



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



Miguel Felipe Magalhães

Oportunidades e desafios do mercado de carbono no Brasil:
Impactos da Lei nº 15.042/2024

Ouro Preto
2025

Miguel Felipe Magalhães

Oportunidades e desafios do mercado de carbono no Brasil:
Impactos da Lei nº 15.042/2024

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Gustavo Nikolaus Pinto Moura

Ouro Preto

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECON



FOLHA DE APROVAÇÃO

Miguel Felipe Magalhães

**OPORTUNIDADES E DESAFIOS DO MERCADO DE CARBONO NO BRASIL:
IMPACTOS DA LEI nº15.042/2024**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 31 de outubro de 2025

Membros da banca

D.Sc. - Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto
D.Sc. - Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Universidade Federal de Ouro Preto
D.Sc. - Mateus Pereira Lavorato - Universidade Federal de Ouro Preto

Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA**, em 02/02/2026, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1051070** e o código CRC **4FD610AF**.

RESUMO

O agravamento das mudanças climáticas tem intensificado a busca por mecanismos eficazes de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar as oportunidades e os desafios do mercado de carbono no Brasil, com ênfase na Lei nº 15.042/2024, marco que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). A pesquisa utiliza uma abordagem mista, combinando revisão bibliográfica e documental com análise qualitativa e quantitativa do cenário nacional e internacional. O trabalho estrutura-se em três eixos principais: o regime internacional de mudança do clima e a inserção do Brasil; o arcabouço normativo dos mercados de carbono, regulado e voluntário; e a aplicação de uma matriz SWOT que identifica forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para o mercado brasileiro. Os resultados indicam que o Brasil possui um elevado potencial de geração de créditos florestais, estimado em 1,5 bilhão de unidades por ano, o que pode consolidar o país como um ator central na transição para uma economia de baixo carbono. No entanto, a complexidade regulatória, a instabilidade política e econômica e a falta de conscientização social ainda representam desafios significativos. Conclui-se que o sucesso do mercado de carbono brasileiro depende da integração entre políticas públicas, governança, inovação tecnológica e engajamento social, de modo a maximizar as oportunidades e mitigar as fraquezas e ameaças, promovendo uma trajetória sustentável de longo prazo.

Palavras-chaves: Mudanças Climáticas, Mercado de Carbono, Lei nº 15.042/2024, Sustentabilidade, Mitigação.

ABSTRACT

The intensification of climate change has increased the global demand for effective mechanisms to reduce greenhouse gas emissions. In this context, this study aims to analyze the opportunities and challenges of the carbon market in Brazil, focusing on Law No. 15,042/2024, which establishes the Brazilian Emissions Trading System (SBCE). The research adopts a mixed-methods approach, combining bibliographic and documentary review with a qualitative and quantitative analysis of both national and international contexts. The study is structured around three main axes: the international climate change regime and Brazil's participation; the regulatory framework of carbon markets, both compliance and voluntary; and the application of a SWOT matrix to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the Brazilian carbon market. The findings reveal that Brazil holds a significant potential for forest carbon credit generation, estimated at 1.5 billion credits per year, which could position the country as a key global player in the transition toward a low-carbon economy. However, regulatory complexity, political and economic instability, and low public awareness remain major challenges. It is concluded that the success of Brazil's carbon market depends on the integration of public policies, governance, technological innovation, and social engagement, in order to maximize opportunities and mitigate weaknesses and threats, fostering a sustainable long-term trajectory.

Keywords: Climate Change, Carbon Market. Law No. 15,042/2024, Sustainability, Mitigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da concentração de Co2 na atmsfera em ppm.....	18
Figura 2 – Evolução da temperuatura média global 1850 - 2023.....	18
Figura 3 - Gráfico de emissões históricas por setor no mundo	24
Figura 4 - Matriz energética brasileira 2024	26
Figura 5 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis	27
Figura 6 - Comercialização de CBIOS 2020 - 2025.....	40
Figura 7 - Distribuição espacial dos projetos de carbono florestal no Brasil e estimativas de geração de créditos (2020–2050)	41
Figura 8 - Matriz SWOT mercado de carbono brasileiro	48
Figura 9 - Matriz SWOT mercado de carbono brasileiro	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
1.1. JUSTIFICATIVA	11
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
2. METODOLOGIA	14
3. REGIME INTERACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA E A PARTICIPAÇÃO DO BRASIL	17
3.1 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)	17
3.2 Arcabouço legal da Lei nº 15.042/2024.....	19
3.3 O mercado de carbono.....	21
3.4 Cooperação internacional	24
3.5 O papel do Brasil no regime climático	25
4. ACORDOS INTERNACIONAIS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA.....	28
4.1 Protocolo de Kyoto	28
4.1.1 Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)	29
4.2 Acordo de Paris	31
5. NORMAS SOBRE MERCADO DE CARBONO NO BRASIL E NO MUNDO .	32
5.1 Estados Unidos	32
5.2 China	34
5.3 União Europeia	35
5.4 América Latina - Argentina	37
5.5 Brasil	39
6. MATRIZ SWOT PARA O MERCADO DE CARBONO BRASILEIRO.....	42
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra clama por atenção em meio a grandes transformações ambientais de proporções alarmantes, visto que as mudanças climáticas se manifestam hoje com intensidade crescente. Eventos climáticos extremos, como ondas de calor, inundações, secas e tempestades têm se tornado mais frequentes, expondo a fragilidade do equilíbrio natural que sustenta a vida (MENG *et al.*, 2024).

Nesse contexto, é importante destacar a influência das atividades humanas. A queima constante de combustíveis fósseis para atender a demanda da indústria, somada ao desmatamento de florestas essenciais e práticas agrícolas insustentáveis, levou a um aumento acelerado da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Em condições normais, essa camada, mantém a temperatura da Terra adequado para a vida. (CHEN *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, o setor de energia assume papel central. Por muito tempo, sua dependência de fontes intensivas em carbono o tornou um dos maiores emissores de GEE no mundo. Essa mesma relevância, porém, traz também a responsabilidade de liderar a busca por soluções. A transição para um modelo de baixo carbono é uma necessidade urgente. É a oportunidade de transformar a forma como produzimos e consumimos energia, abrindo caminho para um futuro mais sustentável. (CAMPELLO *et al.*, 2024).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e recursos naturais abundantes, apresenta um panorama paradoxal nessa equação climática. Por um lado, o país possui um setor elétrico em que mais de 80% da eletricidade provém de fontes renováveis, como a hidroeletricidade, a energia eólica e a solar. Com isso o Brasil se posiciona numa posição privilegiada em comparação com muitas nações ao redor do mundo (ABAKAH *et al.*, 2024).

Entretanto, essa aparente vantagem não exime o Brasil de figurar entre os 20 maiores emissores de GEE do planeta. Essa constatação revela a complexidade intrínseca do desafio brasileiro. As emissões de outros setores da economia, como a agropecuária e a indústria, ainda exercem um peso significativo no balanço nacional de emissões. Superar essa contradição e trilhar um caminho de desenvolvimento sustentável exige um esforço de múltiplas frentes, com avanços significativos em todos os setores da atividade econômica (CHEN *et al.*, 2021).

Nesse contexto de urgência e complexidade, a precificação de carbono se torna um instrumento econômico promissor para acelerar essa mudança. Essa abordagem procura internalizar as externalidades ambientais negativas decorrentes da emissão do gás de efeito estufa, atribuindo um preço específico para cada tonelada de carbono emitida (HUANG *et al.*, 2023).

Ao tornar as emissões de carbono financeiramente onerosas, a precificação de carbono incentiva as empresas e os indivíduos a adotarem práticas mais limpas e eficientes, gerando redução nas emissões e fomentando a transição para uma economia de baixo carbono (EPE, 2020). Diversos mecanismos de precificação de carbono podem ser implementados, como os impostos sobre o carbono e os sistemas de comércio de emissões, cada um com suas particularidades e implicações.

No cenário regulatório brasileiro, a promulgação da Lei nº 15042/2024 representou um marco histórico. Ao estabelecer o arcabouço legal para a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), a lei sinaliza um compromisso formal do país com a agenda climática global (BRASIL, 2024).

O SBCE cria um mercado em que empresas com limites de emissão estabelecidos podem comprar e vender créditos de carbono, gerando um incentivo econômico direto para a redução das emissões. Aquelas empresas que conseguem reduzir suas emissões abaixo do limite estabelecido podem vender seus créditos excedentes, enquanto aquelas que excedem seus limites precisam comprar créditos de outras empresas ou investir em projetos de redução de emissões (HUANG *et al.*, 2023).

A expectativa em torno do mercado de carbono brasileiro é considerável. Espera-se que esse mecanismo impulsione a geração de novas oportunidades de negócios em setores como energias renováveis, tecnologias de captura e armazenamento de carbono, e projetos de conservação florestal. O mercado de carbono tem o potencial de estimular a inovação tecnológica, incentivando o desenvolvimento e a adoção de soluções mais limpas e eficientes em diversos setores da economia. Por fim, espera-se que o SBCE contribua significativamente para o alcance das metas climáticas que o Brasil assumiu no âmbito do Acordo de Paris (CAMPELLO *et al.*, 2024), o tratado internacional que estabelece um plano de ação global para limitar o aquecimento global.

Apesar de promissor, a implementação do mercado de carbono no Brasil não está isenta de desafios. A definição precisa do escopo setorial, ou seja, a identificação dos setores da economia que serão abrangidos inicialmente pelo mercado, é uma questão delicada que exige

a consideração de critérios técnicos robustos e negociações políticas sensíveis. A inclusão de determinados setores pode gerar impactos significativos em sua competitividade, enquanto a exclusão de outros pode comprometer a efetividade do sistema como um todo (MENG *et al.*, 2024).

A mensuração e a verificação rigorosa das reduções de emissões representam outro desafio para a credibilidade e a integridade ambiental do mercado de carbono. É fundamental estabelecer metodologias transparentes e confiáveis para garantir que as reduções de emissões declaradas sejam reais, adicionais e permanentes. A criação de um sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) robusto é essencial para evitar fraudes e garantir a confiança dos participantes do mercado (CHEN *et al.*, 2021).

Além disso, a articulação do mercado de carbono com outros instrumentos de política climática existentes é fundamental para maximizar sua efetividade e evitar sobreposições ou inconsistências. Políticas de incentivo a energias renováveis, programas de eficiência energética e medidas de combate ao desmatamento precisam ser integrados de forma coerente com o SBCE (HUANG *et al.*, 2023).

A construção de um sistema de governança transparente, com regras claras e mecanismos de fiscalização eficazes, é essencial para o sucesso a longo prazo do mercado de carbono brasileiro (ABAKAH *et al.*, 2024). A participação ativa de diversos atores, incluindo o governo, o setor privado, a sociedade civil e a academia são fundamentais para garantir a legitimidade e a efetividade do sistema.

Diante desse panorama complexo e multifacetado, o presente trabalho se propõe a realizar uma análise aprofundada do mercado de carbono no Brasil, com um foco especial nos impactos da Lei nº 15042/2024. A investigação abrangerá desde os aspectos regulatórios e institucionais que moldam o funcionamento do SBCE até as implicações econômicas, ambientais e sociais que sua implementação pode gerar (BRASIL, 2024).

Assim, este trabalho procura fornecer uma visão aprofundada sobre o tema, explorando as potencialidades do mercado de carbono como ferramenta para a mitigação das mudanças climáticas e a promoção de um desenvolvimento mais sustentável no contexto brasileiro. Ao dissecar os desafios e as oportunidades que se apresentam, este trabalho almeja contribuir para um debate informado e para a construção de um mercado eficaz no Brasil (DI FEBO *et al.*, 2021).

Para além da análise da legislação e dos mecanismos de mercado, é crucial explorar as implicações econômicas da precificação de carbono. A imposição de um custo sobre as

emissões de GEE pode influenciar a competitividade de diferentes setores da economia, incentivando a adoção de tecnologias mais limpas e a busca por processos produtivos mais eficientes. É importante analisar como diferentes modelos de precificação de carbono podem afetar os preços dos bens e serviços, o emprego e a distribuição de renda (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2019).

A transição para uma economia de baixo carbono pode gerar novas oportunidades de negócios e empregos em setores emergentes, mas também pode apresentar desafios para setores intensivos em carbono. A análise dos impactos econômicos deve considerar tanto os custos de curto prazo da implementação da precificação de carbono quanto os benefícios de longo prazo da mitigação das mudanças climáticas, como a redução dos custos associados a eventos climáticos extremos e a melhoria da saúde pública (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2019).

Do ponto de vista ambiental, o mercado de carbono tem o potencial de gerar benefícios significativos, induzindo a redução das emissões de GEE e contribuindo para a estabilização do clima. No entanto, é fundamental garantir que os créditos de carbono comercializados representem reduções de emissões reais, evitando o chamado "*greenwashing*" ou a criação de créditos de carbono de baixa qualidade (IRENA, 2017).

A análise ambiental deve considerar os potenciais sinergismos e *trade-off* entre a mitigação das mudanças climáticas e outros objetivos ambientais. A adoção de atitudes preventivas em relação a biodiversidade e os recursos hídricos serão essenciais para a implementação do mercado de carbono. (DI FEBO *et al.*, 2021).

As implicações sociais do mercado de carbono também merecem atenção cuidadosa. A implementação de políticas de precificação de carbono pode afetar de forma diferenciada diferentes grupos sociais, especialmente as populações mais vulneráveis. É importante analisar como o aumento dos custos de energia e de outros bens e serviços pode impactar as famílias de baixa renda e buscar mecanismos para mitigar esses impactos, como a implementação de programas de transferência de renda ou a alocação de parte da receita gerada pela precificação de carbono para investimentos em programas sociais (MENG *et al.*, 2024).

Além disso, é fundamental garantir a participação e o engajamento das comunidades locais e dos povos indígenas no desenvolvimento e na implementação de projetos de redução de emissões que gerem créditos de carbono, respeitando seus direitos e conhecimentos tradicionais. A análise social deve considerar as questões de justiça climática e buscar garantir que a transição para uma economia de baixo carbono seja inclusiva e equitativa (HUANG *et al.*, 2023).

Em suma, a implementação do mercado de carbono no Brasil representa um passo importante na jornada rumo a uma economia de baixo carbono e ao enfrentamento dos desafios das mudanças climáticas. No entanto, o sucesso dessa iniciativa depende de uma abordagem cuidadosa e abrangente, que considere os aspectos regulatórios, econômicos, ambientais e sociais (IRENA, 2017).

