMTY5Nzk4NTk0Mi4xNzI3MjkyNDg4. Acesso em: 25 set. 2024.

Ao apresentar os resultados, este estudo destacou como cada atividade emissora no setor de energia — transporte de cargas; transporte de passageiros; produção de combustíveis; indústria metalúrgica; indústria química, de cimento e de alimentos, entre outras; geração de eletricidade; edificações; e agropecuária (somente consumo energético) — deverá se comportar em termos de emissões de GEE se consideradas as premissas e diretrizes do cenário **visão do OC** e um crescimento médio do PIB de 2,1% ao ano até 2050.

Em seguida, foram analisadas as emissões de GEE de cada atividade no **cenário tendencial**, ainda considerando um crescimento médio de 2,1% ao ano até 2050. Esses resultados foram, ao mesmo tempo, comparados com os obtidos no **cenário visão do OC**, de modo que ficasse claro como cada escolha política pode impactar no nível de emissões do setor de energia — e, consequentemente, na ambição brasileira de se tornar uma potência ambiental e climática.

Por fim, o estudo mostrou como as emissões do setor de energia se alterariam em cenários de crescimento inferior, de 1,3% ao ano, e superior, de 2,8% ao ano, o que traz mudanças na demanda por energia do país.

No caminho para a transição energética justa, este estudo mostra que é preciso fazer escolhas. O Brasil possui grande potencial de seguir aumentando a participação das fontes de energia renováveis, especialmente solar e eólica, além de implementar um ambicioso programa de biocombustíveis combinado com a eletrificação de motores e o desenvolvimento de novas tecnologias de hidrogênio verde. Entretanto, a implementação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, sobretudo quando consideramos os impactos socioambientais negativos de sua exploração, a partir de modelos predatórios e da fraca regulação, além da necessidade de infraestrutura e de investimentos adequados em áreas mais remotas e vulnerabilizadas, principalmente em relação à geração distribuída de energia elétrica.

Desse modo, para que ocorra uma transição justa, este estudo também se debruçou sobre os impactos socioambientais — que já ocorrem — das novas fontes renováveis e da mineração de metais estratégicos, apontando quais salvaguardas e iniciativas de mitigação o poder público deve adotar. Além disso, abordou temas como a reforma do setor elétrico, trouxe diretrizes sobre como superar a pobreza energética e corrigir injustiças, além de apontar os caminhos para melhorar a eficiência energética de diversos setores.

Brasil 2045

2

#

+

x

RESULTADOS

2.1. Cenário visão do OC

O cenário **visão do OC** leva em conta um crescimento do PIB de 2,1% ao ano até 2050, em média, e considera a projeção da população pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quando o número de brasileiros deverá se estabilizar em cerca de 220 milhões de pessoas. Como resultado, o PIB *per capita* deve ter uma elevação expressiva, como pode ser visto na figura 2.

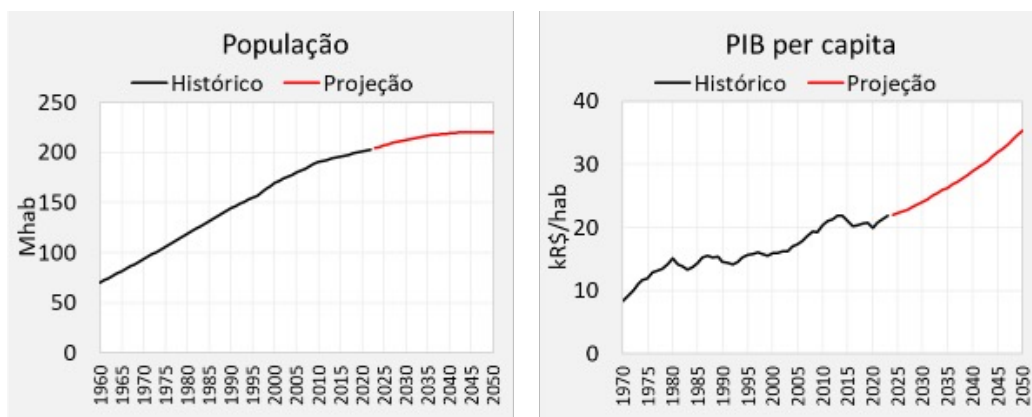


Figura 2 - **População e PIB per capita histórica (1970-2022) e projetadas (2023-2050).** Fonte: Elaboração própria.

São indicadores que pressionam a demanda energética e por bens de consumo, o que significaria um aumento da performance em todas as atividades emissoras de gases do efeito estufa.

O gráfico abaixo (figura 3) mostra que, para atingir os objetivos da **visão do OC**, as emissões do setor de energia em 2045 — ano em que o Brasil, na visão do OC, deveria atingir o *status* de carbono negativo — podem ser reduzidas até o mesmo patamar das emissões de 1970, quando o país tinha menos de 100 milhões de habitantes, era mais desigual e a demanda energética e por bens de consumo era menor.

O desafio não é apenas manter a economia brasileira aquecida, com vistas a superar os gargalos de um país ainda em desenvolvimento, enquanto as emissões são reduzidas. É, principalmente, dar continuidade ao processo de democratização, inclusão social e **energética**, atendendo às demandas da população por mais bens de consumo, mais alimentos e mais energia — e, de preferência, mais acessível —, **ao mesmo tempo** em que as emissões são reduzidas a um patamar compatível com a neutralidade de carbono do Brasil em 2045.

