

O mercado de carbono - Do custo ao motor de crescimento

Debora Tamirys Mendes da Silva
Rayane Mireli Silva Gomes
14 de Novembro de 2025

Glossário.....	3
1. Introdução.....	5
1.1 O que são créditos de carbono?.....	5
1.2 Mercado de carbono.....	5
1.3 O setor energético (A Hegemonia do Uso da Terra e o Papel do Setor de Energia nas Emissões Brasileiras).....	6
2. Tratamento Inicial.....	8
2.1 Aquisição da base de dados.....	8
2.2 Tratamento da base de dados.....	8
3. Análises Exploratórias.....	10
Por biomas.....	11
Por estados.....	13
Emissões por Gás.....	14
Ranking de emissões por setores.....	15
Emissões x Remoções.....	16
Por Bioma.....	16
Por Estado.....	17
Precificação dos Créditos de Carbono.....	19
Insights.....	23
1. Concentração Setorial e Territorial das Emissões.....	23
2. Estabilidade das Remoções e Persistência do GAP Climático.....	23
3. Potencial Transformador do Setor de Energia.....	23
4. Relevância da Qualidade dos Créditos e da Governança Climática.....	24
5. Tendências Globais e Oportunidades Estratégicas.....	24
6. Alinhamento entre Ciência de Dados e Política Climática.....	25
Conclusão.....	26
Perspectivas Futuras.....	28
Referências.....	29

Glossário

Gases de Efeito Estufa (GEE)

CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de nitrogênio

Gases Fluorados

HFC-23	Trifluorometano
HFC-134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano
HFC-125	Pentafluoroetano
HFC-32	Difluorometano
CF ₄ ou (PFC-14)	Tetrafluoreto de carbono
HFC-143a	1,1,1-Trifluoroetano
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
HFC-365mfc	Pentafluorobutano
HFC-227ea	Heptafluoropropano
C ₂ F ₆	Hexafluoroetano
HFC-152a	1,1-Difluoroetano

Observações

GWP	Potencial de Aquecimento Global (GWP - <i>Global Warming Potential</i>) dos gases de efeito estufa
AR	(<i>Assessment Report</i>) indica a versão do relatório do IPCC usada como referência: AR2 (1995), AR4 (2007), AR5 (2014), AR6 (2021)

GTP	Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP - <i>Global Temperature Potential</i>)
CO2e	Medida métrica usada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa com base em seu potencial de aquecimento global (GWP), convertendo as quantidades de outros gases na quantidade equivalente de dióxido de carbono com o mesmo potencial de aquecimento global
(t)	Toneladas
GAP	Diferença entre o cenário atual e o objetivo futuro
Net Zero	Ponto de equilíbrio entre emissões de gases do efeito estufa e remoções dos mesmos

1. Introdução

1.1 O que são créditos de carbono?

Os créditos de carbono são tidos como um instrumento de alto poder econômico, que surgiu após diversas discussões sobre o clima, ganhando destaque após o Protocolo de Kyoto em 1997, no Japão. Este evento foi referente à Terceira Conferência das Partes (COP3) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, onde definiram-se metas de redução de emissões de gases do efeito estufa para os países desenvolvidos e os que, à época, apresentavam economia em transição para o capitalismo, considerados os responsáveis históricos pela mudança atual do clima.

Estes créditos podem ser utilizados para incentivar a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e são gerados por atividades que reduzem ou removem emissões de GEE, como o plantio de árvores, a eficiência energética e a captura e armazenamento de carbono. Para obter um crédito de carbono, é necessário que o equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono seja removida ou evitada de ser emitida na atmosfera. Por exemplo, projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas geram créditos de carbono por sequestro de carbono, já os projetos de energia renovável geram créditos por evitarem que os GEEs sejam emitidos.

Os créditos são adquiridos por empresas ou governos que buscam compensar suas emissões residuais após adotar medidas de redução direta. Eles são registrados em plataformas internacionais e podem ser negociados em mercados globais. Isso significa que eles não apenas compensam emissões, mas também representam uma forma de valor econômico capaz de atrair investidores e financiar projetos sustentáveis.

1.2 Mercado de carbono

Uma das estratégias para incentivar os emissores de gases a cumprir com os compromissos ambientais e agendas climáticas. Desta forma, existem dois tipos de mercado, o regulado e o voluntário.

Mercado regulado (Compliance Market): É um sistema criado pelos governos para controlar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa das empresas. Seu funcionamento é com base nos limites de emissões, que são definidos pelos países, então quem polui menos do que o permitido, gera créditos e estes podem ser comercializados para outra empresa que ultrapassou o limite estabelecido. Como resultado, empresas estão potencializando seus lucros vendendo créditos de carbono e as empresas que os compram,

pagam pelo que ultrapassaram até se estabelecerem dentro dos limites, mas encontrando uma forma de não ser penalizada.

Mercado voluntário (Voluntary Market): Diferente do mercado regulado, o mercado voluntário não é obrigatório por lei, mas empresas, ONGs e até consumidores compram créditos para neutralizar suas emissões sem obrigação legal. O objetivo é fazer essa compensação apoiando projetos de instituições ou pessoas físicas que atuam em projetos de reflorestamento, energia renovável e compensação ambiental. Aqui, o compromisso é com o meio ambiente e independe dos limites impostos e suas sanções.

1.3 O setor energético (A Hegemonia do Uso da Terra e o Papel do Setor de Energia nas Emissões Brasileiras)

O Brasil destaca-se no cenário internacional por sua matriz energética limpa, vastas áreas de floresta nativa, biodiversidade e capacidade de geração de créditos por atividades de uso do solo. Em 11 de dezembro de 2024, o Brasil sancionou a Lei nº 15.042, que se tornou um marco no compromisso do país com a agenda climática, visando estabelecer e regulamentar o comércio dos créditos de carbono de forma controlada e segura, proporcionando maiores possibilidades para o desenvolvimento sustentável e financeiro.

Em 2023, o setor de Energia contribui com 18,98% do total das emissões. Embora seja a terceira maior fonte, sua importância no contexto da agenda climática e econômica do país permanece fundamental.

Diferente do setor de Mudança de Uso da Terra (cuja principal emissão é o dióxido de carbono CO₂ liberado pelo desmatamento), o setor de Energia concentra as emissões de CO₂ oriundas da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural). Estas emissões estão intrinsecamente ligadas ao desenvolvimento industrial, à geração de eletricidade e, principalmente, ao transporte.