A análise aprofundada das oportunidades e dos desafios, com foco nos impactos da Lei nº 15042/2024, é essencial para orientar a construção de um mercado de carbono robusto, transparente e eficaz, que contribua para o desenvolvimento sustentável do Brasil e para a proteção do planeta. A colaboração entre o governo, o setor privado, a sociedade civil e a academia serão fundamentais para superar os obstáculos e aproveitar ao máximo o potencial do mercado de carbono como instrumento de política climática (BRASIL, 2024).

1.1. JUSTIFICATIVA

No Brasil, apesar do setor elétrico ter uma matriz energética com predominância de fontes renováveis, o país ainda se encontra entre os maiores emissores de GEE do mundo, o que demonstra a necessidade de avançar na transição para uma economia de baixo carbono (EPE, 2020). Nesse cenário, a precificação de carbono surge como um instrumento de mercado promissor para controlar as emissões, internalizar as externalidades ambientais e incentivar a redução das emissões de carbono. A Lei nº 15.042/2024 estabelece o arcabouço legal para a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), visando regular a comercialização de créditos de carbono. Essa legislação representa um marco importante para o país, mas sua efetividade e seus impactos precisam ser analisados (CAMPELLO *et al.*, 2024).

A justificativa para este estudo reside na relevância de compreender os mecanismos de mercado para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente no contexto brasileiro. O mercado de carbono, regulamentado pela Lei nº 15042/2024, possui o potencial de gerar novas oportunidades de receita, estimular o desenvolvimento de tecnologias limpas e atrair investimentos estrangeiros. No entanto, sua implementação também apresenta desafios, como a definição dos setores a serem regulados, a mensuração e verificação das reduções de emissões e a garantia da integridade ambiental dos créditos de carbono (IEA, 2024).

Além disso, a análise dos impactos da Lei nº 15042/2024 é fundamental para avaliar o potencial do mercado de carbono em impulsionar a transição para uma economia de baixo carbono no Brasil, considerando suas oportunidades e desafios. Os resultados deste estudo

podem fornecer informações relevantes para o governo, as empresas e a sociedade civil, contribuindo para o aprimoramento das políticas climáticas e para o desenvolvimento sustentável do país (ABAKAH *et al.*, 2024).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Identificar as oportunidades e os desafios do mercado de carbono no Brasil, com foco nos impactos da Lei nº 15.042/2024, para compreender seu papel na promoção da transição para uma economia de baixo carbono e no alcance das metas climáticas do país.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, os objetivos específicos do estudo serão:

- Investigar o marco regulatório estabelecido pela Lei nº 15042/2024 para o mercado de carbono no Brasil, identificando seus principais dispositivos e mecanismos;
- Identificar e analisar estudos publicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas relacionados ao desenvolvimento de mercados de carbono;
- Identificar avanços e recuos relacionados à regulamentação dos mercados de carbono na Conferência das Partes (COPs) da ONU sobre Mudanças Climáticas;
- Identificar tendências das emissões mundiais de GEE, considerando cenários elaborados pelo IPCC;
- Comparar a legislação brasileira com as principais normas internacionais de precificação de carbono, identificando convergências, divergências e boas práticas aplicáveis ao contexto nacional
- Avaliar as oportunidades econômicas, ambientais e sociais decorrentes da implementação do mercado de carbono no Brasil, como a geração de receita, o estímulo a tecnologias limpas e a atração de investimentos;

- Identificar os desafios para a consolidação do mercado de carbono no Brasil, como a definição do escopo setorial, a mensuração e verificação das reduções de emissões e a garantia da integridade ambiental dos créditos de carbono;
- Propor recomendações para o aprimoramento do mercado de carbono no Brasil, visando a maximizar suas oportunidades e a mitigar seus desafios, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável do país.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa adotará uma abordagem metodológica mista, combinando elementos de pesquisa qualitativa e quantitativa, para fornecer uma análise abrangente do mercado de carbono no Brasil, com foco nos impactos da Lei nº 15.042/2024. A metodologia será estruturada em três etapas principais: (1) Desenvolvimento da história do carbono e revisão bibliográfica; (2) Estudo comparativo de legislações internacionais; e (3) Análise *SWOT* do mercado de carbono no Brasil.

Na primeira etapa, será realizada uma análise detalhada do conteúdo da Lei nº 15042/2024, que estabelece o marco legal para o mercado de carbono no Brasil. Essa análise envolverá a identificação dos principais dispositivos da lei, seus objetivos, escopo de aplicação, mecanismos de funcionamento e potenciais impactos nos diversos setores da economia brasileira (BRASIL, 2024).

A revisão bibliográfica será conduzida de forma sistemática, utilizando palavras-chave relevantes em bases de dados científicas e outras fontes de informação. Serão utilizadas bases de dados como o *Science Direct* e outras fontes como relatórios de instituições governamentais e não governamentais e documentos legais. O objetivo é contextualizar o mercado de carbono no Brasil no cenário global, identificar as principais tendências, desafios e oportunidades, e embasar teoricamente as demais etapas da pesquisa.

A segunda etapa consistirá em um estudo comparativo de legislações que regulamentam o mercado de carbono em outros países. Serão selecionados cinco países com diferentes modelos de mercado de carbono, considerando aspectos como tempo de implementação, escopo setorial, mecanismos de precificação, resultados alcançados e desafios enfrentados.

A seleção dos países será baseada em critérios como relevância de seus mercados de carbono, similaridades e diferenças com o contexto brasileiro, e disponibilidade de informações. As legislações dos países selecionados serão analisadas quanto aos seus objetivos, estrutura, instrumentos de precificação, mecanismos de MRV, e resultados em termos de redução de emissões e impactos econômicos.

A análise comparativa das legislações internacionais permitirá identificar lições aprendidas e melhores práticas que possam ser aplicadas ao contexto brasileiro. Serão avaliados os pontos fortes e fracos de cada modelo, os fatores que contribuíram para o sucesso ou insucesso de suas implementações, e as adaptações necessárias para sua aplicação no Brasil.

Essa análise contribuirá para a formulação de recomendações para o aprimoramento do mercado de carbono brasileiro, considerando as particularidades do país e as experiências internacionais.

Ainda na segunda etapa da pesquisa, será estudada a atuação do Fórum de Diálogo Índia, Brasil e África do Sul (IBAS) em relação ao mercado de carbono. O IBAS é um fórum de diálogo político entre três países que possuem economias emergentes e compartilham desafios e oportunidades em relação ao desenvolvimento sustentável e às mudanças climáticas. Será investigado o seu posicionamento em relação ao mercado de carbono, suas iniciativas de cooperação e diálogo sobre o tema, e sua influência nas negociações internacionais sobre mudanças climáticas. A análise da atuação do IBAS permitirá compreender o papel dos países em desenvolvimento na construção de um mercado de carbono global e as perspectivas de cooperação nessa área.

Por fim, a última etapa da pesquisa envolverá a aplicação da análise *SWOT* (*Strength, Weaknesses, Opportunities, Threats*) para avaliar o mercado de carbono no Brasil, considerando os impactos da Lei nº 15.042/2024. A análise SWOT é uma ferramenta de planejamento estratégico que permite identificar os pontos fortes e fracos do mercado de carbono brasileiro, as oportunidades que a legislação traz para o país e as ameaças que podem dificultar sua implementação e efetividade.

Os pontos fortes do mercado de carbono brasileiro serão identificados a partir da análise da Lei nº 15.042/2024 e da revisão bibliográfica, considerando aspectos como o potencial de geração de receita, o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias limpas e a atração de investimentos. As fraquezas serão identificadas a partir da análise das limitações da legislação, dos desafios para a implementação do mercado de carbono e das barreiras para a sua efetividade.

As oportunidades serão avaliadas considerando o potencial do mercado de carbono para contribuir com as metas climáticas do Brasil, para impulsionar a transição para uma economia de baixo carbono e para gerar benefícios econômicos, ambientais e sociais. As ameaças serão identificadas considerando os riscos para a implementação do mercado de carbono, a resistência de alguns setores da economia e a complexidade da regulamentação

Ao longo de todas as etapas da pesquisa, será dada ênfase à análise crítica e à triangulação dos dados, buscando garantir a confiabilidade dos resultados. Os dados qualitativos serão analisados por meio de técnicas de análise de conteúdo. Os dados quantitativos, quando disponíveis, serão analisados por meio de estatística descritiva e

inferencial. Espera-se que esta metodologia permita alcançar os objetivos propostos pela pesquisa, fornecendo uma análise completa do mercado de carbono no Brasil, seus impactos, desafios e oportunidades, e principalmente entender se o país tem uma grande oportunidade à sua frente.

3. REGIME INTERNACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA E A PARTICIPAÇÃO DO BRASIL

3.1 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)

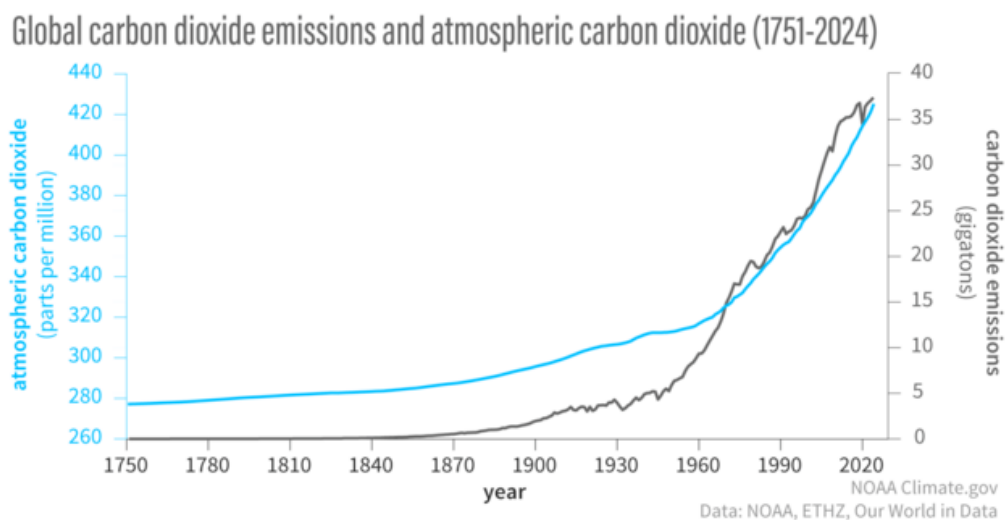
O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), principal autoridade científica internacional sobre o tema, confirma em seu Sexto Relatório de Avaliação (AR6) que a influência humana sobre o sistema climático é inequívoca. Décadas de emissões de gases de efeito estufa (GEE), oriundas principalmente da queima de combustíveis fósseis e do uso insustentável da terra, alteraram de forma significativa a composição atmosférica e o balanço energético do planeta.

A Figura 1 apresenta a evolução da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera entre 1750 e 2024, medida em partes por milhão (ppm). Observa-se um aumento expressivo na concentração de CO₂, que se manteve estável em torno de 280 ppm até o início da Revolução Industrial e ultrapassou 420 ppm em 2024, representando um crescimento de aproximadamente 50% em relação aos níveis pré-industriais. Esse incremento acompanha diretamente o aumento das emissões globais de carbono (em bilhões de toneladas), evidenciando a correlação entre o avanço industrial e a intensificação do efeito estufa (NOAA, 2025).

Em complemento, a Figura 2 demonstra a evolução da temperatura média global entre 1850 e 2023, comparando as anomalias de temperatura em relação à média do período 1850–1900. Os dados, elaborados pelo Berkeley Earth e ajustados com observações oceânicas do UK Hadley Centre, indicam um aquecimento consistente, com destaque para a aceleração observada a partir da década de 1980. Em 2023, a anomalia global ultrapassou 1,5 °C acima da média pré-industrial, atingindo o limite crítico estabelecido pelo Acordo de Paris. A curva de tendência (em vermelho) mostra que o aquecimento recente é mais rápido e intenso do que qualquer variação registrada nos últimos 170 anos (BERKELEY EARTH, 2024).

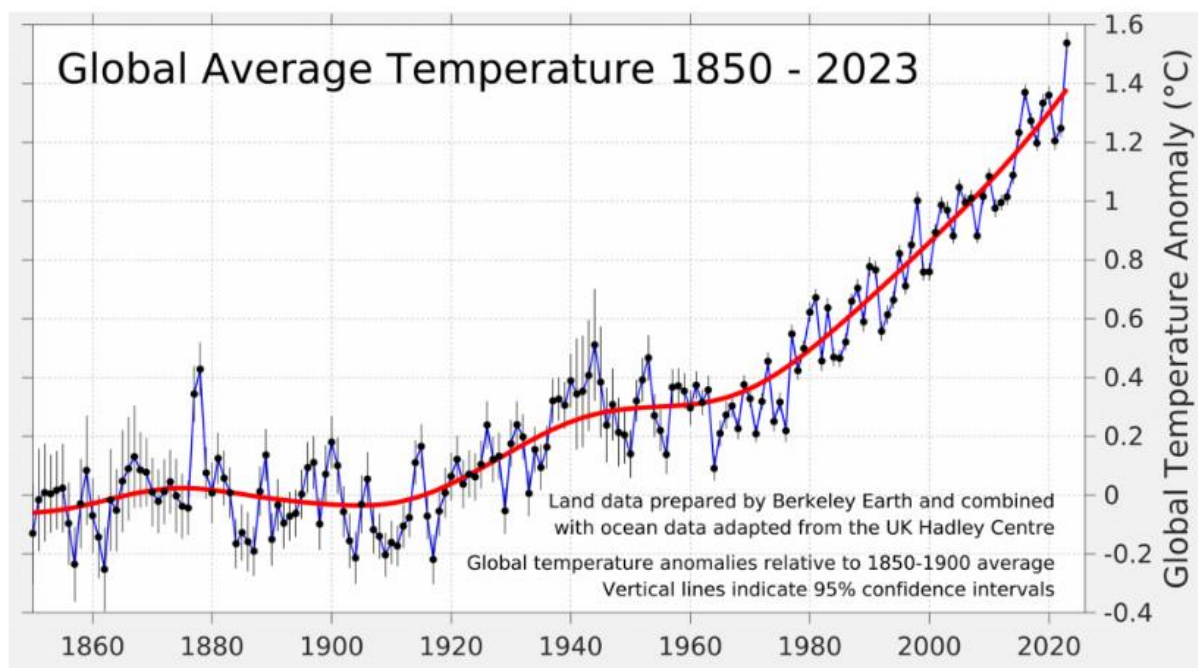
O conjunto desses dados empíricos reforça o consenso científico do IPCC (2023) de que o aquecimento global é resultado direto das atividades humanas e que suas consequências já se manifestam de forma ampla e acelerada em todos os continentes. Essa trajetória ascendente tanto das concentrações de CO₂ quanto da temperatura média global demonstra a urgência de políticas efetivas de mitigação, entre as quais se destaca o mercado de carbono como instrumento estratégico de transição para uma economia de baixo carbono.