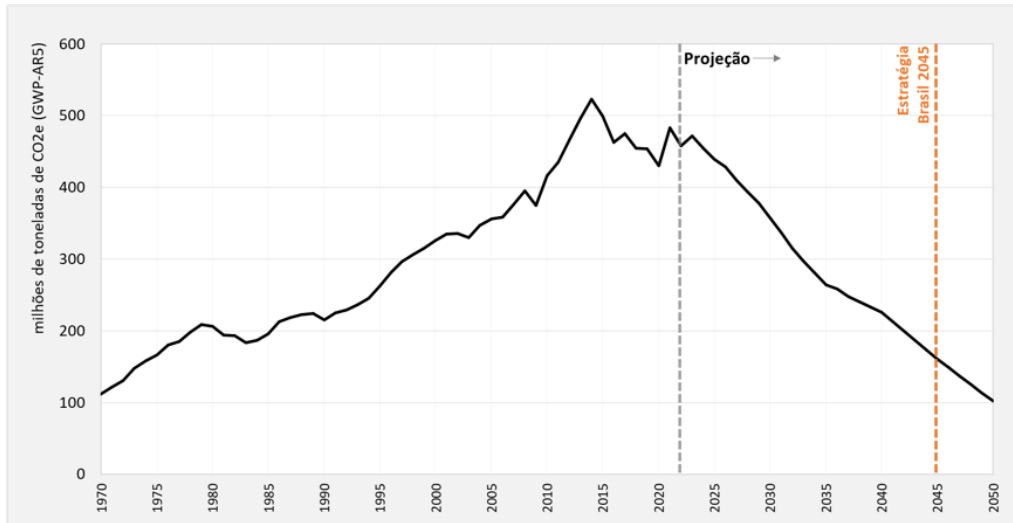


Figura 3 - **Emissões históricas (1970-2022) e projetadas de Energia (2023-2050) em milhões de toneladas de CO₂e.** Fonte: Elaboração própria.

A ESTRATÉGIA BRASIL 2045 NO CENÁRIO VISÃO DO OC

- Transporte de cargas: redução de 8% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Transporte de passageiros: redução de 68% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Indústria química, de cimento, de alimentos, entre outras: redução de 71% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Indústria metalúrgica (consumo energético e processos industriais): redução de 85% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Geração de eletricidade: redução de 80% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Edificações: redução de 66% das emissões em 2045 em relação a 2005.
- Agropecuária (somente consumo energético): redução de 27% das emissões em 2045 em relação a 2005.

Para que esse objetivo seja alcançado, a **visão do OC** adota como premissa que, com exceção da produção de combustíveis fósseis, o consumo de energia nas atividades que hoje são emissoras — transportes, indústria, agropecuária, edificações e geração de eletricidade — devem seguir crescendo, acompanhando o crescimento do PIB, **ao mesmo tempo** em que se descolam das emissões de gases de efeito estufa. Caso as medidas aqui indicadas sejam adotadas, é possível, inclusive, que o pico das emissões brasileiras no setor de energia já tenha sido atingido, conforme mostra a figura 3.

Para que isso de fato venha a ocorrer, as soluções para o setor de energia devem passar pela redução do uso dos combustíveis fósseis; eletrificação e maior uso de biocombustíveis no transporte de cargas e de passageiros; mudança de paradigma das cidades brasileiras que resulte em interrupção do crescimento do uso do transporte individual; reindustrialização comprometida com a substituição de combustíveis fósseis; e implantação efetiva de programas de eficiência energética.

Considerando a projeção de crescimento médio do PIB de 2,1% ao ano no cenário **visão do OC**, todas as atividades emissoras, com exceção do transporte de cargas, convergem a um patamar abaixo de 20 milhões de toneladas de CO₂e em 2050, conforme mostra o gráfico a seguir (figura 4).

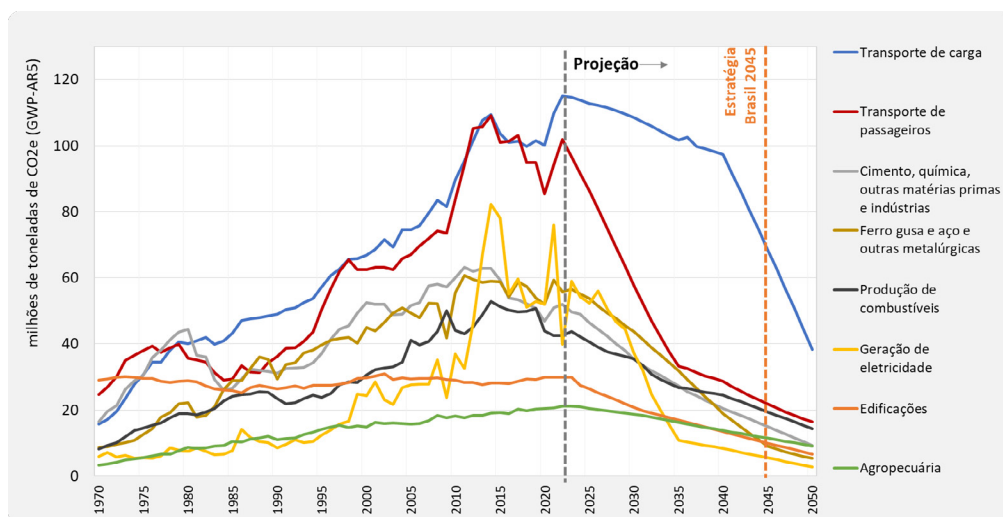


Figura 4 - **Emissões históricas (1970-2022) e projetadas de Energia (2023-2050) em milhões de toneladas de CO₂e segundo setores e atividades gerais.** Fonte: Elaboração própria.