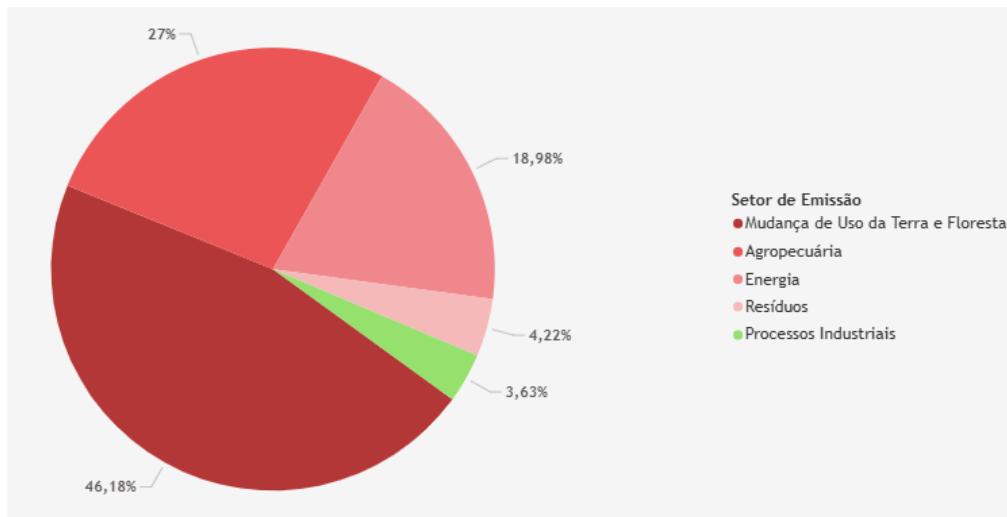
O Brasil é um ator global importante na transição energética devido à sua matriz elétrica predominantemente limpa (hidrelétrica, eólica, solar). No entanto, o desafio do setor de Energia está no:

- Transporte: O sub-setor rodoviário, que depende majoritariamente de combustíveis fósseis, é o principal responsável pelas emissões de energia. A solução passa pelo incentivo a biocombustíveis (etanol, biodiesel) e pela eletrificação da frota.
- Investimento em Renováveis: O país tem um enorme potencial a ser explorado em energia eólica e solar, o que é crucial para garantir a segurança energética e reduzir a dependência de termelétricas poluentes (carvão/gás).

Portanto, enquanto o combate ao desmatamento e a promoção de práticas sustentáveis na agropecuária são as ações de maior impacto para reduzir a quantidade de

GEEs no Brasil, a descarbonização do setor de Energia é a abordagem mais imediata e eficaz, focando em diminuir a quantidade de CO₂ liberada no ar em primeiro lugar visando alinhar o país às tendências globais de tecnologia e sustentabilidade, garantindo uma economia de baixo carbono e resiliência a longo prazo.

Emissão por setor



Fonte: autoria própria - Power BI

Não é o setor mais poluente e colaborativo com o efeito estufa, no Brasil, este título vai para as mudanças de uso da terra, causadas principalmente pelo desmatamento, sendo a região norte a mais afetada. O setor de energia brasileiro ainda é um dos grandes responsáveis pelas emissões dos GEEs, principalmente pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), sendo muito utilizado na geração de eletricidade nas usinas termoelétricas e nos diversos tipos de transporte, sendo o mais contribuinte, o transporte rodoviário.

Em contrapartida, tem um enorme potencial para reverter seus altos índices de emissões, investindo e alternando suas fontes de energia para fontes renováveis, como por exemplo as fontes eólica e solar, reduzindo o transporte rodoviário para outros tipos de transporte. Nos últimos anos, o país tem investido cada vez mais em energia limpa e na modernização das redes elétricas para tornar o sistema mais eficiente e sustentável. Além disso, há incentivos para a geração distribuída e o uso de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, que ajudam a diminuir a dependência de combustíveis fósseis. Tudo isso faz do Brasil um exemplo de como o setor energético pode colaborar de forma concreta com a transição para uma economia de baixo carbono.

2. Tratamento Inicial

2.1 Aquisição da base de dados

A base de dados foi adquirida no SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, o SEEG é a principal plataforma independente de monitoramento de emissões de gases de efeito estufa do Brasil e fornece dados anuais de emissões, remoções e bunkers por setores, por estados, por biomas e por municípios, tendo registros de 1970 até o ano de 2023.

O arquivo está disponível em um repositório no Google Drive, sendo possível obter a base de dados completa ou já filtrada por municípios, neste estudo, foi adquirida a base de dados completa. Foi feito o download do arquivo no formato planilha do Microsoft Excel (.xlsx), de tamanho correspondente a 165 MB. Esta base conta com 302.678 linhas e 65 colunas.

Para melhor desempenho o arquivo foi convertido para o formato CSV que é superior ao XLSX no Databricks devido a fatores de desempenho, escalabilidade e compatibilidade do Spark. Por ser um formato de texto simples, o CSV permite que o Spark o divida e paralelize a leitura entre os nós do cluster de forma eficiente, diferentemente dos arquivos XLS, que são binários e complexos, frequentemente criando gargalos de processamento em um único nó.

O Spark possui um leitor nativo e altamente otimizado para arquivos CSV, enquanto o XLS/XLSX exige a instalação de bibliotecas de terceiros, o que introduz dependências e lentidão.

2.2 Tratamento da base de dados

No Databricks, a base foi importada como arquivo .csv, primeiro no campo ‘new’ → ‘Add or update data’ → ‘Create or modify table’ → após selecionar o arquivo e sua prévia aparecer na tela, utilizou-se a opção ‘Create table’. Em um novo notebook, foi feita a importação da biblioteca functions que é um submódulo dentro de pyspark.sql que contém todas as funções internas (*built-in functions*) do Spark SQL. Estas funções são essenciais para a manipulação de dados, como cálculos, agregações e transformações.

Para realizar as análises, foi feita a alteração do formato largo para longo, unindo as colunas dos anos em uma coluna só, com seus respectivos valores, o que aumentou para 16.343.394 linhas e 13 colunas.

Na limpeza dos dados, foi feito o comando para remoção de duplicatas, mas não foram encontradas linhas em duplicidade. Em seguida, foi feita uma alteração de valores ‘0’ para null, pois comprehende-se que neste caso o ‘0’ corresponde a um registro de que não

houve emissão ou remoção, o que não é necessariamente verdadeiro. Nesta etapa, foram substituídas 9.092.872 células, um percentual de 4.28%.