Figura 1 – Evolução da concentração de Co2 na atmosfera em ppm



Fonte: NOAA, 2025

Figura 2 – Evolução da temperatura média global 1850 – 2023



Fonte: Berkeley, 2024

As consequências desse aquecimento já são tangíveis, manifestando-se através de mudanças generalizadas e frequentemente irreversíveis nos sistemas terrestres, de água doce e oceânicos. Observa-se um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos.

O aquecimento dos oceanos, a acidificação e a desoxigenação, juntamente com o derretimento de geleiras e mantos de gelo e a elevação do nível do mar, representam ameaças significativas aos ecossistemas e às sociedades humanas, resultando em perdas e danos crescentes à natureza e às pessoas em escala global (IPCC, 2023).

As projeções futuras, baseadas em diferentes cenários de emissões (Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas - SSPs), indicam que cada incremento adicional no aquecimento global intensificará os riscos múltiplos e simultâneos. Limitar o aquecimento a 1,5°C ou mesmo 2°C acima dos níveis pré-industriais, conforme estabelecido no Acordo de Paris, exige reduções profundas, rápidas e sustentadas nas emissões globais de GEE nesta década, visando atingir emissões líquidas zero de CO₂ em meados do século. A janela de oportunidade para garantir um futuro climático resiliente e sustentável está se fechando, demandando ações ambiciosas e imediatas em todas as frentes (IPCC, 2023).

3.2 Arcabouço legal da Lei nº15.042/2024

A promulgação da Lei nº 15.042/2024 representa um marco histórico na política climática brasileira ao instituir o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). A lei estabelece as bases jurídicas, institucionais e operacionais necessárias para a criação de um mercado regulado de carbono, alinhado às diretrizes internacionais do Acordo de Paris, especialmente ao Artigo 6, que trata da cooperação entre países para mitigação de emissões (UNFCCC, 2015). A aprovação da lei encerra um ciclo iniciado com o Projeto de Lei nº 412/2022 e inaugura uma fase de precificação obrigatória das emissões no país (BRASIL, 2024).

O objetivo central é reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio de limites máximos de emissão (cap) e do comércio de permissões entre empresas (trade). Empresas que emitirem abaixo do teto definido poderão vender seus excedentes, enquanto aquelas que ultrapassarem suas metas precisarão adquirir permissões ou compensar emissões por meio de projetos certificados. Essa lógica segue a estrutura de sistemas internacionais como o EU ETS e o mercado chinês, ambos reconhecidos por sua eficácia na redução de emissões em setores industriais (LIN; WU, 2022; CARBON BRIEF, 2024).

Para assegurar a integridade ambiental e a transparência das transações, a lei estabelece diretrizes rigorosas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV). A padronização metodológica e a obrigatoriedade de auditorias independentes são fundamentais para evitar fraudes e garantir que cada crédito represente uma redução real, adicional e verificável,

conforme destacado por Watt et al. (2020). A criação do Sistema Nacional de Registro de Emissões é outro pilar do arcabouço legal, funcionando como uma plataforma centralizada para registro, auditoria e rastreabilidade de créditos e permissões (BRASIL, 2024).

A governança do SBCE é dividida entre diferentes instâncias. A Autoridade Nacional de Mercado de Emissões terá competência para regulamentar setores, fiscalizar o cumprimento de metas e aplicar penalidades. Além disso, o Comitê Interministerial do Mercado de Carbono coordenará a integração do SBCE com outras políticas climáticas nacionais, como o RenovaBio, o Plano ABC+ e as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil (MENG et al., 2024). Essa integração é essencial para evitar sobreposições e assegurar coerência entre políticas públicas, conforme destaca Pullins (2022), ao analisar desafios de governança em mercados emergentes.

A lei prevê ainda a inclusão progressiva dos setores econômicos mais intensivos em emissões, seguindo critérios de intensidade de carbono, capacidade de redução e disponibilidade de dados. Setores como indústria, energia, transportes, resíduos e agropecuária estão entre os potenciais participantes da fase inicial do SBCE, refletindo abordagens adotadas internacionalmente em mercados como o da Califórnia e da China (IEA, 2024; DI FEBO; NASSIOS; GALLOU, 2021).

Outro elemento-chave da Lei nº 15.042/2024 é a possibilidade de utilização de créditos de compensação gerados por projetos externos ao escopo direto das empresas reguladas. Essa disposição se aproxima do mecanismo de compensação previsto no Artigo 6.4 do Acordo de Paris, permitindo que iniciativas relacionadas a reflorestamento, manejo florestal, energias renováveis ou tecnologias limpas gerem créditos elegíveis, desde que atendam aos critérios de adicionalidade e verificação (IRENA, 2017).

A lei também estabelece penalidades para empresas que não cumprirem as metas de redução, incluindo multas proporcionais ao volume de emissões excedentes e medidas restritivas para reincidência. Essas penalidades buscam assegurar disciplinamento de mercado e efetividade regulatória, alinhando o país às melhores práticas de governança internacional (CARBON MARKET WATCH, 2024).

Em síntese, o arcabouço legal instituído pela Lei nº 15.042/2024 posiciona o Brasil entre os países que adotaram sistemas formais de comércio de emissões, ampliando seu potencial de atrair investimentos, reduzir emissões e fortalecer sua atuação no regime climático global. A efetividade da lei dependerá, entretanto, da regulamentação complementar, da implementação de um MRV robusto e da capacidade institucional de garantir segurança jurídica e transparência

ao mercado. O subcapítulo seguinte (3.3) aprofunda o funcionamento dos mercados de carbono, permitindo compreender como os mecanismos econômicos se articulam com o arranjo legal ora apresentado.

3.3 O mercado de carbono

A próxima relação entre os mercados de carbono e os mercados de energia configura-se como um aspecto de suma importância a ser minuciosamente considerado no contexto abrangente do regime internacional de mudança do clima. Os mercados de energia, que englobam *commodities* essenciais como petróleo, gás natural e eletricidade, desempenham um papel central e estratégico na economia global, mas também são responsáveis por uma parcela considerável das emissões de GEE que impulsionam o aquecimento global (DI FEBO *et al.*, 2021).

O mercado de carbono é considerado um instrumento promissor e eficaz para a mitigação das mudanças climáticas, ao permitir que empresas e projetos que implementem medidas para reduzir suas emissões de GEE, gerem créditos de carbono verificados e que poderão ser subsequentemente comercializados. Esse mecanismo cria um incentivo econômico direto para a redução de emissões, ao mesmo tempo em que pode catalisar a criação de novas fontes de receita para projetos sustentáveis e estimular o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias de baixo carbono (LIN; WU, 2022).

Diante disso, por meio de mecanismos como o mercado de carbono, a precificação do carbono busca internalizar os custos ambientais das emissões de GEE nos preços dos bens e serviços, fornecendo um sinal econômico que incentiva a redução das emissões e a transição gradual para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Essa internalização estratégica pode ter um impacto significativo na dinâmica dos mercados de energia, influenciando os preços relativos das diferentes fontes de energia, a oferta e a demanda por essas fontes e os padrões de investimento no setor energético (HUANG *et al.*, 2023).

Existem dois tipos principais de mercados de carbono: o mercado regulado e o mercado voluntário. O mercado regulado, também conhecido como *compliance market*, é instituído por normas legais e vinculado a políticas públicas de controle de emissões. Nele, empresas e setores específicos são obrigados a cumprir metas de redução de GEE, podendo comprar ou vender créditos de carbono para compensar suas emissões, conforme os limites estabelecidos.

Exemplos emblemáticos incluem o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS) e o mercado nacional da China, ambos voltados a setores intensivos em energia e com metas verificáveis de redução (WATT et al., 2020; LIN; WU, 2022).

Já o mercado voluntário é formado por empresas, instituições e indivíduos que optam espontaneamente por compensar suas emissões, sem obrigatoriedade legal. Nesse caso, os créditos são emitidos por projetos que comprovam reduções ou remoções de CO₂, como reflorestamento, energia renovável, agricultura regenerativa e conservação florestal (REDD+). As transações ocorrem em plataformas privadas, validadas por padrões internacionais, como o *Verified Carbon Standard* (VCS) e o *Gold Standard* (BLANTON et al., 2024).

Enquanto o mercado regulado é essencial para garantir conformidade, rastreabilidade e transparência, o mercado voluntário desempenha papel fundamental na inovação, na antecipação da descarbonização corporativa e na formação de preços de referência para futuros sistemas regulados (EPE, 2022). No caso brasileiro, o mercado de carbono ainda está em fase de estruturação regulatória por meio da Lei nº 15.042/2024, mas o país já se destaca no mercado voluntário, sendo responsável por 45% dos créditos florestais emitidos na América Latina em 2022, conforme dados da *Environmental Research Letters* (BLANTON et al., 2024).

Estudos aprofundados têm demonstrado a existência de uma interconexão dinâmica e assimétrica entre os mercados de carbono e os mercados de energia. As flutuações nos preços da energia podem exercer influência sobre os preços do carbono, e, reciprocamente, as variações nos preços do carbono podem afetar os preços da energia. Adicionalmente, a volatilidade observada em um mercado pode ser transmitida para o outro, o que inequivocamente evidencia a importância de se levar em consideração a complexa interação entre esses dois mercados na formulação de políticas climáticas e energéticas que sejam coerentes e eficazes (PULLINS, 2022).

A transição para uma economia de baixo carbono exige uma transformação profunda e abrangente no setor de energia, com a substituição progressiva das fontes de energia fóssil por alternativas renováveis e de baixo carbono. Os mercados de carbono podem desempenhar um papel catalisador nesse processo de transformação, ao incentivar a adoção de tecnologias de geração de energia mais limpas e eficientes, como a energia solar fotovoltaica, a energia eólica, a energia hidrelétrica sustentável e outras fontes renováveis emergentes (DI FEBO et al., 2021).

A eficácia dos mercados de carbono na promoção da transição para uma economia de baixo carbono depende de uma certa quantidade de fatores interconectados, incluindo o *design*

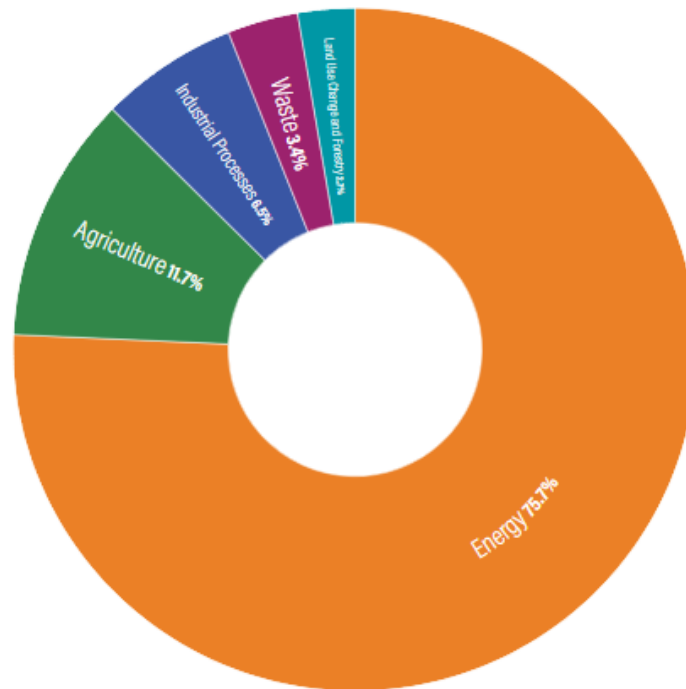
específico do mercado, o nível de ambição das metas de redução de emissões estabelecidas, a abrangência setorial do sistema e a existência de um sistema robusto e transparente de MRV. (DI FEBO *et al.*, 2021).

A escolha dos setores econômicos a serem regulamentados em um mercado de carbono constitui uma decisão complexa, que exige a ponderação entre viabilidade econômica, impacto ambiental e contexto político. A inclusão de um número excessivo de setores pode elevar os custos administrativos e tornar o sistema difícil de operacionalizar; por outro lado, a limitação a poucos setores pode comprometer a efetividade do mercado e o alcance das metas nacionais de redução de emissões.

O Gráfico 3 ilustra a distribuição histórica das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) por setor, evidenciando que o setor de energia é, de longe, o maior emissor, responsável por 75,7% das emissões totais. Em seguida aparecem a agricultura (11,7%), os processos industriais (5,3%), os resíduos (3,4%) e as mudanças no uso da terra e florestas (3,9%) (MEGEPIN GE, 2024). Esses dados reforçam a necessidade de priorizar, nas políticas de precificação de carbono, os setores com maior contribuição histórica para as emissões, especialmente aqueles vinculados à matriz energética e à agropecuária.

Assim, a definição de critérios racionais e transparentes para a inclusão de setores é essencial para evitar distorções e garantir a legitimidade e a eficiência do sistema regulatório. A adoção de uma estrutura equilibrada de abrangência setorial, conforme destacam Lin e Wu (2022), contribui para um mercado de carbono funcional, capaz de gerar reduções efetivas e promover uma transição justa rumo a uma economia de baixo carbono.

Figura 3 – Gráfico de emissões históricas por setor mundo



Fonte: Mengopin Ge, 2024

Além dos mercados de carbono, outros instrumentos de política climática desempenham um papel complementar e importante no regime internacional de mudança do clima. A tributação do carbono, por exemplo, representa outro mecanismo de precificação do carbono que pode ser utilizado para incentivar a redução de emissões, ao aumentar o custo das atividades intensivas em carbono (BURKE; GAMBHIR, 2022).

A combinação estratégica de diferentes instrumentos de política climática, como mercados de carbono, tributação do carbono e regulamentação direta de emissões, pode se revelar uma estratégia mais eficaz para alcançar as metas de redução de emissões de forma eficiente e equitativa, maximizando os benefícios e minimizando os custos para a sociedade (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2019).