Transporte de cargas

É a principal atividade emissora do setor de energia, por ser majoritariamente rodoviário, e o cenário **visão do OC** adota como premissa que esse padrão permanecerá pelos próximos anos, ainda que haja maiores investimentos em ferrovias e hidrovias. Dessa forma, a atividade deve representar cerca de 38% do total das emissões do setor de energia em 2050.

O transporte de cargas também concentra os maiores desafios: o cenário **visão do OC** adota como premissa que a redução das emissões será relativamente lenta até 2040, mas que a partir de então deverá se acelerar.

- **Emissões em 2022:** 115 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG).
- **Emissões em 2050:** 38 milhões de toneladas de CO₂e.

As principais diretrizes para alcançar este objetivo são:

- grande importância dos biocombustíveis, sobretudo em caminhões pesados e semipesados, nos quais há mais limites para eletrificação;
- redução das emissões mais lenta em uma primeira etapa, até 2040, com aposta maior no biodiesel e aumento da participação deste biocombustível em caminhões pesados e semipesados — desde março de 2024, representa 14% na mistura do diesel convencional e sua parcela deverá aumentar em 1 p.p. a partir de 2025, até chegar a 20% em março de 2030, podendo alcançar 25% posteriormente, caso decida o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), como determina a Lei 14.993/2024 (Combustível do Futuro);
- a partir de 2040, a redução de emissões deve se acelerar com a maior inserção do diesel verde;
- em caminhões leves e semileves, investimentos em tecnologia para eletrificar gradualmente a frota e viabilizar motores a hidrogênio, obtido a partir de eletrólise da água, prepararão o terreno para diversificar as opções de motores com baixa ou zero emissão de dióxido de carbono.

Convém destacar que os esforços para reduzir as emissões do transporte rodoviário de cargas poderão ser anulados caso a produção de biocombustíveis, fundamental para viabilizar a transição energética do setor, represente um elemento de pressão ambiental, resultando em mais desmatamento, uso

excessivo de água e impactos ao solo devido à monocultura extensiva. Salvaguardas socioambientais, com controle de áreas e recursos para produzir esses novos combustíveis, assim como a definição de zonas de exclusão — como a floresta Amazônica — são de igual importância. A prioridade deve ser a recuperação de áreas já degradadas para o plantio das culturas que viabilizam os biocombustíveis.

Transporte de passageiros

O cenário **visão do OC** adota como premissa que o conjunto de possibilidades para reduzir as emissões dos transporte de passageiros são promissoras, com investimento na oferta de transporte público coletivo por ônibus, metrô, VLT e na infraestrutura para o uso das bicicletas em detrimento dos automóveis individuais. Além disso, este cenário projeta uma completa substituição da gasolina por etanol nos veículos *flex* até 2035, dado o potencial que o país tem de produzir o biocombustível acompanhado da gradual eletrificação da frota.

Ainda assim, esta atividade deve continuar sendo a segunda principal fonte de emissões do setor de energia em 2050 (16% do total).

- **Emissões em 2022:** 102 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG).
- **Emissões em 2050:** 16 milhões de toneladas de CO₂e.

As principais diretrizes para alcançar este objetivo são:

- completa substituição da gasolina por etanol nos veículos *flex* até 2035;
- vendas de automóveis em 2050: 20% *flex fuel*, 10% híbrido *flex*, 20% híbrido plug-in *flex*, 35% elétrico a bateria, 15% hidrogênio;
- o uso de gasolina deverá ser residual, restrito à frota que depende exclusivamente deste combustível;
- motores elétricos a bateria serão majoritários tanto nas diferentes categorias de ônibus como nas motocicletas;
- óleo diesel de petróleo será substituído pelo diesel verde nos motores a combustão, o que será de grande importância nas várias categorias de ônibus;



- mudança de paradigmas das cidades, que devem ser mais compactas e com deslocamentos menores, com investimento na oferta de transporte público coletivo por ônibus, metrô, VLT e na infraestrutura para o uso das bicicletas em detrimento dos automóveis individuais;⁸
- o transporte público coletivo deverá ter uma taxa de crescimento maior do que a dos carros e motocicletas tanto em taxas de passageiro-quilômetro como em número de vendas;
- o setor aéreo doméstico deverá seguir o internacional rumo à neutralidade de carbono em 2050, com o maior uso de SAF — que deve chegar a 23% de participação no consumo desse modo de transporte até esse ano.

Produção de combustíveis

A queda das emissões da produção de combustíveis está diretamente relacionada à redução da demanda das demais atividades e, conseqüentemente, à mera diminuição da produção — que, de acordo com as premissas adotadas no cenário **visão do OC**, deve se restringir ao necessário para atender a uma decrescente demanda interna, conforme avança a transição energética. Ainda assim, a previsão é que esta atividade seja o terceiro maior emissor do setor de energia — 14% do total.

- **Emissões em 2022:** 42 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG), soma do que foi emitido pela produção de petróleo, gás fóssil, carvão e biocombustíveis.
- **Emissões em 2050:** 14 milhões de toneladas de CO₂e.