A filtragem para o período de 2013 a 2023 foi realizada logo após estes tratamentos, sendo reduzido a um tamanho de 3.329.457 linhas e 13 colunas e um novo tamanho de 737 MB.

3. Análises Exploratórias

Foi criada tabela com Soma de Emissão e Remoção por Ano com filtro na coluna “Gás” e coluna “Emissão/Remoção/Bunker” dos anos 2013 a 2023. Os valores a seguir são apresentados em toneladas de dióxido de carbono equivalente, que corresponde a uma unidade de medida que converte diferentes gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre outros), em uma medida comum, permitindo análises de todos os gases como se fossem apenas CO₂.

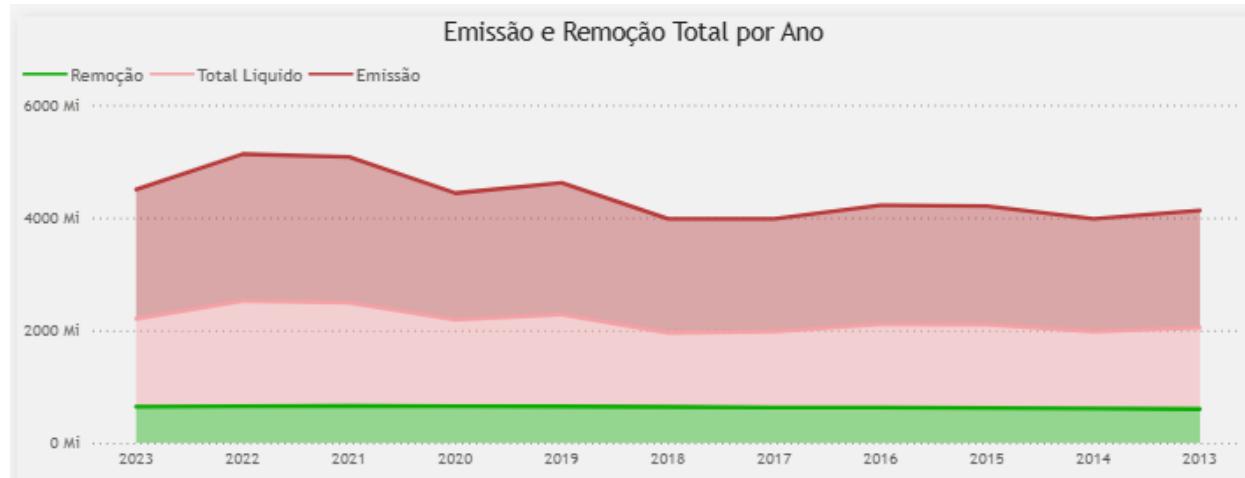
Apresentados na tabela seguinte, os anos com maior e menor volume de emissão de gases do efeito estufa, foi o ano de 2022 com 2.607,29 milhões de toneladas e o ano 2014 com 2.002,47 milhões de toneladas, respectivamente. Enquanto os anos com maior e menor valores de remoção de gases foram 2021 com 653,81 milhões de toneladas e 2013 com 599,59 milhões de toneladas, respectivamente. Esta remoção pode se dar através de processos naturais como a fotossíntese e absorção pelos oceanos, ou por processos artificiais que consistem em captura direta do ar, a bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS).

Ano	Emissão (t CO ₂ e)	Remoção (t CO ₂ e)
2023	2,3 bi	-642,25 mi
2022	2,61 bi	-651,05 mi
2021	2,59 bi	-653,82 mi
2020	2,25 bi	-650,11 mi
2019	2,34 bi	-644,49 mi
2018	2,03 bi	-638,69 mi
2017	2 bi	-628,25 mi
2016	2,11 bi	-623,69 mi
2015	2,11 bi	-616,65 mi
2014	2 bi	-608,09 mi
2013	2,08 bi	-599,59 mi

Fonte: autoria própria - Databricks

O gráfico abaixo mostra que as emissões de CO₂ permanecem muito acima das remoções entre 2013 e 2023. As emissões atingem o pico em 2021–2022 e depois caem levemente, mas continuam altas. As remoções são estáveis e baixas, indicando pouca

capacidade de compensar o que é emitido. O saldo líquido permanece sempre positivo, revelando que o país segue como forte emissor de carbono sem melhora estrutural significativa.



Fonte: autoria própria - Power BI

Foram extraídas medidas estatísticas completas, incluindo quartis e mediana (50%), apresentados na tabela a seguir.

Summary	Emissão	Remoção
count	11	11
mean	2.2198024660229993E9	-6.324244915384182E8
stddev	2.192528840823748E8	1.847137121218536E7
min	2.0024742496793988E9	-6.538160845624E8
25%	2.0269573046005995E9	-6.501133065334E8
50%	2.113517764779E9	-6.38693631256E8
75%	2.3407581540049987E9	-6.166527818507E8
max	2.6072945340740995E9	-5.995864754317E8

Fonte: autoria própria - Databricks

Por biomas

Os valores totais de emissões por biomas estão apresentados na tabela a seguir, em ordem decrescente, com destaque para o bioma Amazônia, que apresenta os maiores valores, acima de 10 bilhões de toneladas emitidas, justificado pelo constante aumento na mudança de uso da terra, que engloba atividades como queimadas e desmatamento,