3.4 Cooperação internacional

A cooperação internacional emerge como um pilar fundamental para o sucesso do regime internacional de mudança do clima. Os países desenvolvidos, em reconhecimento de sua responsabilidade histórica nas emissões de GEE, têm a responsabilidade de liderar os

esforços de mitigação e adaptação, e de fornecer apoio financeiro e tecnológico substancial aos países em desenvolvimento, auxiliando-os em sua transição para economias de baixo carbono (PULLINS, 2022).

A cooperação Sul-Sul, entre países em desenvolvimento que compartilham desafios e oportunidades similares também desempenha um papel cada vez mais importante, por meio da atuação em parceria que facilita o compartilhamento de experiências, o desenvolvimento de capacidades e a implementação de projetos conjuntos de mitigação e adaptação (BURKE; GAMBHIR, 2022).

O Fórum de Diálogo Índia, Brasil e África do Sul (IBAS) é considerado um exemplo de iniciativa de cooperação Sul-Sul que busca ativamente promover o desenvolvimento sustentável e enfrentar os desafios das mudanças climáticas dos países em desenvolvimento (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2019). O IBAS tem se posicionado de forma estratégica em relação ao mercado de carbono, buscando garantir que os interesses e as necessidades dos países em desenvolvimento sejam devidamente considerados nas negociações internacionais e que os mecanismos de mercado sejam implementados de maneira justa, equitativa e que promovam o desenvolvimento sustentável em todos os países (PULLINS, 2022).

Dada sua relevância geopolítica e seu potencial de liderança, o Brasil possui um papel fundamental a desempenhar, tanto em nível regional na América Latina quanto em nível global nas negociações climáticas multilaterais (BURKE; GAMBHIR, 2022). A implementação bem-sucedida do mercado de carbono no Brasil, em conjunto com a adoção de outras políticas climáticas, pode contribuir de forma significativa para a construção de um futuro mais sustentável para o planeta e para o alcance das metas ambiciosas estabelecidas no Acordo de Paris (IRENA, 2017).

3.5 O papel do Brasil no regime climático

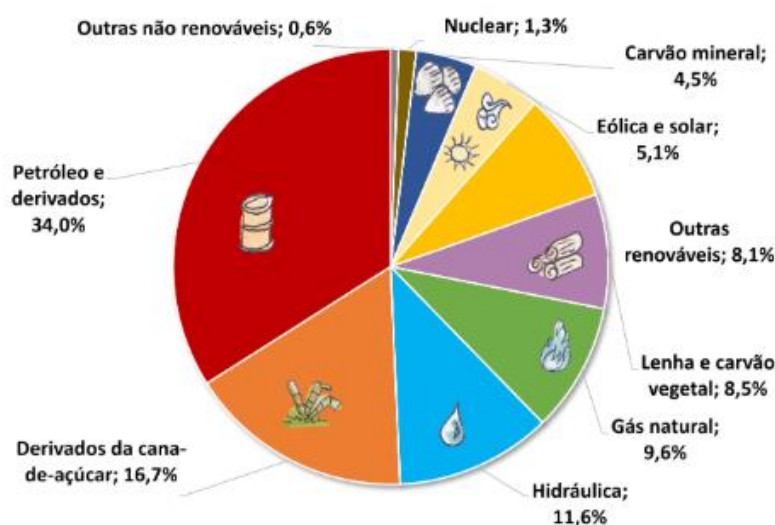
O Brasil, reconhecendo a urgência do desafio climático, tem desempenhado um papel proativo e engajado no regime internacional de mudança do clima, participando ativamente das negociações multilaterais e implementando políticas climáticas em âmbito nacional. Como signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), do Protocolo de Quioto e do Acordo de Paris, o país assumiu metas concretas de redução de emissões de GEE, estabelecidas por meio de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas

(NDCs), que abrangem setores como energia, agricultura, indústria e uso da terra (HUANG et al., 2023).

A Figura 4 apresenta a matriz energética brasileira de 2024, destacando a predominância de fontes renováveis, que representam parcela expressiva do abastecimento nacional. O petróleo e seus derivados ainda ocupam o maior peso na matriz, com 34%, seguidos pelos derivados da cana-de-açúcar (16,7%), pela hidreletricidade (11,6%) e pela lenha e carvão vegetal (8,5%). Já as fontes eólica e solar, em franca expansão, somam 5,1%, enquanto as fontes não renováveis, como o carvão mineral e a energia nuclear, mantêm participação reduzida. Esse perfil reforça a posição estratégica do Brasil entre as grandes economias mundiais, com uma das matrizes energéticas mais limpas e diversificadas do planeta, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025).

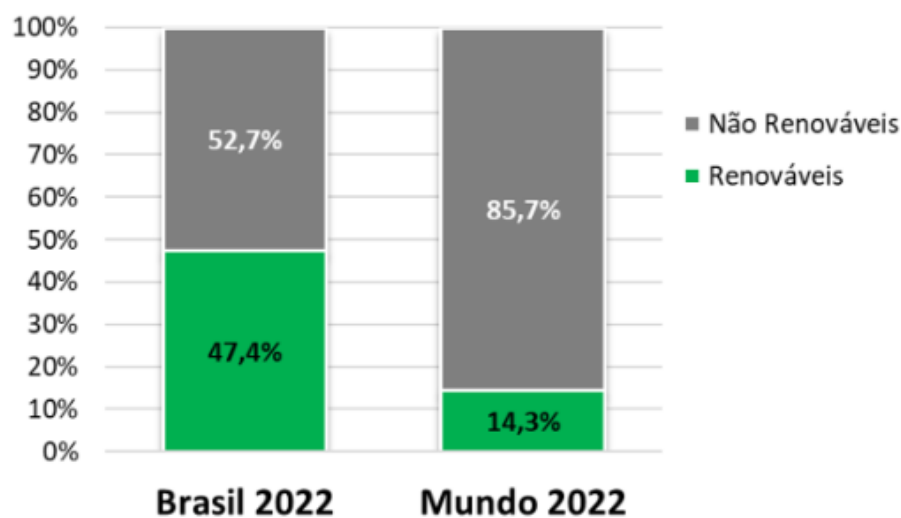
Complementarmente, a Figura 5 compara o consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis entre o Brasil e o mundo em 2022. O gráfico evidencia que, enquanto o mundo dependia majoritariamente de fontes não renováveis (85,7%), o Brasil apresentava um equilíbrio mais sustentável, com 47,4% de energia renovável em sua matriz total. Essa diferença expressiva demonstra o protagonismo brasileiro na transição energética global, especialmente em razão da forte presença de biocombustíveis, hidreletricidade e fontes eólicas e solares, que contribuem para reduzir a intensidade de carbono da economia nacional (EPE, 2025).

Figura 4 – Matriz energética brasileira 2024



Fonte: EPE, 2025

Figura 5 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis



Fonte: EPE, 2025

A promulgação da Lei nº 15.042/2024, que estabelece o arcabouço legal para a implementação do mercado de carbono no Brasil, representa um avanço notável e promissor na participação do país no regime internacional de mudança do clima. Essa legislação inovadora visa regular a comercialização de créditos de carbono, criando um mercado dinâmico que incentive a redução de emissões e promova o desenvolvimento e a adoção de tecnologias mais limpas em diversos setores da economia (BRASIL, 2024).

A implementação do mercado de carbono no Brasil através da legislação possui o potencial de impulsionar uma transição abrangente para uma economia de baixo carbono, estimular a inovação tecnológica em diversos setores e atrair investimentos significativos para o país. No entanto, é de suma importância que o mercado de carbono seja meticulosamente regulamentado e rigorosamente fiscalizado, a fim de salvaguardar sua integridade ambiental e prevenir a ocorrência de fraudes que poderiam minar sua credibilidade e eficácia (DI FEBO *et al.*, 2021).

O Brasil, portanto, assume um papel fundamental no regime internacional de mudança do clima. A capacidade do país de superar os desafios que se apresentam e de aproveitar as oportunidades que surgirem será determinante para o sucesso dos esforços globais de mitigação e adaptação. A adoção de políticas climáticas ambiciosas e eficazes, incluindo a implementação bem-sucedida do mercado de carbono, é fundamental para que o Brasil possa contribuir de forma significativa e duradoura para a construção de um futuro mais sustentável para as próximas gerações (PULLINS, 2022).

4. ACORDOS INTERNACIONAIS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA

O regime internacional de mudança do clima consolidou-se como um conjunto de tratados, instituições e políticas voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação às mudanças climáticas globais. Seu marco fundador é a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), adotada em 1992 durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro.

A UNFCCC reconhece que a mudança do clima é um problema de natureza global que exige ação cooperativa entre todas as nações. Em sua essência, introduz o princípio das “responsabilidades comuns, porém diferenciadas”, segundo o qual todos os países devem atuar na mitigação do aquecimento global, mas em graus distintos, conforme suas capacidades econômicas e responsabilidades históricas (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2019; CHEN et al., 2021).

A Convenção também criou as Conferências das Partes (COPs), reuniões anuais que reúnem os países signatários para revisar o progresso das ações e negociar novos compromissos climáticos (UNCC, 2015). A partir dela foram firmados os dois principais acordos internacionais sobre o tema: o Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris (2015), que representam diferentes fases de evolução das políticas climáticas globais.

O Brasil teve papel fundamental nesse processo, tanto por sediar a conferência que originou a Convenção quanto por defender o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Com sua ampla cobertura florestal e matriz energética predominantemente renovável, o país consolidou-se como um ator estratégico na agenda climática global (BURKE; GAMBHIR, 2022).

4.1. Protocolo de Kyoto

O Protocolo de Kyoto, adotado em 1997 durante a 3ª Conferência das Partes (COP-3) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), representou o primeiro esforço internacional vinculante para enfrentar as mudanças climáticas. Ele entrou em vigor em 2005, após a ratificação de pelo menos 55% dos países desenvolvidos que, juntos,

respondiam por 55% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) em 1990. (ANDRADE; COSTA, 2018).

Seu objetivo central foi estabelecer metas obrigatórias de redução de emissões para 38 países industrializados e economias em transição, que deveriam reduzir, no período de 2008 a 2012, em média, 5,2% de suas emissões em relação aos níveis de 1990. Para tanto, o Protocolo abrangeu seis principais GEE: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) (SCOVAZZI, 2021).

Apesar de seu pioneirismo, o Protocolo enfrentou desafios políticos. Os Estados Unidos, maior emissor mundial na época, recusaram-se a ratificá-lo sob a alegação de que o tratado não impunha obrigações de redução para países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil (SCOVAZZI, 2021). Essa ausência reduziu consideravelmente o impacto ambiental do acordo, enfraquecendo sua efetividade. Ainda assim, o Protocolo foi um marco na governança ambiental global ao inaugurar instrumentos inovadores de mercado para o enfrentamento da crise climática. (ANDRADE; COSTA, 2018).

Para viabilizar o cumprimento das metas, o Protocolo de Kyoto instituiu três mecanismos de flexibilidade:

- 1. Comércio Internacional de Emissões** – permitiu que países com excedentes de permissões vendessem créditos de carbono para outros;
- 2. Implementação Conjunta (JI)** – aplicada entre países do Anexo I (desenvolvidos), para geração de créditos via projetos colaborativos;
- 3. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)** – voltado para países em desenvolvimento.

4.1.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

O MDL foi um dos pontos mais inovadores do Protocolo, proposto originalmente pelo Brasil. Ele permitiu que países desenvolvidos cumprissem parte de suas metas financiando projetos de redução ou remoção de GEE em países em desenvolvimento. Em contrapartida, esses projetos geravam Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), conhecidas como créditos de carbono, que poderiam ser comercializadas no mercado internacional. (ANDRADE; COSTA, 2018).

Esse mecanismo cumpriu dois papéis essenciais, ao mesmo tempo ambientais, econômicos e sociais. Do ponto de vista ambiental, possibilitou reduções de baixo custo em países em desenvolvimento, que dispunham de maior potencial de mitigação de gases de efeito estufa, contribuindo de forma efetiva para o alcance das metas globais (ANDRADE; COSTA, 2018).

Paralelamente, teve um papel decisivo no campo econômico e social ao atrair investimentos estrangeiros, criando novas oportunidades de desenvolvimento sustentável. Essa dinâmica fortaleceu a inserção dos países em desenvolvimento no mercado internacional de carbono, assim como também os posicionou como atores estratégicos na transição para uma economia de baixo carbono.

O Brasil se destacou nesse processo, uma vez que, não pertencendo ao Anexo I do Protocolo de Kyoto, não possuía metas obrigatórias de redução, mas pôde participar ativamente de várias iniciativas de implementação dos projetos de MDL. Iniciativas em setores estratégicos como a geração de energia renovável, a captura de metano em aterros sanitários e o reflorestamento, contribuíram para a redução efetiva de emissões e resultaram em ganhos econômicos, sociais e ambientais locais (ANDRADE; COSTA, 2008).

Projetos, como o da empresa Plantar S.A., em Minas Gerais, e os aterros sanitários de Tremembé e Salvador, exemplificam a forma como o Brasil soube utilizar o mecanismo para atrair recursos internacionais. O projeto da Plantar foi responsável pela arrecadação entre os anos de 2002 até 2008 de US\$ 5,3 milhões aos cofres da empresa. (ANDRADE; COSTA, 2008). O MDL reforçou a posição estratégica do Brasil no cenário climático internacional, ampliando sua visibilidade e capacidade de negociação em fóruns multilaterais (SCOVAZZI, 2021).

Apesar de seus avanços, o MDL também enfrentou limitações significativas. A alta complexidade dos processos de certificação, a concentração de projetos em poucos países e a queda no valor das RCEs após 2012 reduziram sua atratividade (SCOVAZZI, 2021). Além disso, o mecanismo foi gradualmente substituído pelos novos mecanismos de cooperação internacional previstos no Artigo 6 do Acordo de Paris, que buscavam corrigir as falhas observadas e tornar a precificação do carbono mais eficiente e inclusiva.

Assim, o MDL consolidou-se como um marco histórico na política climática global, não apenas por inaugurar o comércio internacional de carbono, mas também por posicionar países como o Brasil como protagonistas na construção de uma economia de baixo carbono.