Além da queda das emissões estarem diretamente relacionadas à redução da demanda das principais atividades emissoras, deve-se atentar às principais diretrizes para a produção de combustíveis:

- a Petrobras deve mudar substancialmente seu portfólio de investimentos e passar a investir em energia renovável e biocombustíveis;
- determinação de zonas de exclusão em áreas sensíveis com renúncia de novos empreendimentos petrolíferos em áreas ambientalmente sensíveis, como na Margem Equatorial e na Bacia de Pelotas;

⁸ ITDP, 2024. **Compact Cities Electrified: Brazil**. Disponível em: <https://itdp.org/publication/compact-cities-electrified-brazil-roadmap/>. Acesso em: 23 set. 2024.

- descomissionamento dos campos de petróleo que já esgotaram a vida útil prevista, sem haver terceirização do descomissionamento para empresas menores e com pouca estrutura;
- elaboração e implementação de cronograma para zerar os leilões de petróleo no Brasil, assumindo a perspectiva de suprir a decrescente demanda doméstica por petróleo com os poços já existentes;
- o gás fóssil deve ser desconsiderado como fonte de transição tanto no setor elétrico como na indústria, e sua produção deve se limitar a suprir necessidades nos casos em que não houver substituição tecnológica possível, como no setor de fertilizantes ou na indústria química, além de assegurar a oferta de eletricidade em caso de estresse hídrico;
- o hidrogênio de baixo carbono deve ser feito somente de renováveis, com uma intensidade máxima de carbono de $2 \text{ kgCO}_2/\text{kgH}_2$, com uso prioritário nas atividades de transportes e na indústria nacional;
- o carvão deve ser eliminado a partir de 2027 da produção de eletricidade e se restringir ao uso na indústria, com eliminação gradual até 2044.

Indústria metalúrgica

A indústria metalúrgica deverá substituir o uso do carvão para a produção de ferro-gusa e aço pela eletrificação, hidrogênio e carvão vegetal. Este cenário adota como premissa que esse processo se dará em paralelo com o projeto de reindustrialização do país e o aumento da competitividade do produto brasileiro no mercado internacional. Com isso, esta atividade deverá representar 5% do total de emissões do setor de energia — neste caso, consideram-se não só as emissões pelo consumo final de energia como também as resultantes do uso de combustíveis como redutores; esta última parcela é contabilizada como Processos Industriais e Uso de Produtos.

- **Emissões em 2022:** 56 milhões de toneladas de CO_2e (SEEG), considerando o consumo energético final e as emissões provenientes dos Processos Industriais e Uso de Produtos
- **Emissões em 2050:** 5,4 milhões de toneladas de CO_2e

As principais diretrizes para alcançar este objetivo são:

- substituição do carvão para a produção de ferro-gusa e aço pela eletrificação, hidrogênio e carvão vegetal até 2044;



- aposentadoria da rota de produção de aço que usa combustíveis reductores fósseis nos chamados altos-fornos siderúrgicos, substituindo por opções tecnológicas que já existem no mercado — alto-fornos dedicados ao uso de carvão vegetal como combustível reductor, redução direta com uso de gás e/ou hidrogênio, novos processos de redução de fundição, e reciclagem com uso de forno a arco elétrico;
- expansão do uso de biometano no setor, substituindo o gás fóssil.

Indústrias química, de cimento e de alimentos, entre outras

Assim como na metalurgia, o aumento da atividade industrial, em meio ao processo de reindustrialização do Brasil, deverá ocorrer em paralelo ao aumento do uso de eletricidade e biomassa substituindo os combustíveis fósseis, além do aumento da produtividade e da eficiência energética.

- **Emissões em 2022:** 52 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG)
- **Emissões em 2050:** 9,3 milhões de toneladas de CO₂e

As principais diretrizes para alcançar estes objetivos são:

- aumento da participação de fontes energéticas menos emissoras (eletricidade, biomassa e hidrogênio) em substituição aos combustíveis fósseis, principalmente a partir de 2035, combinado com maior produtividade e eficiência energética;
- consumo zero de derivados de petróleo e carvão mineral até 2030 e de gás fóssil até 2035 na indústria de alimentos e bebidas, cimento, e papel e celulose;
- diminuição gradual do consumo de gás fóssil e substituição por biometano;
- utilização de hidrogênio verde na indústria química até 2035, aplicando referência do grupo RTC;
- na produção de cimento, a biomassa deve ser responsável pelo fornecimento de quase 50% de toda demanda energética que cimenteiras terão em 2050;
- na indústria química, a eletricidade que deverá representar quase metade da matriz energética dessa atividade em 2050.

Geração de eletricidade

O aumento da demanda por eletricidade, tendo em vista o aumento da população e da eletrificação de diversos setores econômicos, ocorrerá ao mesmo tempo em que as fontes eólica e solar crescem, mantendo a matriz elétrica essencialmente renovável. Este cenário adota como premissa que as hidrelétricas seguirão relevantes na geração de eletricidade, mas novas grandes centrais (a partir de 300 MW) deverão ser proibidas. Somente médias e pequenas centrais (PCHs) deverão ser permitidas sob salvaguardas socioambientais e algumas restrições, como a proibição de novas usinas na Amazônia, em Terras Indígenas e Unidades de Conservação, entre outras.

Já as termelétricas a carvão, óleo diesel e óleo combustível deverão ser encerradas, enquanto as usinas a gás fóssil serão restritas e acionadas somente quando necessário — por exemplo, para assegurar a oferta de energia em momentos de estresse hídrico.