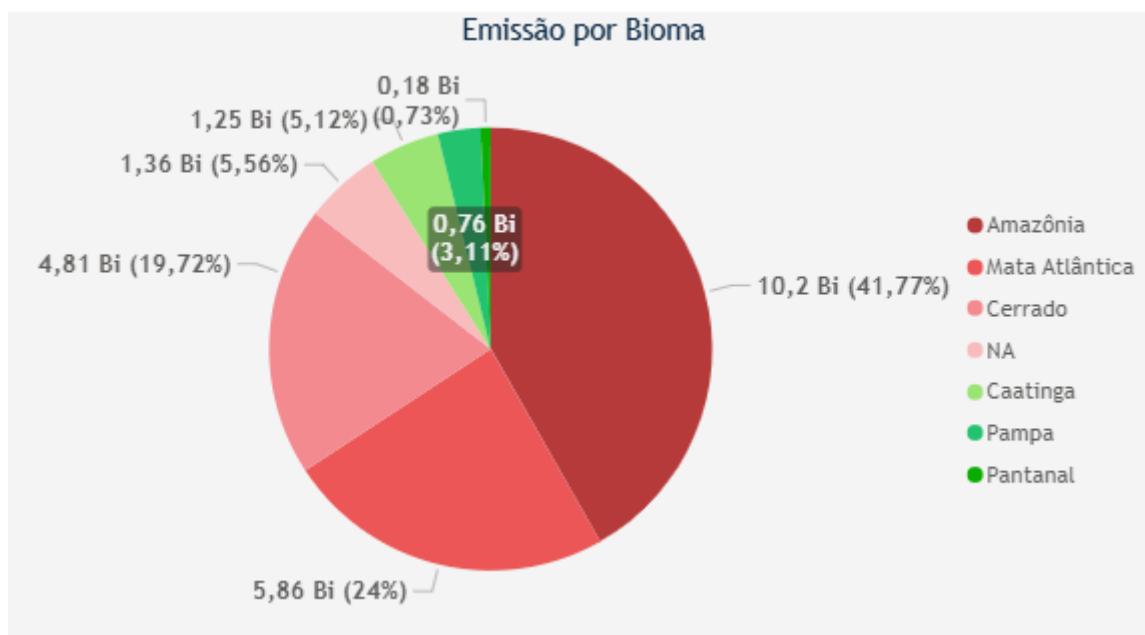
segundo a Agência Brasil. O bioma que apresenta os menores índices é o Pantanal, com valores acima de 177 milhões de toneladas emitidas.

No que se refere às remoções de gases da atmosfera, o Cerrado apresenta o maior de remoção, pouco mais de 694 milhões de toneladas, a Mata Atlântica aparece logo em seguida com mais de 469 milhões de toneladas, mas cabe um destaque para a Caatinga, que registrou mais de 456 milhões de toneladas removidas, mas que proporcionalmente é superior aos outros biomas, com taxa de proporção em 35,5%, superior aos Pampas que ficam logo em seguida com taxa de 19,2%.

Bioma	Total Emissão (t CO ₂)	Total Remoção (t CO ₂)
Amazônia	10,20 Bi	-5.170 Mi
Mata Atlântica	5,86 Bi	-469,16 Mi
Cerrado	4,81 Bi	-694 Mi
NA	1,36 Bi	0
Caatinga	1,25 Bi	-456,52 Mi
Pampa	760,15 Mi	-145,95 Mi
Pantanal	177,74 Mi	-24,41 Mi

Fonte: autoria própria - Databricks

Como mostra o gráfico, a Amazônia tem 41,7% das emissões, seguida pela Mata Atlântica (24%) e pelo Cerrado (19,72%), evidenciando forte concentração nos principais biomas florestais.



Fonte: autoria própria - Power BI

Por estados

Também foram aplicados filtros para o total de emissões de gases do efeito estufa no que se refere aos estados, na tabela seguinte, observam-se os valores somados de 2013 a 2023, para cada estado, em ordem crescente, sendo o Pará (mais de 3,9 bilhões de toneladas) o que acumula mais emissões (novamente justifica-se pelas alterações de uso da terra) e o Amapá acumula menos emissões, com mais de 53 milhões de toneladas de gases emitidas e junto ao Amazonas, os dois únicos estados que têm um índice maior de remoção do que emissão.

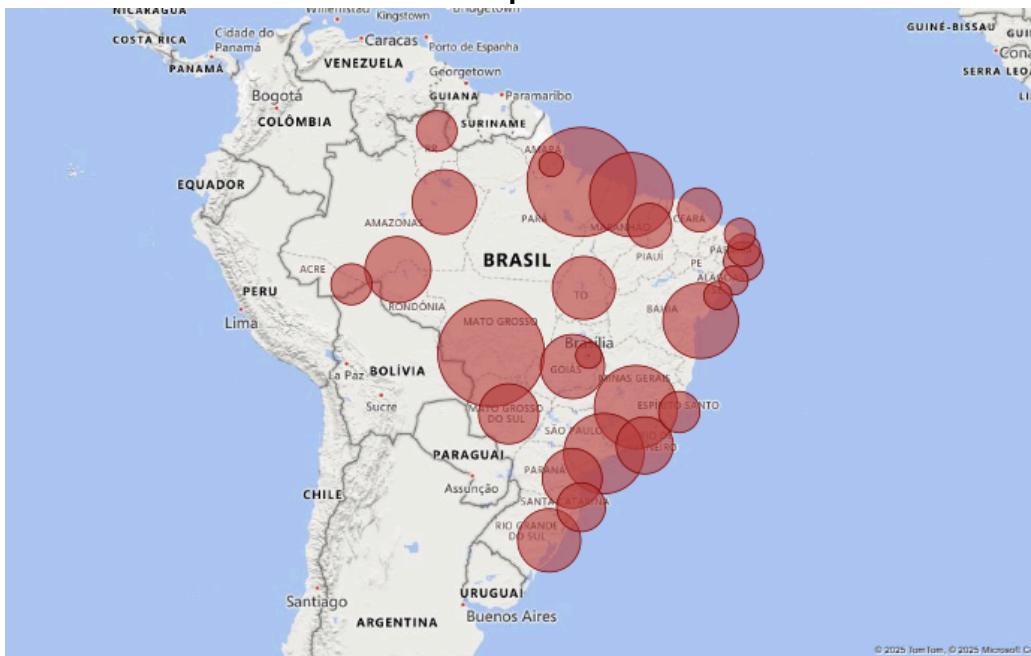
Estado	Emissão (t CO ₂)	Remoção (t CO ₂)
Pará	3.934 Mi	-1840 Mi
Mato Grosso	2.797 Mi	-585,73 Mi
Minas Gerais	1.814 Mi	-253,61 Mi
São Paulo	1.703 Mi	-79,81 Mi
Rondônia	1.348 Mi	-239,13 Mi
Maranhão	1.284 Mi	-313,58 Mi
Amazonas	1.182 Mi	-1750 Mi
Rio Grande do Sul	1.119 Mi	-177,42 Mi
Bahia	1.089 Mi	-288,69 Mi
Goiás	955 Mi	-108,34 Mi
Não Alocado	877 Mi	null
Paraná	843 Mi	-91,36 Mi
Mato Grosso do Sul	796 Mi	-81,13 Mi
Rio de Janeiro	793 Mi	-19,35 Mi
Tocantins	670 Mi	-165,7 Mi
Santa Catarina	531 Mi	-41,11 Mi
Acre	463 Mi	-153,71 Mi
Espírito Santo	357 Mi	-16,14 Mi
Ceará	350 Mi	-64,39 Mi
Roraima	318 Mi	-270,73 Mi
Piauí	309 Mi	-87,64 Mi
Pernambuco	271 Mi	-45,77 Mi
Paraíba	151 Mi	-32,99 Mi
Rio Grande do Norte	131 Mi	-30,62 Mi
Alagoas	98 Mi	-12,67 Mi
Sergipe	97 Mi	-8,99 Mi

Distrito Federal	85 Mi	-4,01 Mi
Amapá	53 Mi	-198,5 Mi

Fonte: autoria própria - Databricks

Em uma representação um pouco mais visual do mapa do Brasil, os valores de emissões por estado se apresentam conforme a imagem a seguir.