4.2 Acordo de Paris

O Acordo de Paris foi adotado em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21), e representou um marco histórico na governança climática global. Diferentemente do Protocolo de Kyoto, que impunha metas apenas aos países desenvolvidos, o Acordo envolveu todos os signatários, configurando-se como o primeiro pacto verdadeiramente universal sobre o clima (SCOVAZZI, 2021).

Seu objetivo central é limitar o aumento da temperatura média global a bem menos de 2°C, buscando esforços para contê-lo em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Essa meta reflete a urgência dos impactos já observados das mudanças climáticas, como o aumento da frequência de desastres naturais e o avanço do nível dos oceanos (SCOVAZZI, 2021).

Uma inovação importante foi a criação das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), metas voluntárias apresentadas por cada país e revisadas a cada cinco anos, com o princípio da progressão e da transparência. Embora as NDCs ampliem o engajamento global, sua ausência de caráter vinculante é uma das principais limitações do Acordo, pois não há penalidades para o não cumprimento (SCOVAZZI, 2021).

Outro pilar relevante é o financiamento climático, que prevê que os países desenvolvidos mobilizem US\$ 100 bilhões por ano até 2020 para apoiar nações em desenvolvimento em suas ações de mitigação e adaptação. No entanto, esse compromisso não foi plenamente atingido. De acordo com a OCDE (2023), foram mobilizados cerca de US\$ 89,6 bilhões em 2021, valor inferior à meta, sendo grande parte composta por empréstimos e não doações diretas. Esse resultado evidencia a persistente assimetria financeira entre o Norte e o Sul global, que compromete a implementação equitativa das ações climáticas.

Apesar dessas limitações, o Acordo de Paris trouxe avanços significativos ao incorporar temas como adaptação, resiliência climática e cooperação tecnológica, além de inaugurar uma nova fase de governança baseada na cooperação voluntária e na transparência. Contudo, o desafio permanece: traduzir os compromissos diplomáticos em ações concretas, mensuráveis e suficientes para manter o planeta dentro de um limite climático seguro.

5. NORMAS SOBRE MERCADO DE CARBONO NO BRASIL E NO MUNDO

A crescente urgência climática global impulsionou a adoção de instrumentos econômicos para mitigar as emissões de GEE. Dentre eles, os mecanismos de precificação de carbono, como os *European Union Emissions Trading System* e as taxas sobre carbono, ganharam destaque como ferramentas para internalizar os custos ambientais das emissões e incentivar a transição para uma economia de baixo carbono. Este capítulo explora as principais normas e abordagens regulatórias sobre mercados de carbono adotadas pelo Brasil e por outras jurisdições relevantes no cenário internacional, como Estados Unidos, China, Índia, União Europeia (com foco na Alemanha) e Argentina, oferecendo um panorama comparativo das diferentes estratégias e seus estágios de implementação.

5.1 Estados Unidos

Os Estados Unidos, como a maior economia mundial e um dos principais emissores históricos de gases de efeito estufa, desempenham um papel importante no regime climático internacional. Apesar das oscilações políticas em sua participação – exemplificadas pela saída temporária do Acordo de Paris durante a administração Trump e o subsequente retorno sob a presidência Biden –, o país tem demonstrado um compromisso crescente com a redução de emissões e a transição energética por meio de uma abordagem multifacetada. Essa estratégia se manifesta por meio de iniciativas subnacionais, investimentos federais em tecnologias limpas e uma atenção crescente à integridade do mercado voluntário de carbono, o que reflete uma dinâmica particular de governança climática (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Na ausência de um mercado nacional de carbono regulado, a liderança em precificação de carbono nos EUA é exercida por sistemas regionais e estaduais consolidados, que servem como laboratórios de políticas climáticas. O mais representativo desses é o *Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)*, implementado em 2009. Este programa pioneiro reúne 12 estados da costa leste (*Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Rhode Island, Vermont, Virginia e Pennsylvania*) e regula especificamente as emissões de dióxido de carbono do setor de energia elétrica. O RGGI opera um sistema de cap-and-trade, onde as permissões de emissão são leiloadas, e os recursos gerados são reinvestidos em programas de eficiência energética, energia renovável e redução da demanda elétrica. Em 2022, os leilões do RGGI movimentaram aproximadamente US\$ 1,5

bilhão, e o preço médio das permissões de CO₂ no mercado secundário variou entre US\$ 13,00 e US\$ 15,00 por tonelada, demonstrando a capacidade desses mercados subnacionais de gerar receitas significativas e incentivar a descarbonização do setor elétrico (ALVES *et al.*, 2024; RGGI, 2023).

Outro sistema de destaque e de grande abrangência é o *California Cap-and-Trade Program*, iniciado em 2013. Considerado o mais ambicioso dos EUA, ele cobre cerca de 85% das emissões do estado, incluindo setores como indústria, geração de eletricidade e combustíveis para transporte. A robustez desse mercado é evidenciada pelos volumes financeiros e pelos preços do carbono: apenas em 2021, o programa movimentou cerca de US\$ 2,2 bilhões em receitas de leilões, e o preço médio da tonelada de CO₂ nesse mercado oscilou entre US\$ 28 e US\$ 34, aproximando-se de valores praticados em mercados consolidados como o europeu (BURKE; GAMBHIR, 2022; CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD, 2022). Esses números reforçam a relevância e a eficácia das iniciativas subnacionais na ausência de um sistema federal, provando que a precificação de carbono pode ser um motor de descarbonização em nível regional.

Além dos mercados regionais, o governo norte-americano tem buscado fomentar projetos inovadores e a transição energética por meio de políticas de incentivo fiscal e investimento direto. Um exemplo é o *Inflation Reduction Act (IRA)*, aprovado em 2022. Este pacote legislativo representa o maior investimento climático da história dos EUA, prevendo US\$ 369 bilhões para energia limpa e clima. O IRA oferece créditos tributários e incentivos para diversas tecnologias, incluindo a produção de hidrogênio limpo (com créditos de até US\$ 3/kg), o desenvolvimento de veículos elétricos, a energia solar e eólica, e o apoio às tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS), com créditos fiscais que podem chegar a US\$ 85 por tonelada de CO₂ capturada e armazenada permanentemente (IEA, 2024; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2023). Estima-se que essas medidas possam reduzir as emissões do país em cerca de 40% até 2030 em relação aos níveis de 2005, demonstrando o poder dos incentivos fiscais como complemento aos mecanismos de mercado na aceleração da descarbonização.

Esses avanços, contudo, são acompanhados por desafios estruturais que influenciam a trajetória de descarbonização dos EUA. A persistente dependência de setores intensivos em carbono, como petróleo e gás, ainda limita uma transição mais rápida. Além disso, a fragmentação regulatória entre estados e a ausência de um preço federal do carbono geram incertezas quanto à efetividade de longo prazo e à escalabilidade dessas políticas (SOBRINHO,

2023). Apesar disso, a experiência norte-americana demonstra que a combinação de iniciativas subnacionais, como o RGGI e o *California Cap-and-Trade*, com investimentos federais estratégicos em inovação tecnológica e incentivos fiscais, pode criar caminhos viáveis e eficazes para a descarbonização. Essa abordagem pode oferecer exemplos e oportunidades para países emergentes como o Brasil, que buscam construir seus próprios mercados de carbono e políticas climáticas adaptadas às suas realidades.

5.2 China

A China, na condição de maior emissor global de gases de efeito estufa e um dos países que mais investem em mecanismos de transição energética, ocupa um papel central e dinâmico no regime climático internacional. Sua trajetória na precificação de carbono iniciou-se com a implementação de programas-piloto regionais de comércio de emissões em diversas cidades e províncias, como Shenzhen, Pequim e Xangai, a partir de 2011. Essa fase experimental culminou, em julho de 2021, com o lançamento do mercado nacional de carbono (NCET), que se tornou o maior do mundo em termos de emissões cobertas, abrangendo inicialmente mais de 2.200 empresas do setor de geração de energia termelétrica e cerca de 4,5 bilhões de toneladas de CO₂ anuais (OLIVEIRA *et al.*, 2025; INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP, s.d.; DI FEBO; NASSIOS; GALLOU, 2021).

A operação do NCET é caracterizada por um sistema de alocação de licenças predominantemente gratuita, baseada em benchmarks de intensidade de emissões (tCO₂ por MWh gerado). Este método visa incentivar as usinas a aprimorarem sua eficiência energética, recompensando-as com melhor desempenho. Em janeiro de 2024, o Conselho de Estado promulgou os "Regulamentos Provisórios para a Gestão do Comércio de Emissões de Carbono", que entraram em vigor em 1º de maio de 2024. Esta regulamentação de nível administrativo superior fortaleceu a base legal do ETS, estabelecendo responsabilidades claras para órgãos governamentais, aprimorando as regras de alocação, MRV, e introduzindo penalidades mais rigorosas para não conformidade e falsificação de dados de emissões (CHINA, 2024; INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP, 2024; ESG TODAY, 2024). A imposição de multas significativas para a manipulação de dados reflete a prioridade dada à integridade do mercado. Do ponto de vista dos resultados, os ganhos de desempenho ESG concentram-se sobretudo nas dimensões ambiental e social, confirmando que o mercado de carbono chinês tem potencial não apenas para induzir reduções efetivas de

emissões, mas também para gerar efeitos colaterais positivos no ambiente corporativo, promovendo uma cultura de maior responsabilidade socioambiental (ABAKAH et al., 2024; TANG; WU; LIU, 2025).

No entanto, ainda persistem desafios estruturais, como a limitação inicial do escopo regulatório ao setor de energia, a volatilidade de preços dos créditos e a necessidade de integrar esse mecanismo às demais políticas climáticas e energéticas do país (HUANG *et al.*, 2023). A expansão gradual da cobertura do ETS para outros setores industriais intensivos em energia e emissões, como cimento, aço e alumínio, já está em curso, com a inclusão de alguns destes prevista para 2024, o que demonstra a ambição chinesa em consolidar seu mercado de carbono (CARBON BRIEF, 2024; CHINA, 2024). Nesse contexto, a experiência chinesa pode ser interpretada como um processo em construção, caracterizado por avanços notáveis e desafios persistentes. Por um lado, o país avança ao criar o maior mercado de carbono em escala global e ao induzir melhorias em indicadores *ESG*; por outro, enfrenta fragilidades institucionais e riscos de instabilidade que podem comprometer a previsibilidade de longo prazo. Assim, a trajetória chinesa ilustra o duplo papel do país: como maior emissor mundial e, simultaneamente, como laboratório de políticas climáticas que podem fornecer referências relevantes para outras economias emergentes, incluindo o Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2025; ALVES *et al.*, 2024).

5.3 União Europeia (UE)

A União Europeia (UE) é reconhecida globalmente como pioneira e líder na implementação de políticas de precificação de carbono, com o seu Sistema de Comércio de Emissões (EU ETS) sendo o maior e mais antigo mercado de carbono do mundo. Lançado em 2005, o EU ETS é um pilar fundamental da política climática da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2025; BRASIL ENERGIA, 2025), cobrindo aproximadamente 40% das emissões GEE do bloco e englobando mais de 11.000 instalações industriais e de geração de energia, além de voos dentro do Espaço Econômico Europeu e, mais recentemente, o setor marítimo (DNV, 2025).

O EU ETS opera sob o princípio de "*cap-and-trade*", onde um limite máximo (*cap*) é estabelecido para a quantidade total de GEE que pode ser emitida pelas instalações abrangidas (CH ROBINSON, 2025). Dentro desse limite, as empresas compram ou recebem licenças de emissão (*EUAs – European Union Allowances*), que podem ser negociadas entre si. A escassez

gradual de licenças, determinada pela redução progressiva do "*cap*", cria um preço para o carbono, incentivando as empresas a reduzirem suas emissões de forma custo-efetiva (CARBON MARKET WATCH, 2024).

O preço do carbono no EU ETS tem demonstrado uma trajetória de crescimento, refletindo a ambição climática da UE e a crescente escassez de licenças. Em 2025, os preços das licenças de carbono da UE estavam sendo negociados em torno de 72,62 euros por tonelada, com preços que já ultrapassaram 90 euros (TRADING ECONOMICS, 2025; STATISTA, 2025). Essa precificação tem sido um motor significativo para a descarbonização, incentivando investimentos em tecnologias limpas e eficiência energética. As receitas dos leilões, que em 2022 chegaram a 39 bilhões de euros, são reinvestidas pelos Estados-Membros em ações climáticas e energéticas (CATÓLICA-LISBON, 2025).

Além do setor de energia e indústria, o EU ETS tem expandido seu escopo. Em 2024, o setor marítimo foi incluído, e a partir de 2027, um novo sistema de comércio de emissões (ETS2) será estabelecido para cobrir as emissões de combustíveis utilizados em edifícios e transporte rodoviário (SP GLOBAL, 2025; CEMBUREAU, 2021). A evolução do sistema inclui mecanismos como o *Market Stability Reserve (MSR)*, que ajuda a equilibrar a oferta e a demanda de licenças, assegurando preços estáveis e previsíveis (EUROPEAN COMMISSION, 2025).

O sucesso do EU ETS é atribuído à sua capacidade de fornecer um sinal de preço claro e estável para o carbono, o que tem impulsionado a inovação e a redução de emissões em diversos setores, com resultados que demonstram a sua efetividade na transição energética (MDPI, 2025). No entanto, o sistema também enfrenta desafios, como a necessidade de garantir a competitividade das indústrias europeias em relação a países com regulamentações menos rigorosas, o que levou à criação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (*CBAM*) (EUROPEAN COMMISSION, 2025). O *CBAM* visa equalizar o preço do carbono entre produtos domésticos e importados, evitando a "fuga de carbono" e incentivando a ação climática global (SCIENCE DIRECT, 2023).

Em síntese, a experiência da União Europeia com o EU ETS demonstra a viabilidade e a eficácia de um sistema de comércio de emissões em larga escala para impulsionar a descarbonização. O modelo da UE, com sua evolução contínua e expansão para novos setores, oferece lições sobre a implementação de políticas climáticas ambiciosas e a importância de um preço de carbono competitivo para alcançar metas de redução de

emissões, servindo como um referencial importante para o desenvolvimento de mercados de carbono em outras regiões, incluindo o Brasil (BRASIL ENERGIA, 2025).