As emissões da geração de eletricidade variam conforme o acionamento dessas térmicas. Porém, projeta-se que podem cair em maior velocidade ainda nesta década até 2035, a partir de quando a queda será menos acentuada até 2050, ano em que as emissões deverão representar 3% do total emitido pelo setor de energia.

- **Emissões em 2022:** 40 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG)
- **Emissões em 2050:** 2,7 milhões de toneladas de CO₂e

As principais diretrizes para alcançar estes objetivos são:

- a capacidade instalada deve alcançar 194 GW para energia eólica (*onshore* e *offshore*) e 224 GW para energia solar (somando 91 GW de geração centralizada e 133 GW de geração distribuída), com base nas análises e projeções do Plano Nacional de Energia 2050,⁹ do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2034¹⁰ e da Absolar¹¹, entre outras organizações;

⁹ EPE, 2020. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 07 out. 2024.

¹⁰ EPE, 2024. **PDE 2034 - Micro e Minigeração Distribuída & Baterias Atrás do Medidor**. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/Caderno_MMGD_Baterias_PDE2034_\(20240702\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/Caderno_MMGD_Baterias_PDE2034_(20240702).pdf). Acesso em: 1 out. 2024.

¹¹ ABSOLAR, 2023. **Absolar prevê energia solar como principal fonte brasileira até 2040**. Disponível em: <https://www.abso-lar.org.br/noticia/absolar-preve-energia-solar-como-principal-fonte-brasileira-ate-2040/>. Acesso em: 07 out. 2024.



- aumento modesto das hidrelétricas, de 9,5 GW (9% a mais) na potência total instalada em 28 anos, de 109,7 GW operando em 2022 para 119,2 GW em 2050;
- as termelétricas a carvão devem ser encerradas já em 2027 (uso do carvão mineral deve ficar restrito à indústria até 2050);
- as térmicas nucleares e a óleo combustível deverão ser encerradas desde já;
- as usinas a gás fóssil serão restritas e acionadas somente quando necessário — por exemplo, para assegurar a oferta de energia em momentos de estresse hídrico;
- o bagaço de cana deve responder pelo fornecimento de mais de 50 TWh de eletricidade até 2035 (quase o dobro do alcançado em 2022), estabilizando-se nesse patamar de geração até 2050.

Edificações

Para as edificações, este cenário considerou como premissas a adoção de compromissos claros em direção a acabar com a pobreza energética, corrigindo as injustiças sociais que dificultam o acesso à energia barata e renovável a toda a população, além do aumento da eletrificação e da energia solar para aquecimento. O Observatório do Clima entende que o uso precário da lenha deve ser eliminado.

- **Emissões em 2022:** 30 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG)
- **Emissões em 2050:** 6,6 milhões de toneladas de CO₂e

As principais diretrizes para alcançar estes objetivos são:

- eliminação do uso de GLP até 2045 e a gradual substituição do gás fóssil encanado por biometano nas residências;
- o uso de aquecimento solar nas residências vem crescendo nos últimos anos e poderá representar 20% do consumo energético residencial até 2035;
- aumento na eficiência energética, expressa na relação do consumo energético com o PIB, alcançando uma melhoria de 30% nas residências e de 10% nos setores comercial e público;

- eliminação total da utilização precária de lenha, com a meta de zerar o uso em áreas urbanas até 2030, e substituição por outras fontes energéticas.

Agropecuária (somente consumo energético)

Em relação ao consumo energético da agropecuária, o cenário **visão do OC** prevê o aumento do uso da eletricidade, mas sobretudo a intensificação do uso de biocombustíveis. A redução das emissões também deve passar por uma maior eficiência energética do setor.

- **Emissões em 2022:** 21 milhões de toneladas de CO₂e (SEEG)
- **Emissões em 2050:** 9 milhões de toneladas de CO₂e

As principais diretrizes para alcançar estes objetivos são:

- uso crescente de eletricidade, acompanhado da redução da participação da lenha e do diesel de petróleo;
- aumento na porcentagem de biodiesel, conforme consta na Lei 14.993/2024 (Combustível do Futuro), segundo a qual, em 2030, a parcela do biocombustível deverá representar 20% do volume total na mistura do diesel;
- a eficiência energética, expressa em termos de consumo energético sobre o montante do PIB da agropecuária, poderá dobrar até 2050.

2.2. Cenário tendencial

O cenário **tendencial** descreve a trajetória das emissões do Brasil caso o país mantenha suas características e tendências atuais, sem intensificar esforços e incentivos para uma redução consistente das emissões de GEE. A figura 5 demonstra que as emissões serão cinco vezes maiores do que no cenário **visão do OC**, o que está muito aquém de uma meta ambiciosa para que o Brasil se torne carbono negativo em 2045 ou ao menos neutralize suas emissões até 2050.

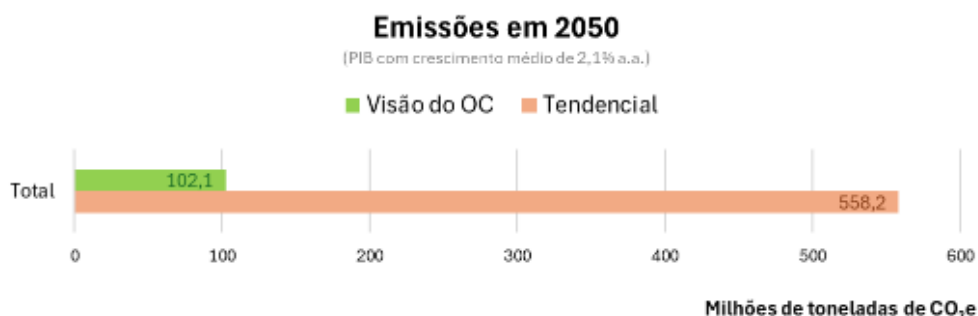


Figura 5 - **Emissões totais no cenário visão do OC e no cenário tendencial.** Fonte: Elaboração própria.