Emissão por estado



Fonte: autoria própria - Power BI

Emissões por Gás

O somatório de emissões filtradas de acordo com os gases e seus Potenciais de Aumento da Temperatura (GTP) e de Aquecimento Global (GWP), estão apresentados na tabela a seguir. Vale ressaltar que nas primeiras posições encontram o CO₂e, que é uma conversão de outros gases para uma quantidade equivalente de CO₂ de acordo com seu Potencial de Aquecimento Global (GWP).

Gás	Total de Emissões
CO2e (t) GWP-AR5	24,58 bi
CO2e (t) GWP-AR6	24,42 bi
CO2e (t) GWP-AR4	24,06 bi
CO2e (t) GWP-AR2	23,27 bi
CO2e (t) GTP-AR4	19,73 bi
CO2e (t) GTP-AR2	19,72 bi
CO2e (t) GTP-AR6	19,52 bi
CO2e (t) GTP-AR5	19,17 bi
CO2 (t)	16,72 bi

CH4 (t)	214,26 mi
CO (t)	78,5 mi
COVNM (t)	77,23 mi
NOx (t)	31,6 mi
N2O (t)	6,72 mi
HFC-134a (t)	53,1 mil
HFC-125 (t)	1,22 mil
HFC-32 (t)	1,05 mil
CF4 (t)	440,44
HFC-143a (t)	193,88
SF6 (t)	147,24
HFC-365mfc (t)	87,55
HFC-227ea (t)	65,53
C2F6 (t)	32,85
HFC-23 (t)	0,26
CF4 (PFC-14) (t)	0,04
HFC-152a (t)	null

Fonte: autoria própria - Databricks

Ranking de emissões por setores

Na tabela a seguir, estão apresentados os valores de emissões somadas dos anos 2013 a 2023, ranqueados do setor com mais emissões (Mudança de Uso da Terra e Floresta, com mais de 11 bilhões de toneladas emitidas, para o setor com menos emissões (Processos Industriais, com mais de 890 milhões de toneladas de gases emitidos na atmosfera).

Setor de emissão	Emissão (t CO ₂ e)	Remoção (t CO ₂ e)
Mudança de Uso da Terra e Floresta	11.413,16 Mi	-6.956,67 Mi
Agropecuária	6.195,40 Mi	Null
Energia	4.910,88 Mi	Null
Resíduos	1.007,76 Mi	Null
Processos Industriais	890,63 Mi	Null

Fonte: autoria própria - Databricks

Também foram elaborados gráficos para cada ano, dos setores responsáveis pelas emissões, na imagem a seguir, está o gráfico do ano de 2023.



Fonte: autoria própria - Power BI

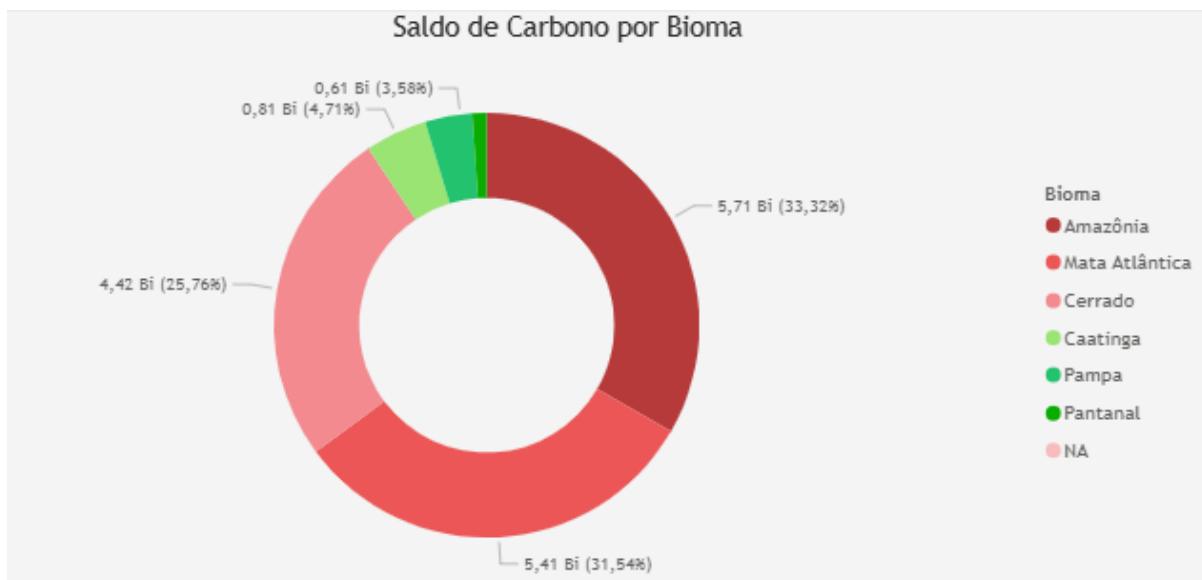
Emissões x Remoções

Após algumas análises, foram criadas duas tabelas com o balanço da quantidade de toneladas emitidas subtraídas as quantidades removidas, e elas estão apresentadas a seguir, primeiro por biomas, sendo o bioma Amazônia o que apresenta o maior GAP para o Net Zero, ou seja, os índices de emissões estão muito superiores aos de remoções, em 2023 por exemplo, o saldo de emissões ainda foi superior a 907 milhões de toneladas.