5.4 América Latina - Argentina

A América Latina, com sua vasta extensão de florestas tropicais, representa um dos mais significativos sumidouros de carbono do planeta, conferindo-lhe um papel estratégico nos esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. A região tem testemunhado uma expansão notável dos mercados florestais de carbono, tanto em mecanismos de conformidade quanto no mercado voluntário. Essa dinâmica é impulsionada, em grande parte, por projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+), que não apenas visam a ganhos de biodiversidade, mas também a distribuição de benefícios sociais para comunidades locais (BLANTON *et al.*, 2024).

O mercado de carbono na América Latina, embora promissor, enfrenta desafios como a fragmentação regulatória, assimetrias de preços e incertezas quanto à integridade dos créditos. Contudo, há oportunidades concretas de escala, especialmente ao alinhar estratégias jurisdicionais com metodologias internacionais (como JNR/Verra) e ao acessar fontes de financiamento climático. A articulação entre pagamentos por resultados e arranjos de mercado com salvaguardas socioambientais rigorosas é um vetor promissor para o desenvolvimento regional (BLANTON *et al.*, 2024; VERRA, [s.d.]).

A Argentina tem buscado ampliar sua inserção nos mercados de carbono por meio de políticas climáticas alinhadas aos compromissos assumidos no Acordo de Paris e em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). O país se comprometeu a reduzir suas emissões em 19% até 2030 em relação ao cenário de referência, com potencial de alcançar até 27,7% em caso de apoio internacional (UNFCCC, 2021).

No campo regulatório, a Argentina implementou a Lei 27.430, que introduziu um imposto sobre o dióxido de carbono (carbon tax) em 1º de janeiro de 2018, substituindo impostos anteriores sobre combustíveis líquidos. Este imposto incide sobre a maioria dos combustíveis fósseis, com o objetivo de internalizar o custo das emissões de CO₂. Em 2018, a taxa estabelecida era de aproximadamente US\$ 10 por tonelada de CO₂ equivalente (IEA, [s.d.]; CLIMATE-LAWS.ORG, [s.d.]). Embora a Argentina ainda não possua um mercado nacional de carbono estruturado nos moldes de um sistema de comércio de emissões (ETS), a

Lei 27.430 representa um passo significativo na precificação do carbono e na sinalização econômica para a descarbonização.

Além da tributação, a Argentina tem avançado em iniciativas voluntárias e em programas setoriais de mitigação. Um Projeto de Lei para o mercado de carbono foi apresentado, buscando estruturar um mercado onde os créditos de carbono possam ser gerados, registrados e comercializados. Este projeto, composto por 23 artigos, visa estabelecer um arcabouço legal para o desenvolvimento de um mercado doméstico de carbono, complementando as políticas existentes e facilitando a participação do país em mecanismos internacionais, como o Artigo 6 do Acordo de Paris (CARBON CREDITS, 2024)

O setor florestal e de uso da terra apresenta destaque, dado o potencial do país para projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+). Estima-se que a Argentina concentre cerca de 8% das áreas de florestas da América Latina com capacidade de gerar créditos de carbono, em um mercado regional que movimenta anualmente valores superiores a US\$ 500 milhões em projetos florestais (BLANTON *et al.*, 2024).

Um dos exemplos relevantes é o Projeto Matriz d *Renovable e Energía (RenovAr)*, que, além de estimular a transição energética, abre espaço para a contabilização de reduções de emissões vinculadas à geração elétrica renovável. Desde 2016, o *RenovAr* contratou mais de 4,4 GW de capacidade renovável, evitando emissões estimadas em 7 milhões de toneladas de CO₂ por ano, com possibilidade de conversão parcial desses resultados em créditos de carbono comercializáveis (IEA, 2024).

Adicionalmente, a Argentina participa de programas regionais de financiamento climático que buscam estruturar projetos com foco em energia renovável e uso sustentável da terra. Em 2022, o país recebeu aproximadamente US\$ 300 milhões do *Green Climate Fund (GCF)* para iniciativas em energia limpa e agricultura sustentável, evidenciando o papel estratégico dos fluxos financeiros internacionais para viabilizar projetos de baixo carbono.

Apesar dos avanços, o país enfrenta desafios estruturais para consolidar um mercado de carbono robusto. A instabilidade macroeconômica, a volatilidade cambial e a limitação do investimento privado em setores de risco elevado reduzem a atratividade de projetos de longo prazo. Além disso, a ausência de um sistema nacional de MRV robusto dificulta a credibilidade dos créditos emitidos localmente.

A Argentina, portanto, se posiciona como um ator relevante para o fortalecimento dos mercados de carbono na América Latina, especialmente em setores de energia renovável e florestas. A combinação de potencial natural e a busca por

financiamento internacional cria oportunidades para que o país avance no cumprimento de suas metas climáticas e consolide mecanismos de mercado que ampliem a integração regional no enfrentamento das mudanças climáticas.

5.5 Brasil

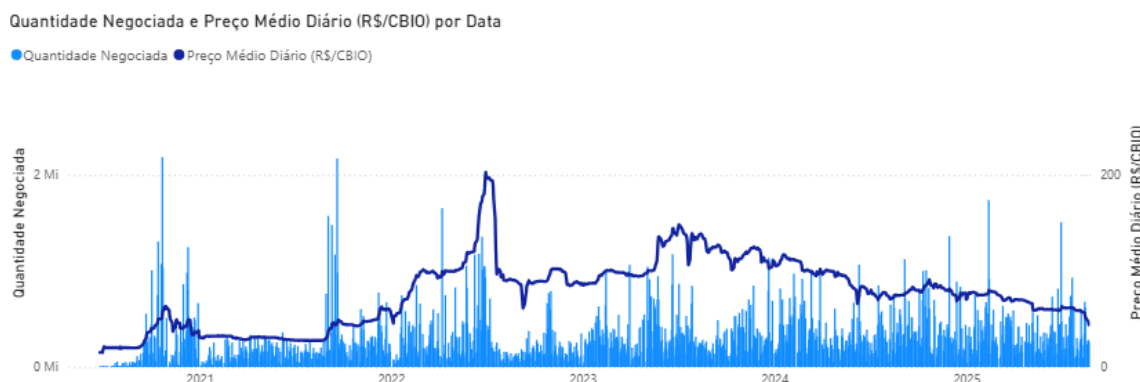
O Brasil ocupa uma posição estratégica nos mercados de carbono, em razão de sua matriz energética predominantemente renovável e da presença da Floresta Amazônica, que desempenha um papel crucial na absorção de dióxido de carbono em escala global. Em 2022, a participação de fontes limpas na matriz energética nacional atingiu 83%, em contraste com a média mundial de 29% (IEA, 2024). Esse diferencial confere ao país centralidade na oferta de créditos de carbono, tanto em mercados regulados quanto voluntários, consolidando sua relevância nos esforços internacionais de descarbonização.

No plano regulatório, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009, estabeleceu as diretrizes iniciais para a criação de instrumentos de precificação de carbono. Avanço significativo ocorreu com a aprovação da Lei nº 412/2022, que instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). Esse sistema regulamenta o comércio de permissões de emissão entre setores de alta intensidade de carbono, alinhando-se aos princípios do Artigo 6 do Acordo de Paris (CLIMATE LAWS, 2023). A implementação do SBCE representa um passo fundamental para a criação de um arcabouço legal robusto, destinado a incentivar a redução de emissões e a transição para uma economia de baixo carbono.

No setor de transportes, o RenovaBio (Lei nº 13.576/2017) destaca-se como a principal política de descarbonização de combustíveis. Por meio da emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS), foram comercializados mais de 160 milhões de títulos entre 2020 e 2023, com movimentação financeira aproximada de R\$ 7,8 bilhões na B3 e preços médios variando entre R\$ 100 e R\$ 150 por unidade (ANP, 2023). A evolução do preço dos CBIOS ao longo dos últimos anos, apresentada na Figura 6, evidencia a consolidação do mercado e a crescente valorização desses créditos no escopo do RenovaBio, refletindo maior demanda por descarbonização no setor de transportes. Outro marco regulatório relevante é a Lei nº 14.120/2021, que determinou a consideração dos benefícios ambientais nos leilões de energia,

criando condições para a incorporação da precificação de carbono no setor elétrico e fortalecendo a competitividade das fontes renováveis.

Figura 6 – Comercialização de CBIOS 2020 - 2025



Fonte: ANP, 2025

Entre os projetos e programas nacionais, a política de expansão das energias renováveis tem tido papel fundamental. O programa RenovAr Brasil contratou mais de 4,4 GW de capacidade instalada desde 2016, com impacto estimado de 7 milhões de toneladas de CO₂ evitadas anualmente (EPE, 2023). Além disso, o Projeto CIMASAS, que avaliou a viabilidade da geração híbrida a partir de resíduos sólidos urbanos associados à energia fotovoltaica, demonstrou que a inclusão da receita proveniente da comercialização de créditos de carbono é determinante para a viabilidade financeira dos empreendimentos. Os indicadores financeiros apresentaram resultados significativamente superior, com aumento de até 134,9% no Valor Presente Líquido (VPL), crescimento de 39,4% na Taxa Interna de Retorno (TIR) e redução de 38,6% no tempo de retorno do capital (*payback*) (SILVA *et al.*, 2023).

O setor florestal, entretanto, concentra o maior potencial de inserção do Brasil nos mercados de carbono. Estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022) indicam que o país poderia ofertar aproximadamente 1,5 bilhão de créditos florestais por ano, o que equivale a 1,5 gigatonelada de CO₂ evitada ou removida. Esse potencial, assim como a distribuição espacial dos principais projetos florestais brasileiros, encontra-se representado na Figura 7, que apresenta o panorama nacional dos projetos de carbono florestal registrados no mercado voluntário, com destaque para os estados da Amazônia Legal. De acordo com o levantamento do IDESAM (2025), o Brasil responde por cerca de 45% dos créditos florestais da América Latina, em um mercado que movimenta mais de US\$ 500 milhões anuais.

Figura 7 – Distribuição espacial dos projetos de carbono florestal no Brasil e estimativas de geração de créditos (2020–2050)



Fonte: IDESAM, 2025

Apesar dos avanços regulatórios e do potencial natural, o país ainda enfrenta desafios para consolidar um mercado de carbono robusto. A ausência de um sistema nacional unificado de mensuração, reporte e verificação (MRV) compromete a credibilidade dos créditos emitidos, enquanto a sobreposição entre iniciativas estaduais e federais, somada à volatilidade cambial e à instabilidade política, reduz a atratividade para investidores privados de longo prazo.

Em síntese, o Brasil reúne condições ímpares para se tornar líder global nos mercados de carbono, tanto pela abundância de recursos naturais quanto pela consolidação de políticas como o RenovaBio e o SBCE. A adoção de sistemas sólidos de governança e MRV, associada à superação dos desafios macroeconômicos, poderá posicionar o país como um dos principais fornecedores mundiais de créditos de carbono, desempenhando papel central no cumprimento das metas climáticas internacionais e na transição para uma economia de baixo carbono.

6. MATRIZ SWOT PARA O MERCADO DE CARBONO BRASILEIRO

A ferramenta de planejamento estratégico conhecida como análise *SWOT* - *Strengths, Weakness, Opportunities, and Threats* oferece uma estrutura robusta para a avaliação minuciosa dos ambientes interno e externo que moldam uma organização, um projeto específico ou uma política governamental. No intrincado contexto do mercado de carbono no Brasil, a aplicação da análise SWOT revela-se particularmente valiosa, permitindo a identificação precisa dos atributos internos que conferem vantagens (forças) e das limitações internas que podem representar obstáculos (fraquezas) a esse mercado em desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Adicionalmente, essa ferramenta estratégica possibilita a detecção dos fatores externos que podem impulsionar seu crescimento e eficácia (oportunidades), bem como dos elementos externos que podem representar desafios ou riscos significativos (ameaças). A realização desta análise abrangente é um passo crucial para a formulação de estratégias bem-informadas, capazes de maximizar os benefícios potenciais do mercado de carbono para a economia e o meio ambiente brasileiros, ao mesmo tempo em que se busca minimizar seus riscos inerentes (ALVES *et al.*, 2024).

As forças inerentes ao mercado de carbono no Brasil referem-se aos atributos internos e características distintivas que conferem vantagens competitivas e um potencial intrínseco para o seu desenvolvimento bem-sucedido. Um dos pilares fundamentais entre essas forças reside no promissor potencial de geração de receita advinda da comercialização de créditos de carbono. A implementação de um mercado de carbono funcional tem a capacidade de criar novas e significativas fontes de receita para empresas e projetos que demonstrarem sucesso na redução de suas emissões de GEE (CHEN *et al.*, 2021).

Esse incentivo financeiro direto atua como um catalisador para a adoção de práticas operacionais e tecnologias produtivas mais sustentáveis em diversos setores da economia. Em um estudo recente, Campello *et al.* (2024) lançaram luz sobre o papel crucial que o mercado de crédito de carbono pode desempenhar na viabilização econômica de projetos inovadores, como usinas híbridas de geração de energia que combinam o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos com a energia solar fotovoltaica, demonstrando o potencial sinérgico entre a sustentabilidade ambiental e a viabilidade financeira.

Ademais, o estabelecimento e a maturação de um mercado de carbono no Brasil têm o potencial de impulsionar significativamente o desenvolvimento e a adoção de tecnologias limpas e energeticamente eficientes. A imposição de um custo sobre as emissões de GEE, inerente ao funcionamento de um mercado de carbono, cria um poderoso incentivo para a inovação tecnológica, estimulando a busca por soluções mais sustentáveis e de menor impacto ambiental em uma ampla gama de setores econômicos (BURKE; GAMBHIR, 2022).

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2024) explorou em profundidade como os mecanismos de crédito de carbono podem atuar como um catalisador para a adoção de tecnologias de energia limpa de ponta, como a produção e utilização de hidrogênio de baixa emissão, o desenvolvimento e a implantação de combustíveis de aviação sustentáveis (*SAF*) e a implementação de tecnologias de captura direta de ar (*DACS*) para a remoção de dióxido de carbono da atmosfera. O Brasil, em sua singularidade geográfica e ambiental, possui vantagens comparativas relevantes no contexto da mitigação das mudanças climáticas. Sua matriz energética é caracterizada por uma elevada participação de fontes renováveis, sobretudo a hidroeletricidade, enquanto seu vasto território abriga ecossistemas florestais de grande extensão com potencial de sequestro de carbono da atmosfera, conferindo ao país uma posição estratégica no cenário global da ação climática (PULLINS, 2022). Nesse sentido, Blanton *et al.* (2024) destacam o papel da América Latina, incluindo o Brasil, como fornecedora de projetos de alta qualidade voltados à redução de emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal, ressaltando a importância das florestas tropicais na regulação do clima global.