Em linhas gerais, este cenário considera a continuidade da exploração e uso de combustíveis fósseis, sem iniciativas disruptivas para promover uma transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Embora o Brasil se destaque por sua matriz elétrica renovável, devido sobretudo à predominância das hidrelétricas, a necessidade de incrementar a geração para atender à crescente demanda do país resultará em intensificação do uso de fontes não renováveis, caso não haja mudança nas políticas atuais.

Além disso, outras atividades nos setores de energia e processos industriais já estão estruturadas e dependem fortemente de combustíveis fósseis. Sem uma alteração robusta dos paradigmas atuais, a trajetória das emissões no Brasil continuará distante da redução de emissões necessária.

No setor elétrico, é previsto um aumento na geração de energia a partir do gás fóssil nos próximos anos, em decorrência da lei de privatização da Eletrobras, que estabelece a contratação de 8 GW em termelétricas a gás no Sistema Interligado Nacional (SIN) até 2044. Este incentivo à geração fóssil resultará em uma priorização de fontes de energia não renováveis. Além disso, o sistema ainda está planejando a conclusão da Usina Nuclear Angra III, que envolve riscos ambientais e alto custo de produção.

No planejamento do sistema elétrico brasileiro, está prevista ainda a continuidade da instalação de novas hidrelétricas, com a ampliação do potencial instalado. No entanto, esse crescimento pode gerar impactos socioambientais significativos para grupos minoritários, como comunidades indígenas e quilombolas, especialmente se não houver um planejamento social adequado e integrado.

No subsetor industrial, há resistência a alterações nos processos existentes e um planejamento limitado para modificar o cenário atual. As perspectivas de mudanças significativas são restritas,

com foco principal no aumento do uso de gás fóssil. As movimentações do governo indicam que este combustível faz parte da estratégia nacional para a transição energética nas próximas décadas.

Para os subsetores de transporte de carga e de passageiros, espera-se um aumento na adoção de veículos elétricos e híbridos. No entanto, considerando os incentivos e o crescimento atuais, esse aumento ainda está aquém das metas ambiciosas de redução das emissões necessárias para alcançar um futuro de zero emissões.

A ESTRATÉGIA BRASIL 2045 NO CENÁRIO TENDENCIAL

- Transporte de cargas: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 48% menores que o **tendencial**;
- Transporte de passageiros: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 49% menores que o **tendencial**;
- Indústria de cimento, química, de alimentos, entre outras: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 80% menores que o **tendencial**;
- Indústria metalúrgica: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 90% menores que o **tendencial**;
- Geração de eletricidade: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 90% menores que o **tendencial**;
- Edificações: para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 71% menores que o **tendencial**;
- Agropecuária (somente consumo energético): para 2045, o cenário **visão do OC** tem emissões 61% menores que o **tendencial**.



Na figura 6, são apresentados os valores projetados para cada setor, considerando a **visão do OC** e o cenário **tendencial**. Como é possível verificar, em todos os setores avaliados há uma diferença considerável em termos de emissões. Cabe destacar, porém, que a diferença é ainda maior no transporte de cargas — 143,5 milhões de toneladas de CO₂e versus 38,3 milhões de toneladas de CO₂e —, um dos setores mais difíceis de descarbonizar mesmo levando em conta os prognósticos mais otimistas. As emissões das indústrias e da geração de eletricidade também se manterão em patamares bastante elevados se comparados com as possibilidades de descarbonização descritas anteriormente no cenário **visão do OC**.

Abrir mão desse caminho, como demonstra o gráfico comparativo entre os dois cenários, representa ignorar a necessidade de uma transição energética justa que o Brasil — e os demais países — deverão fazer caso queiram cumprir as metas do Acordo de Paris e garantir a viabilidade da vida na Terra.