Por Bioma

Bioma	Saldo Carbono (t CO ₂ e)
Amazônia	5.713,80 Mi
Mata Atlântica	5.407,92 Mi
Cerrado	4.418,15 Mi
Caatinga	808,38 Mi
Pampa	614,56 Mi
Pantanal	185,82 Mi
NA	-259,20 Mi

Fonte: autoria própria - Databricks



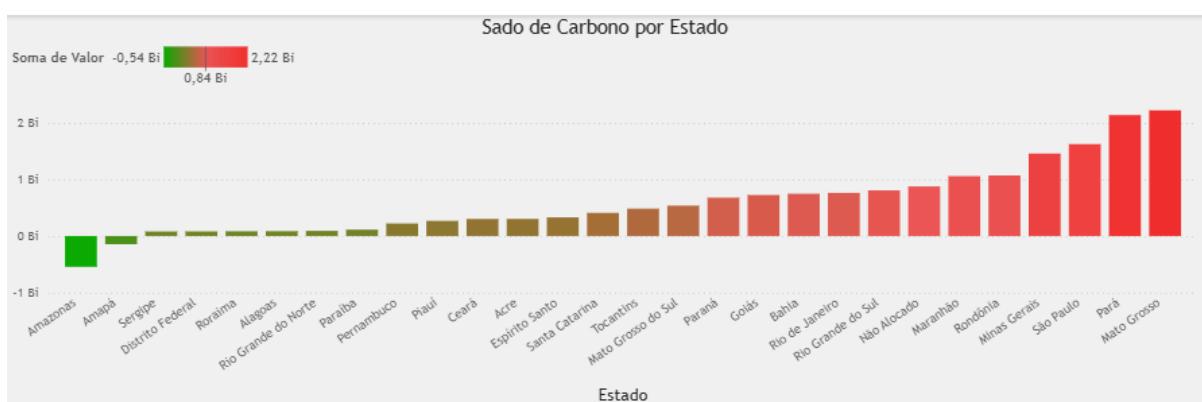
Fonte: autoria própria - Power BI

Por Estado

Quanto aos estados, o saldo de carbono por estado, os dados evidenciam quais regiões registram maior desequilíbrio entre emissões e remoções. Mato Grosso lidera o ranking com o maior saldo positivo (2.224,03 Mi), seguido por Pará e São Paulo, ambos acima de 1.600 Mi. Esses estados se destacam pela combinação de grandes áreas produtivas, pressão sobre o uso do solo e elevada atividade econômica.

Os estados com menor população ou extensão territorial apresentam saldos menores, como Sergipe, Distrito Federal, Alagoas e Roraima. No entanto, mesmo estes mantêm valores positivos, indicando que as emissões superam as remoções em praticamente todo o país.

Os únicos saldos negativos aparecem no Amazonas (-544,86 Mi) e Amapá (-143,77 Mi). Esses resultados refletem a maior capacidade de remoção de carbono associada às suas extensas áreas de floresta preservada, que superam as emissões locais.



Fonte: autoria própria - Power BI

Estado	Saldo Carbono (t CO₂e)
Mato Grosso	2.224,03 Mi
Pará	2.139,59 Mi
São Paulo	1.626,60 Mi
Minas Gerais	1.459,09 Mi
Rondônia	1.071,92 Mi
Maranhão	1.059,33 Mi
Não Alocado	877,45 Mi
Rio Grande do Sul	808,37 Mi
Rio de Janeiro	763,73 Mi
Bahia	748,15 Mi
Goiás	726,35 Mi
Paraná	679,69 Mi
Mato Grosso do Sul	537,95 Mi
Tocantins	484,79 Mi
Santa Catarina	410,65 Mi
Espírito Santo	330,36 Mi
Acre	302,51 Mi
Ceará	301,76 Mi
Piauí	268,81 Mi
Pernambuco	222,62 Mi
Paraíba	113,10 Mi
Rio Grande do Norte	90,36 Mi
Alagoas	85,62 Mi
Roraima	83,67 Mi
Distrito Federal	81,24 Mi
Sergipe	80,30 Mi
Amapá	-143,77 Mi
Amazonas	-544,86 Mi

Fonte: autoria própria - Databricks

Precificação dos Créditos de Carbono

Para esta análise, foram utilizados no Power BI dados provenientes do Banco Mundial, obtidos por meio do *Carbon Pricing Dashboard*, que reúne informações globais sobre os instrumentos de precificação em operação.

O valor do crédito de carbono não é fixo e pode variar amplamente conforme diferentes fatores que influenciam sua oferta e demanda. Elementos como o mercado em que o crédito é negociado, o tipo de projeto que o gerou, sua qualidade técnica e ambiental, além da região onde foi desenvolvido, exercem impacto direto no preço final. Essa variação reflete não apenas características operacionais e metodológicas, mas também percepções de risco, confiabilidade e benefícios socioambientais associados a cada crédito.

1. Mercado

Existem dois principais mercados: o regulado (com regras impostas por governos) e o voluntário (onde empresas compram créditos espontaneamente). O mercado regulado costuma ter preços mais altos e estáveis, enquanto o voluntário apresenta maior variação, dependendo da demanda e de tendências globais.

2. Tipo de projeto

Créditos gerados por projetos florestais, energia renovável, manejo de resíduos, agricultura regenerativa e outros têm valores diferentes. Projetos que capturam carbono (removem da atmosfera) geralmente valem mais do que os que apenas evitam emissões.

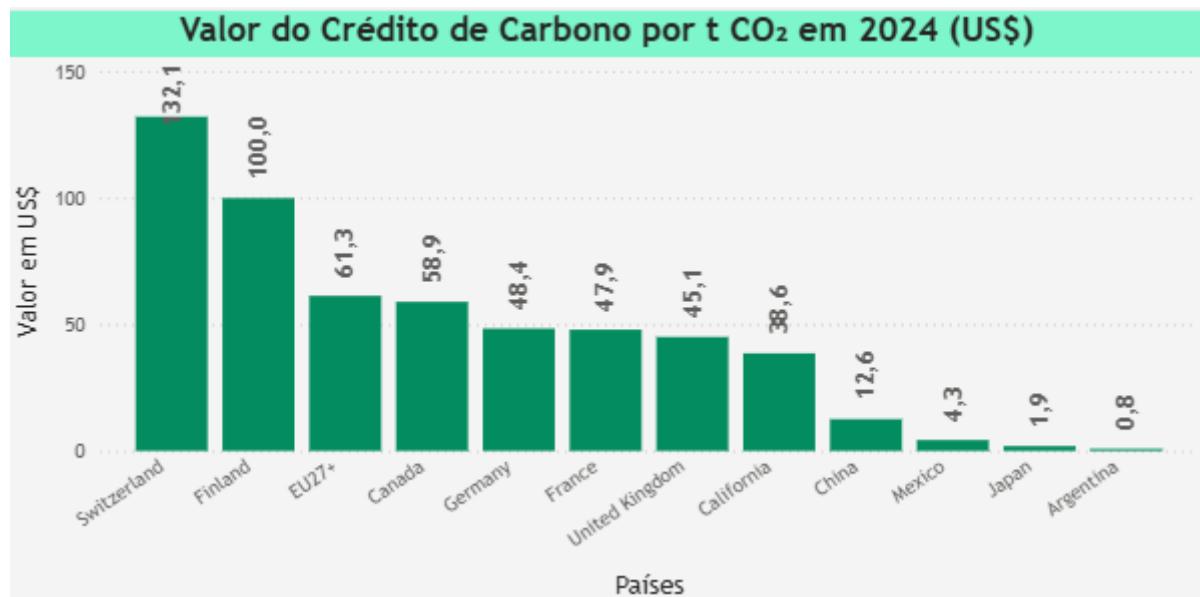
3. Qualidade do crédito

A qualidade é definida por fatores como:

- **Adicionalidade** (se o projeto só existe graças ao crédito)
- **Mensuração confiável**
- **Risco de reversão** (como incêndios florestais, no caso de projetos naturais)
- **Co-benefícios sociais e ambientais**
- **Créditos com certificações rigorosas** (ex.: Verra, Gold Standard) e alto impacto costumam ser mais caros.

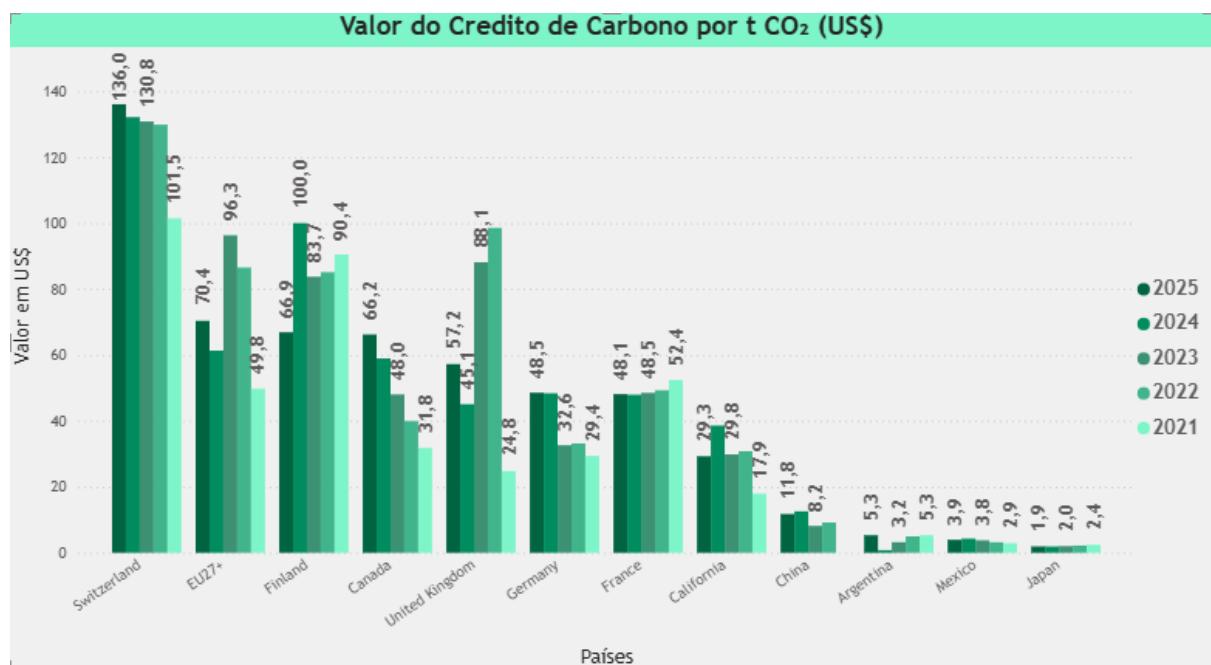
4. Região

A localização influencia custos operacionais, disponibilidade de projetos e percepção de risco. Regiões com maior biodiversidade ou impacto social positivo podem gerar créditos mais valorizados, mas áreas com instabilidade política ou risco ambiental podem ter créditos mais baratos.



Fonte: autoria própria - Power BI

A figura acima ilustra como a precificação de carbono tem se consolidado internacionalmente como um mecanismo econômico eficaz para redução de emissões, geração de receita pública e estímulo à transição energética.



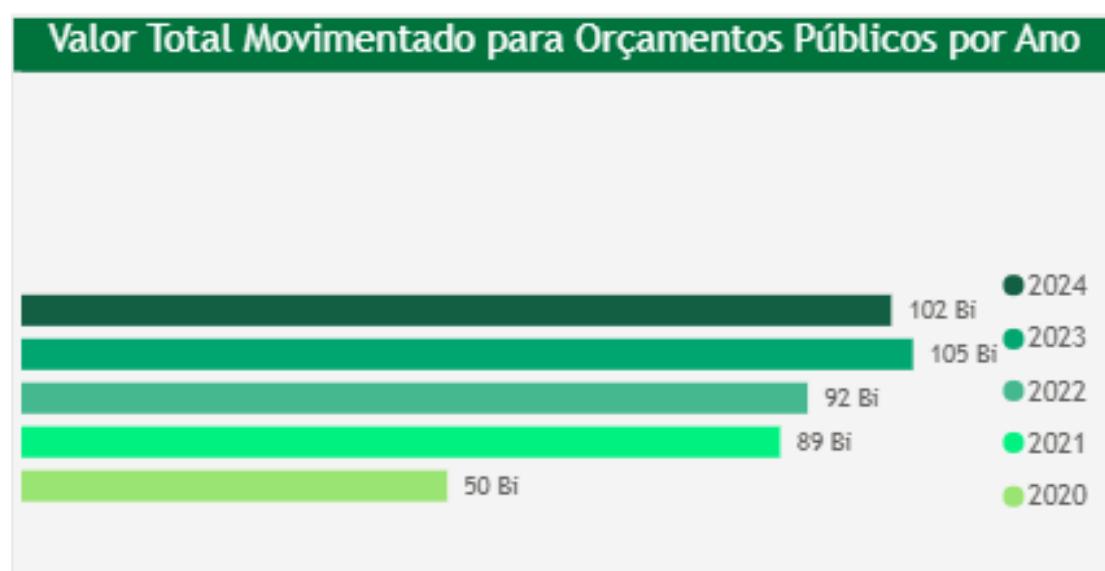
Fonte: autoria própria - Power BI

O Gráfico acima destaca países que já implementaram sistemas formais de precificação, seja por mercados de carbono regulados (ETS) ou por impostos sobre carbono. Entre eles, observam-se economias como:

- **Switzerland** - A Suíça é destaque global no mercado de créditos de carbono, atuando tanto no mercado regulado quanto no mercado voluntário. O país firma acordos bilaterais para adquirir créditos de alta integridade.