A promulgação da Lei nº 15.042/2024, que estabelece o marco legal para a operação do mercado de carbono no Brasil, representa um avanço regulatório de grande importância e pode ser legitimamente considerada uma força motriz para o desenvolvimento e a consolidação desse mercado. Essa legislação visa regular de forma abrangente a comercialização de créditos de carbono, criando um ambiente de mercado estruturado que incentive a redução de emissões de GEE e promova o desenvolvimento sustentável em suas múltiplas dimensões (BRASIL, 2024). Sobrinho (2023) observou que a opção do Brasil pela implementação de mercados de carbono, em detrimento da tributação direta sobre as emissões, reflete uma estratégia deliberada de conciliar o controle das emissões com a manutenção de um ambiente propício ao estímulo do desenvolvimento econômico.

Não obstante as forças identificadas, o mercado de carbono no Brasil também apresenta fraquezas intrínsecas, que consistem em atributos internos que podem potencialmente prejudicar o seu desenvolvimento pleno e a sua eficácia na consecução dos objetivos de mitigação climática. Um dos desafios primordiais reside na complexidade inerente à definição precisa dos setores da economia que serão submetidos à regulamentação do mercado de carbono (LIN; WU, 2022).

A escolha dos setores a serem incluídos no escopo do mercado é uma decisão multifacetada que exige a cuidadosa consideração de fatores econômicos, ambientais e políticos, buscando um equilíbrio delicado entre a abrangência do sistema e a sua viabilidade prática. Sobrinho (2023) salientou a importância de se adotar critérios racionais e transparentes para a seleção dos setores, de modo a evitar decisões arbitrárias que possam gerar distorções econômicas ou comprometer a legitimidade do mercado.

A implementação de um sistema confiável de MRV das reduções de emissões representa outra fraqueza potencial do mercado de carbono no Brasil. Um sistema confiável e transparente é absolutamente essencial para garantir a integridade ambiental dos créditos de carbono, assegurando que cada crédito transacionado corresponda a uma redução real, adicional e verificável de emissões de GEE. A ausência de um sistema de MRV adequado e eficaz pode minar a credibilidade do mercado, gerar desconfiança entre os participantes e comprometer a sua capacidade de gerar reduções de emissões genuínas (WATT *et al.*, 2020).

A própria regulação do mercado de carbono, dada a sua natureza inovadora e a sua interação com diversos setores da economia, configura-se como um processo complexo. A falta de clareza regulatória e de segurança jurídica pode representar uma fraqueza significativa para o desenvolvimento do mercado, criando incertezas para os investidores e dificultando a tomada de decisões de longo prazo (PULLINS, 2022).

Adicionalmente, a interconexão dinâmica e assimétrica entre os mercados de carbono e de energia constitui uma fraqueza relevante, pois a volatilidade nos preços das commodities energéticas pode ser transmitida ao mercado de carbono, gerando instabilidade e incerteza para os participantes. Estudos empíricos confirmam essa relação, demonstrando que o mercado de carbono tende a ser um receptor primário da volatilidade oriunda do mercado de energia, o que compromete sua estabilidade e previsibilidade (OLIVEIRA *et al.*, 2025; ABAKAH *et al.*, 2024).

Da mesma forma, Xu e Lien (2025) enfatizaram a necessidade de se buscar um equilíbrio cuidadoso entre os objetivos de desenvolvimento industrial e a manutenção de preços de carbono relativamente estáveis, o que requer a elaboração de projetos de políticas refinados que levem em consideração os impactos diversificados dos mercados de carbono em diferentes setores da economia.

As oportunidades que se apresentam para o mercado de carbono no Brasil referem-se aos fatores externos e tendências globais que podem favorecer o seu desenvolvimento, aumentar a sua eficácia e ampliar o seu impacto na mitigação das mudanças climáticas. A crescente preocupação em escala global com os impactos das mudanças climáticas e a consequente adoção de metas ambiciosas de redução de emissões por um número cada vez maior de países representam uma oportunidade significativa para o Brasil (BURKE; GAMBHIR, 2022).

O Acordo de Paris, com o seu arcabouço de cooperação internacional na área de mudanças climáticas e o seu sistema de Contribuições Nacionalmente Determinadas (*NDCs*), no qual o Brasil assumiu compromissos de redução de emissões em diversos setores, cria um contexto internacional favorável ao desenvolvimento de mecanismos de mercado como o mercado de carbono (UNCC, 2015). Esse arcabouço tem o potencial de gerar novas e importantes fontes de receita para empresas e projetos que adotam práticas sustentáveis e implementam tecnologias de baixo carbono. Um exemplo emblemático é o programa RenovaBio, que já comercializou mais de 160 milhões de CBIOS entre 2020 e 2023, movimentando aproximadamente R\$ 7,8 bilhões na B3 (ANP, 2023). Da mesma forma, projetos florestais no Brasil, sobretudo os vinculados ao mecanismo REDD+, têm registrado preços médios entre US\$ 7 e US\$ 10 por tonelada de CO₂, com expectativa de movimentação anual superior a US\$ 500 milhões apenas na América Latina (BLANTON *et al.*, 2024). Campello *et al.* (2024) também destacou o papel crucial do mercado de créditos de carbono na viabilização econômica de projetos inovadores, como as usinas híbridas que combinam o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos com energia solar fotovoltaica.

Essa geração de receita adicional pode, por sua vez, impulsionar a inovação tecnológica e acelerar o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias de baixo carbono em diversos setores da economia brasileira. Estimativas do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) apontam que um mercado regulado de carbono no Brasil poderia atrair mais de R\$ 100 bilhões em investimentos até 2030, ao mesmo tempo em que reduziria

aproximadamente 500 milhões de toneladas de CO₂ (IADB, 2022). Deknatel e Van der Loos (2025), em estudo sobre a União Europeia, ressaltaram que a consolidação dos mercados voluntários e de conformidade desempenha papel complementar na formação de um mercado para tecnologias emergentes, como remoção direta de carbono (CDR), o que reforça a importância de avançar também no caso brasileiro.

O estabelecimento de um mercado de carbono robusto e confiável no Brasil apresenta ainda o potencial de atrair fluxos significativos de investimentos, tanto de origem nacional quanto estrangeira, voltados para a economia verde. O leilão de créditos de carbono realizado pela Prefeitura de São Paulo em 2007, referente ao aterro sanitário de Bandeirantes, arrecadou R\$ 34 milhões com a venda de 808 mil créditos, precificados a cerca de € 16 por tonelada de CO₂ — um dos primeiros exemplos concretos do potencial econômico desse mercado no país. Atualmente, estima-se que o Brasil tenha capacidade de ofertar 1,5 bilhão de créditos de carbono florestais por ano, equivalentes a 1,5 gigatonelada de CO₂, colocando-o entre os maiores fornecedores globais em potencial (EPE, 2022). Esses números reforçam que investidores com foco em sustentabilidade e oportunidades de crescimento em setores de baixo carbono tendem a ser atraídos por um mercado nacional bem regulamentado e com perspectivas de longo prazo (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

A IEA (2024) analisou como os créditos de carbono funcionam como catalisadores para a adoção de tecnologias inovadoras de energia limpa, criando um ambiente propício à atração de investimentos substanciais para o setor e contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Nesse contexto, a participação das empresas em mercados de carbono e a adoção de práticas de redução de emissões também podem gerar impactos positivos no desempenho ambiental, social e de governança (*Environmental and Social Governance - ESG*). Empresas que se destacam em neste âmbito tendem a apresentar maior resiliência, capacidade de atrair investimentos e fortalecimento de sua reputação junto a stakeholders. Tang *et al.* (2025) reforçam que a consolidação de um mercado nacional de carbono desempenha papel fundamental no aprimoramento contínuo desses indicadores, estabelecendo um ciclo virtuoso de sustentabilidade e geração de valor para acionistas

As ameaças que podem comprometer o desenvolvimento e a efetividade do mercado de carbono no Brasil estão associadas a fatores externos que representam obstáculos significativos, como a resistência de determinados setores econômicos à adoção de medidas de redução de emissões. A transição para uma economia de baixo carbono exige mudanças

estruturais profundas em setores altamente dependentes de combustíveis fósseis ou com processos produtivos intensivos em emissões, o que pode gerar barreiras políticas e econômicas, dificultando a implementação efetiva desse mercado (OLIVEIRA *et al.*, 2025; ALVES *et al.*, 2024).

A instabilidade política e econômica, que pode comprometer a continuidade e a credibilidade das políticas climáticas de longo prazo, é outra ameaça significativa para o mercado de carbono no Brasil. A falta de um compromisso político de longo prazo com as metas de redução de emissões e com o funcionamento do mercado de carbono pode gerar incerteza regulatória, desincentivar os investimentos em projetos de redução de emissões e minar a confiança dos participantes do mercado (ALVES *et al.*, 2024).

A falta de conscientização e engajamento da sociedade em relação à importância do mercado de carbono como um instrumento de política climática também representa uma ameaça potencial. Para que o mercado de carbono seja efetivo e alcance os seus objetivos, é fundamental que a sociedade em geral compreenda os seus benefícios, apoie a sua implementação e pressione por políticas climáticas mais ambiciosas (BURKE; GAMBHIR, 2022).

Um fator a ser observado é que a evolução da agenda ambiental ocorre de forma lenta e fragmentada, e no Brasil não é diferente, fazendo com que gere um descompasso entre a urgência climática apontada pela comunidade científica e a capacidade regulatória de resposta. Exemplo disso é o intervalo de mais de uma década entre a promulgação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e a aprovação da Lei nº 15.042/2024, que finalmente instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões. Essa morosidade regulatória fragiliza a previsibilidade para investidores e limita a atratividade do Brasil frente a mercados mais consolidados, como o europeu e o chinês. Em termos práticos, a lentidão da agenda ambiental se configura como um obstáculo estratégico, que restringe o potencial de aproveitamento das oportunidades globais de financiamento climático e compromete a liderança regional que o país poderia exercer na transição para uma economia de baixo carbono.

Além disso, os riscos inerentes ao funcionamento do próprio mercado de carbono não se limitam a imperfeições regulatórias: a volatilidade nos preços dos créditos, a possibilidade de fraudes e a ameaça de vazamento (quando atividades emissoras migram para jurisdições com regulamentações mais frouxas) demandam gestão proativa (ALVES *et al.*, 2024). Por exemplo, no mercado europeu (EU ETS), o preço de permissões variou historicamente entre cerca de €

20 a mais de € 100 por tonelada de CO₂, conforme oscilações regulatórias, oferta e demanda (*Global Carbon Credit Markets*, 2025). Tal amplitude de variação ilustra como o mercado de carbono brasileiro também pode estar vulnerável a picos e quedas abruptas, impactando a previsibilidade dos projetos e aumentando o risco para investidores.

Em suma, a análise SWOT revela que o mercado de carbono no Brasil se encontra em um cenário dinâmico, com a presença de forças internas e oportunidades externas que podem impulsionar o seu desenvolvimento e contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. No entanto, também enfrenta fraquezas internas e ameaças externas que precisam ser cuidadosamente consideradas e superadas (ALVES *et al.*, 2024).

A formulação de estratégias eficazes para o mercado de carbono no Brasil deve, portanto, levar em consideração todos esses fatores interconectados, buscando maximizar as forças e as oportunidades, minimizar as fraquezas existentes e mitigar as ameaças potenciais, a fim de garantir o sucesso e a sustentabilidade de longo prazo desse importante instrumento de política climática (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Figura 8 – Matriz SWOT mercado de carbono brasileiro

MATRIZ SWOT MERCADO DE CARBONO BRASILEIRO	
FORÇAS - STRENGTHS	WEAKNESS - FRAQUEZAS
<ul style="list-style-type: none">• Matriz energética predominantemente limpa;• Potencial florestal expressivo — 1,5 bilhão de créditos/ano (1,5 GtCO₂);• Brasil fornece 45% dos créditos florestais da América Latina;• Programa RenovaBio: mais de 160 milhões de CBIOS negociados;• Estímulo à inovação tecnológica e transição energética, com projetos de hidrogênio verde, CCUS e combustíveis sustentáveis;• Integração entre sustentabilidade e viabilidade econômica, exemplificada por projetos híbridos de energia;• Marco regulatório consolidado;	<ul style="list-style-type: none">• Ausência de sistema nacional unificado de MRV;• Falta de clareza regulatória e segurança jurídica, criando incertezas para investidores;• Fragmentação institucional entre políticas estaduais e federais;• Definição incerta dos setores econômicos a serem regulados;• Baixo engajamento social e limitada conscientização sobre o mercado de carbono;• Dependência de setores fósseis e incentivos tradicionais à energia não renovável;• Dependência de setores fósseis e incentivos tradicionais à energia não renovável;• Lentidão da agenda ambiental: 15 anos entre a PNMC (2009) e o SBCE (2024);• Capacidade institucional e técnica limitada para implementação de políticas climáticas

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 – Matriz SWOT mercado de carbono brasileiro

MATRIZ SWOT MERCADO DE CARBONO BRASILEIRO

OPORTUNIDADES

- Acordo de Paris e as NDCs fortalecem a demanda global por mecanismos de mercado;
- Mercado florestal latino-americano movimenta +US\$ 500 milhões/ano;
- Preços REDD+: entre US\$ 7 e US\$ 10/tCO₂, com potencial de crescimento;
- Mercado regulado brasileiro pode atrair R\$ 100 bilhões até 2030 e reduzir 500 MtCO₂;
- Crescimento do investimento em tecnologias verdes ;
- Demanda crescente por créditos com padrão ESG, atraindo capital privado;
- Liderança regional e reputação ambiental forte.

AMEAÇAS - THREATS

- Instabilidade política e econômica, afetando previsibilidade de políticas climáticas;
- Resistência de setores emissores à adoção de regulações e custos de carbono;
- Concorrência internacional: mercados mais maduros;
- Volatilidade global dos preços do carbono;
- Riscos de fraudes, greenwashing e vazamento de carbono;
- Descompasso entre urgência climática e capacidade regulatória;
- Perda de liderança regional caso o Brasil não consolide seu mercado;
- Vulnerabilidade a mudanças de governo e prioridades políticas.