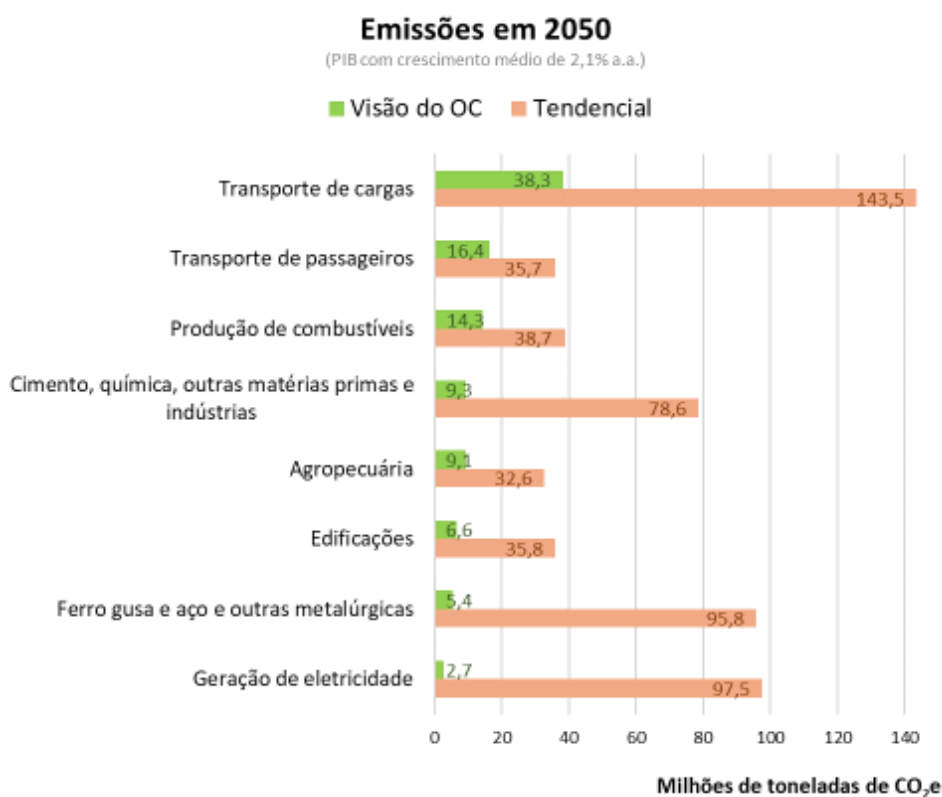


Figura 6 - **Emissões totais por subsector, para os cenários visão do OC e tendencial em 2050.** Fonte: Elaboração própria.

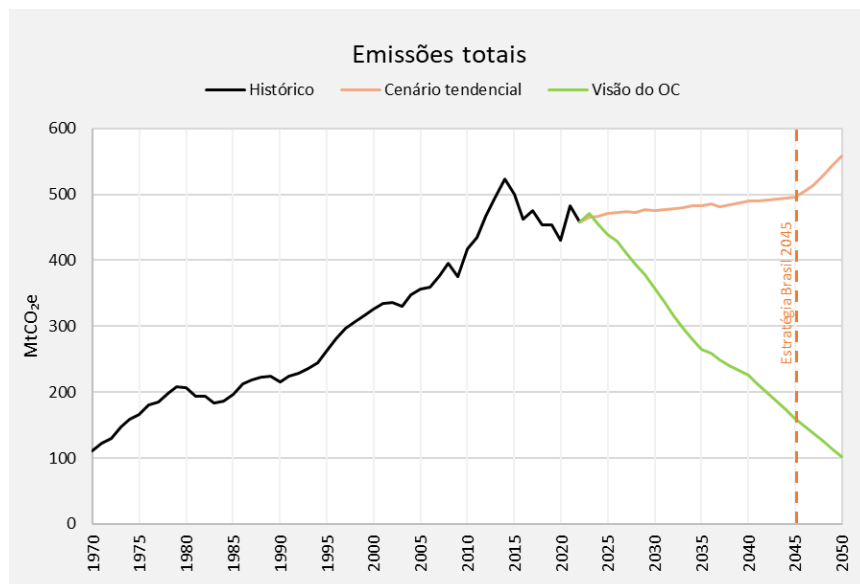


Figura 7 - **Estimativas históricas (2000 a 2022) e projeções (2023 a 2050) das emissões, em milhões de toneladas de CO₂e, totais no Cenário tendencial e Visão do OC.** Fonte: Elaboração própria.

2.3 Variações da demanda energética em função do PIB

Com o objetivo de observar como as emissões poderão variar a depender de diferentes trajetórias de demanda energética atrelada ao crescimento econômico, comparamos os cenários **tendencial** e **visão do OC**, com emissões projetadas a partir de uma taxa de crescimento de PIB de referência (2,1% ao ano em média até 2050), com quatro diferentes cenários derivados de outras duas trajetórias de crescimento econômico: uma com menor crescimento (1,3% ao ano) e outra com maior crescimento do PIB (2,8% ao ano), conforme explicado acima.

Considerando o crescimento do PIB de referência, o cenário **tendencial** projeta um aumento de 22% nas emissões entre 2022 e 2050. Já considerando uma menor demanda energética (crescimento de PIB inferior), observa-se uma tímida redução de 6% nas emissões. Ou seja, um crescimento econômico conforme o ritmo histórico manteria as emissões relativamente estabilizadas até 2040, o que já se observa desde 2015 — no entanto, aquém das metas do Acordo de Paris.

Já com uma maior demanda energética representada pelo crescimento de PIB superior, o aumento das emissões é de 67% entre 2022 e 2050.



O cenário **visão do OC**, considerando o crescimento do PIB de referência, projeta uma redução de 78% nas emissões entre 2022 e 2050. Já considerando uma menor demanda energética (crescimento de PIB inferior), a redução alcança 83%. Com uma maior demanda energética, a redução é de 42%, observando-se uma retomada do crescimento das emissões na metade da década de 2040.

As variações nas emissões considerando as diferentes trajetórias de PIB se explicam principalmente pela atividade de geração elétrica, como pode ser observado na Figura 8.

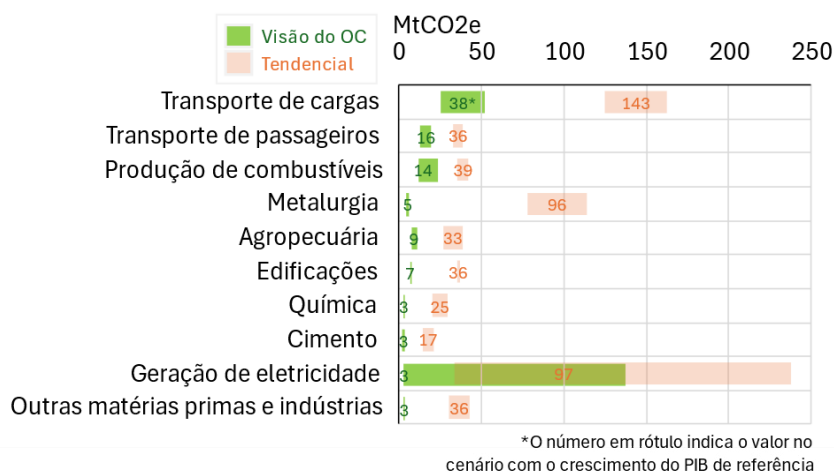


Figura 8 - **Variação das emissões anuais de cada atividade em 2050 em função do crescimento do PIB.** Fonte: *Elaboração própria.*

Convém ressaltar que, no cenário **visão do OC**, o distanciamento entre os resultados que consideram a trajetória de referência do PIB e a trajetória superior se deve principalmente às definições de potência instalada para geração elétrica. Ao permanecerem limitadas nos valores do cenário-alvo de referência, será preciso acionar termelétricas fósseis para atender à maior demanda de energia elétrica.

Isso indica que, para manter um mesmo ritmo de descarbonização em caso de maior demanda energética, deve-se perseguir uma maior expansão das energias renováveis no setor elétrico. Cabe destacar que nem todos os potenciais de descarbonização foram completamente considerados no cenário **visão do OC** — como o biogás —, o que abre espaço para maximizar a descarbonização em caso de maior crescimento da demanda energética.

No cenário **tendencial**, o comportamento das variações em cada atividade é semelhante, porém com uma maior amplitude nas variações absolutas das emissões. A geração de eletricidade e o transporte de cargas continuam sendo as atividades com maior amplitude, mas a metalurgia também passa a se destacar.

A variação dos resultados nos cenários **tendencial** e **visão do OC** de acordo com as diferentes taxas de crescimento médio do PIB demonstra que o desenvolvimento econômico é fator de grande influência no comportamento das emissões de GEE, o que pode ser atenuado ou mesmo eliminado dependendo das escolhas políticas que o acompanham.

O crescimento da economia brasileira, com correspondente aumento do PIB, não necessariamente se traduz em maiores emissões. Trata-se de uma visão que precisa ficar no passado, uma vez que não internaliza a crise climática. O desenvolvimento econômico pode — e deve — se pautar pela descarbonização e pela justiça climática.

Brasil 2045

3

+
×

CONCLUSÕES

O estudo *Futuro da energia: visão do Observatório do Clima para uma transição justa no Brasil* assume que é possível construir um caminho que vai além do que apontam as tendências atuais, que são dissonantes da preocupação com a perspectiva de efetivamente enfrentar a crise climática. O setor de energia responde por apenas 17,8% das emissões brutas de gases de efeito estufa no país, segundo dados de 2022, mas tem de assumir a descarbonização como pressuposto para contribuir com um Brasil negativo em carbono até 2045. A transição energética é elemento estruturante da política climática porque traz mudanças com marcas definitivas. É diferente nesse aspecto do controle do desmatamento, que pode retroceder rapidamente com mudanças governamentais.

As propostas foram elaboradas com fundamento no mundo real. Se o governo brasileiro busca realmente influenciar pelo exemplo e se transformar em um líder climático mundial, uma potência ambiental, terá no conteúdo do estudo aqui apresentado subsídios importantes, detalhados e robustos tecnicamente.

Além das diretrizes resumidas acima, cabe destacar outras medidas que o cenário **visão do OC** consideram como essenciais em suas diretrizes para a transição energética justa no Brasil:

- a construção de um modelo de desenvolvimento do setor elétrico que garanta maior inserção de renováveis e otimize sua operação, permita aos consumidores a opção de uso de fontes não despacháveis — como geração distribuída —, juntamente com novas tecnologias de armazenamento, além de garantir equidade e justiça no acesso à energia;
- a eliminação dos subsídios governamentais aos combustíveis fósseis, com direcionamento desses recursos para apoio à transição energética justa;
- os investimentos em biocombustíveis devem vir acompanhados do devido controle ambiental e de todas as salvaguardas socioambientais necessárias nos empreendimentos;
- o estabelecimento de metas de redução da pobreza energética e de ações governamentais efetivas tendo em vista o enfrentamento desse problema;
- a garantia de políticas efetivas que reduzam os impactos e promovam uma relação mais harmoniosa, com controle social, dos projetos de energia renovável, com adoção de ações que de fato se traduzam em melhoria da qualidade de vida nas comunidades que estão no entorno dos empreendimentos;



- a intensificação dos programas de eficiência energética e de gestão das demandas no setor;
- a priorização absoluta do transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado nas áreas urbanas, acompanhada de planejamento urbano que reduza as distâncias entre residência e trabalho e estimule, sempre que possível, a mobilidade ativa;
- o fomento à indústria de transporte público acompanhado da eletrificação das frotas de ônibus, com apoio federal aos governos subnacionais para iniciativas nessa perspectiva;
- a garantia de que o necessário processo de reindustrialização do país seja pautado pela necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa;
- a reformulação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), que deve ter foco maior em metas de não geração de resíduos, reúso e reciclagem, e renunciar à geração de energia via incineração.



OBSERVATÓRIO
DO **CLIMA**

Brasil 2045