Fonte: Elaborado pelo autor

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar o mercado de carbono no Brasil à luz da Lei nº 15.042/2024, destacando seus potenciais, desafios e implicações para a transição rumo a uma economia de baixo carbono. A investigação permitiu compreender como o país, devido à sua matriz energética predominantemente renovável e aos seus vastos recursos naturais, ocupa posição estratégica nos esforços globais de mitigação das mudanças climáticas.

A análise desenvolvida evidenciou que o Brasil possui forças internas relevantes, como a disponibilidade de florestas tropicais para projetos de REDD+ e a elevada participação de fontes renováveis em sua matriz energética. Também foram identificadas oportunidades externas, relacionadas ao crescente interesse de investidores internacionais em projetos de baixo carbono e ao potencial de receitas que podem ultrapassar US\$ 100 bilhões até 2030, caso o país consolide um mercado robusto e confiável. Por outro lado, o estudo revelou fragilidades importantes, como a inexistência de um sistema nacional unificado de MRV, a fragmentação regulatória e desafios de governança. Somam-se a essas fragilidades ameaças externas, como a volatilidade dos preços internacionais de carbono e a instabilidade política e econômica, que podem comprometer a previsibilidade das políticas climáticas.

A partir da comparação com experiências internacionais, identificaram-se lições valiosas. O Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS) demonstrou a importância de metas claras e de mecanismos de ajuste fronteira, necessários para preservar a competitividade industrial. Os Estados Unidos evidenciam como programas subnacionais, como o RGGI e o mercado da Califórnia, podem gerar receitas expressivas destinadas à inovação e à eficiência energética. A China, com o maior mercado de carbono do mundo, mostrou que a amplitude setorial e o alinhamento com objetivos industriais são fundamentais para alcançar escala. Já a Argentina ilustra como a introdução de tributos sobre o carbono pode ser o primeiro passo para estruturar mercados mais complexos.

Entretanto, apesar de o trabalho ter apontado que o mercado de carbono representa um instrumento relevante para o cumprimento das metas climáticas brasileiras, conclui-se que ainda não há estimativas consolidadas sobre o quanto o SBCE poderá contribuir efetivamente para o abatimento das NDCs. O Brasil assumiu o compromisso de reduzir 50% das emissões até 2030 e alcançar neutralidade até 2050, e estudos da EPE (2022) indicam que o país possui potencial de gerar até 1,5 GtCO₂/ano em créditos florestais. No entanto, parte desses créditos

pode ser direcionada ao mercado internacional, exigindo ajustes correspondentes conforme o Artigo 6 do Acordo de Paris. Desse modo, o impacto real do SBCE sobre o alcance das NDCs dependerá do escopo final do sistema, das regras de contabilização, da robustez do MRV e da compatibilidade entre créditos domésticos e compromissos internacionais.

Com base nessa análise, são apresentadas as seguintes recomendações para o Brasil:

1. Harmonização regulatória: unificar normas federais e estaduais, garantindo clareza, previsibilidade e segurança jurídica para investidores e empresas. Essa harmonização deve ser conduzida por uma instância nacional de coordenação, responsável por alinhar diretrizes, padronizar regras de operação e evitar sobreposições entre políticas locais. Uma regulação coesa aumentaria a atratividade do mercado e reduziria incertezas jurídicas que hoje desestimulam investimentos;
2. Fortalecimento do sistema de MRV: implementar metodologias padronizadas, integrando tecnologias como sensoriamento remoto, inteligência artificial e *blockchain* para garantir a rastreabilidade dos créditos. Essa modernização tecnológica é fundamental para evitar fraudes, reduzir custos de verificação e assegurar credibilidade internacional, condição indispensável para atrair investidores e parceiros externos;
3. Mecanismos financeiros inovadores: desenvolver fundos verdes nacionais, ampliar a participação de bancos públicos no financiamento de projetos e incentivar parcerias público-privadas para reduzir riscos. Esses instrumentos financeiros podem ser apoiados por políticas de *blended finance*, linhas de crédito com juros diferenciados e incentivos fiscais para projetos certificados, ampliando o fluxo de capital voltado à descarbonização;

4. Estabilidade institucional: assegurar compromisso político de longo prazo com a agenda climática, de modo a aumentar a confiança dos agentes de mercado. Isso requer transformar o tema climático em uma política de Estado, integrando o SBCE ao planejamento econômico nacional e aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil.;
5. Promoção da inovação: ampliar investimentos em tecnologias emergentes, como hidrogênio verde, biocombustíveis avançados e captura de carbono. A criação de incentivos à pesquisa e desenvolvimento, bem como de centros de inovação climática, permitiria acelerar a adoção de soluções sustentáveis e aumentar a competitividade do país em setores estratégicos da economia verde.;
6. Inclusão social e justiça climática: garantir que pequenos produtores, comunidades tradicionais e povos indígenas participem do mercado de carbono, recebendo apoio técnico e financeiro para desenvolver projetos. Essa dimensão amplia o alcance da política climática, transformando o mercado não apenas em um mecanismo econômico, mas também em uma ferramenta de desenvolvimento sustentável e equitativo. A adoção de programas de capacitação, pagamentos por serviços ambientais e modelos de governança participativa tornaria o mercado mais inclusivo e fortaleceria o caráter social da política climática, transformando-a em instrumento de desenvolvimento sustentável e equitativo;
7. Integração internacional: alinhar o SBCE às melhores práticas globais, ampliando a cooperação com países da América Latina e assegurando a inserção competitiva do Brasil nos mercados internacionais. Essa integração pode envolver harmonização de metodologias de certificação, participação em plataformas multilaterais e acordos regionais de compensação de carbono,

consolidando o papel do país como protagonista na governança climática global.

Em síntese, o Brasil reúne condições únicas para se consolidar como liderança global no mercado de carbono. Entretanto, o sucesso dessa trajetória dependerá da capacidade de superar fragilidades internas, mitigar riscos externos e implementar as recomendações aqui apresentadas. O fortalecimento do mercado de carbono vai além da redução de emissões: trata-se de uma estratégia nacional de desenvolvimento sustentável, capaz de integrar crescimento econômico, preservação ambiental e justiça social.

Embora este estudo tenha buscado oferecer uma análise abrangente sobre o mercado de carbono no Brasil à luz da Lei nº 15.042/2024, reconhece-se que ainda existem limitações e lacunas que abrem espaço para novas investigações. Recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem a avaliação do impacto do SBCE sobre as NDCs, bem como sua viabilidade institucional, econômica e tecnológica. Sugere-se também que pesquisas explorem a dimensão social do mercado de carbono, a participação de comunidades locais e as comparações entre o SBCE e mercados internacionais consolidados, identificando práticas que possam orientar o aprimoramento da governança climática brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAKAH, M.; et al. **Carbon markets and energy price volatility: empirical evidence.** *Journal of Cleaner Production*, v. 425, p. 138-156, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.138156>. Acesso em: 11 jun. 2025.

ALVES, R.; et al. **Instrumentos de precificação de carbono: desafios e oportunidades para países emergentes.** *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, v. 14, n. 2, p. 87-112, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rbpp>. Acesso em: 10 out. 2025.

ANDRADE, José Célio Silveira; COSTA, Paulo. **Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global.** *Organizações & Sociedade*, v. 15, p. 29-45, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaoes/article/view/10929>. Acesso em: 10 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS [ANP]. **Relatório RenovaBio 2023.** Brasília: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/biocombustiveis/renovabio>. Acesso em: 05 ago. 2025.

BLANTON, R.; et al. **Forest carbon credits in Latin America: market opportunities and governance challenges.** *Environmental Research Letters*, v. 19, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/journal/1748-9326>. Acesso em: 10 out. 2025.

BURKE, J.; GAMBHIR, A. **Carbon pricing and climate policy: global experiences.** *Energy Policy*, v. 168, p. 113-135, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113135>. Acesso em: 10 out. 2025

CAMPELLO, F.; et al. **Precificação de carbono e inovação tecnológica: perspectivas para o Brasil.** *Revista de Economia e Sustentabilidade*, v. 12, n. 3, p. 54-71, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/res>. Acesso em: 05 ago. 2025.

CHEN, W.; et al. **Climate policy and carbon markets: lessons for emerging economies.** *Energy Economics*, v. 104, p. 105-122, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105122>. Acesso em: 10 out. 2025

DI FEBBO, G.; NASSIOS, J.; GALLOU, S. *International carbon markets and energy systems. Climate Policy*, v. 21, n. 5, p. 634-650, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1878802>. Acesso em: 10 out. 2025.

DINO. **Mercado de crédito de carbono acelera no Brasil**. *Valor Econômico*, 14 abr. 2025. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/dino/noticia/2025/04/14/mercado-de-credito-de-carbono-acelera-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Estudos de Potencial de Créditos de Carbono no Brasil**. Brasília: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>. Acesso em: 10 out. 2025.

FERRAZ, B.B.; COOKE, L.B.S. **Tributação dos créditos de carbono**. *Revista de Ciências Jurídicas e Sociais da UNIPAR*, v. 27, n. 1, p. 217-232, 2024. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/juridica>. Acesso em: 10 out. 2025.

FOLLONI, A.P.; BORGHI, J.V. **O mercado de créditos de carbono e a possibilidade de fomento mediante incentivos fiscais**. *Revista da Faculdade de Direito da UFG*, v. 42, n. 1, p. 110-128, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revfd>. Acesso em: 10 out. 2025

FONSECA, A.Y.S. **Crédito de carbono na esfera dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/1234>. Acesso em: 10 out. 2025.

FUNDO VALE. *Waycarbon*. **Do campo ao carbono: uma cartilha para pequenos e médios produtores**. Belo Horizonte: Fundo Vale, 2024. Disponível em: <https://www.fundovale.org/download/cartilha-do-campo-ao-carbono/>. Acesso em: 27 abr. 2025. Disponível em: <https://www.fundovale.org/download/cartilha-do-campo-ao-carbono/>. Acesso em: 10 out. 2025

GOVERNORS' CLIMATE AND FORESTS TASK FORCE [GCF]. **REDD Early Movers Program (REM) Brazil**. Governors' Climate and Forests Task Force, 2023. Disponível em: <https://www.gcftf.org>. Acesso em: 12 out. 2025.

HUANG, Y.; et al. **Carbon pricing policies in emerging economies**. *Energy Reports*, v. 9, p. 192-207, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.192>. Acesso em: 10 out. 2025.

IDESAM. **Painel de Projetos de Carbono Florestal no Mercado Voluntário Brasileiro**. Manaus, 2025. Disponível em: <https://idesam.org/paineis-interativos/painel-projetos-carbono-florestal/>. Acesso em: 16 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA **Carbon markets and clean energy transition**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/carbon-markets-and-clean-energy-transition>. Acesso em: 05 ago. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. [IPCC] **Sixth Assessment Report (AR6) – Synthesis Report**. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6-syr/>. Acesso em: 05 ago. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. [IRENA] **Global renewable energy and carbon pricing**. Abu Dhabi: IRENA, 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/publications>. Acesso em: 10 out. 2025.

JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, R. **Carbon taxes, carbon trading and energy prices: a global review**. *Energy Studies Review*, v. 28, p. 87-105, 2019. Disponível em: <https://energystudiesreview.ca>. Acesso em: 11 jun. 2025.

LIN, B.; WU, Y. **Carbon markets, regulation and industrial policies**. *Journal of Environmental Management*, v. 312, p. 114-136, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114136>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MARTINS, F.R.; FERREIRA, L.C. **O mercado de carbono e os aterros sanitários no Brasil: uma análise do Projeto Bandeirantes**. *Revista de Administração Pública*, v. 45, n. 6, p. 1771-1796, 2011. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7024>. Acesso em: 10 out. 2025

MEGEPIN GE. **Global Greenhouse Gas Emissions by Sector (1970–2022)**. 2024. Disponível em: <https://www.megopin.org/data/global-ghg-emissions>. Acesso em: 14 out. 2025.

MENG, Q.; et al. *Climate change, carbon pricing and social impacts: evidence from developing countries*. *World Development*, v. 167, p. 105-120, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.105120>. Acesso em: 11 jun. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. [NOAA] Climate.gov. Understanding Climate: *Atmospheric Carbon Dioxide*. [S.l.]: Climate.gov, 2021. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em: 3 out. 2025

OLIVEIRA, G.; et al. **Carbon markets in Latin America: regulatory challenges and opportunities**. *Revista Brasileira de Políticas Climáticas*, v. 10, n. 2, p. 145-163, 2025. Disponível em: <https://rbpc.emnuvens.com.br/rbpc/article/view/150>. Acesso em: 11 jun t. 2025.

PALAZZI, J. **CBIOS: evolução e desafios no mercado brasileiro de créditos de descarbonização**. *Revista de Energia Renovável*, v. 19, n. 2, p. 112-129, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ren/article/view/11879>. Acesso em: 05 ago. 2025.

PULLINS, M. *Carbon pricing and governance in emerging markets*. *Energy Policy Review*, v. 46, p. 25-49, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpolrev.2022.46>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SCOVAZZI, T.; LIMA, L.C. **Do protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris**. *Revista da Faculdade de Direito da UFMG*, v. 78, p. 469-476, 2021. Disponível em: <https://revista.direito.ufmg.br/index.php/revista/article/view/2985>. Acesso em: 10 out. 2025.

SOBRINHO, A. **Políticas de precificação de carbono no Brasil: entre a tributação e os mercados**. *Revista de Economia e Política Internacional*, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12541>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SOUSA, F.H. **Regulamentação do mercado de créditos de carbono no Brasil: desafios e perspectivas**. 2025. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/123456789/5129>. Acesso em: 19 set. 2025.

TANG, X.; WU, J.; LIU, Y. *Carbon markets and ESG performance in emerging economies*. *Sustainability Journal*, v. 17, n. 5, p. 203-225, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su1705203>. Acesso em: 11 jun. 2025

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE [UNCC]. *Paris Agreement*. Bonn: UNFCCC, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 09 ago. 2025.

WANG, T.; et al. **Risk measurement and decision-making in carbon markets**. *Journal of Risk and Financial Management*, v. 16, n. 3, p. 45-61, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jrfm16030045>. Acesso em: 10 out. 2025.

WATT, J.; et al. *Transparency and monitoring in carbon markets: building credibility*. *Climate Policy*, v. 20, n. 4, p. 525-540, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1713435>. Acesso em: 10 out. 2025.