- **União Europeia (EU ETS)** – atualmente o maior e mais consolidado mercado regulado do mundo, envolvendo 27 países e setores de alta intensidade de emissões.
- **China** – que opera o maior mercado de carbono em volume de emissões cobertas, inicialmente focado no setor de energia.
- **Reino Unido, Canadá e Califórnia (US)** – países que utilizam modelos híbridos, combinando impostos sobre carbono e sistemas de comércio de emissões.
- **Japão** – que estruturam mercados regulados para alinhar suas metas climáticas nacionais.
- **Argentina e México** – exemplos de países latino-americanos que estabeleceram preços explícitos ao carbono para incentivar a descarbonização e atrair investimentos verdes

O mercado de carbono vem ganhando força e movimentando valores cada vez maiores ao longo dos anos. Como mostrado na figura abaixo, os montantes destinados a orçamentos públicos cresceram de forma expressiva, indicando maior participação governamental, expansão das transações e fortalecimento das políticas climáticas. Esse avanço reflete o papel crescente dos créditos de carbono como instrumento econômico relevante na agenda de descarbonização.



Fonte: autoria própria - Power BI

O conjunto de gráficos evidencia que a precificação de carbono deixou de ser uma iniciativa restrita a países desenvolvidos e passou a integrar a estratégia climática de economias emergentes.

A utilização desses dados no relatório tem como objetivo contextualizar o posicionamento do Brasil no cenário global. Os dados mostram que, enquanto diversas economias já operam mecanismos consolidados, o Brasil avança na regulamentação do seu próprio sistema — o SBCE — e possui potencial para integrar o grupo de países que utilizam a precificação de carbono como instrumento de competitividade e desenvolvimento sustentável.

Insights

A consolidação das análises exploratórias realizadas entre 2013 e 2023 permite identificar padrões estruturais que explicam não apenas o comportamento histórico das emissões e remoções no Brasil, mas também o posicionamento do país frente às dinâmicas globais de descarbonização e ao avanço da precificação de carbono. A seguir, apresentam-se os principais insights técnicos obtidos a partir da integração dos dados do SEEG, das estatísticas setoriais e do contexto regulatório nacional e internacional.

1. Concentração Setorial e Territorial das Emissões

Os resultados apontam que a Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUT) permanece como o principal vetor das emissões brasileiras, representando a maior parcela do inventário nacional. A forte dependência desse setor evidencia que o desafio climático do país está intimamente ligado à capacidade de controlar o desmatamento, fortalecer a fiscalização e promover modelos de uso da terra regenerativos.

A concentração territorial é igualmente marcante: Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica acumulam os maiores saldos positivos de carbono, refletindo tanto pressões antrópicas quanto maiores áreas suscetíveis a mudanças no uso do solo. O Pará e o Mato Grosso lideram o ranking estadual, reforçando a necessidade de estratégias regionais específicas que integrem crescimento econômico, conservação florestal e incentivo às cadeias produtivas sustentáveis.

2. Estabilidade das Remoções e Persistência do GAP Climático

Os dados mostram que as remoções se mantêm em patamar estável ao longo do período, enquanto as emissões sofrem variações influenciadas principalmente por ciclos econômicos e flutuações do desmatamento. Essa assimetria estrutural gera um GAP anual significativo entre emissões e remoções, que permanece distante do equilíbrio exigido pelo objetivo nacional de Net Zero.

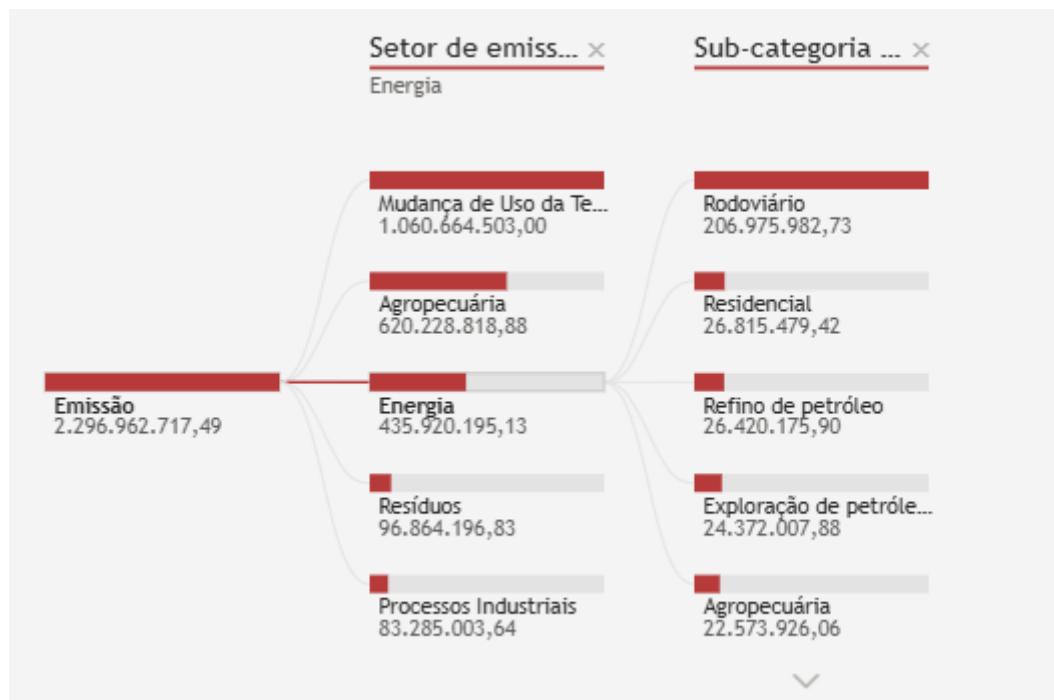
A evidência técnica é clara: para reduzir o saldo positivo de carbono, o país depende simultaneamente de estratégias de mitigação (redução de emissões primárias) e estratégias de compensação (aumento da captura por meio de restauração, tecnologias de CDR - Carbon Dioxide Removal e manejo de carbono).

3. Potencial Transformador do Setor de Energia

Apesar de representar menos emissões que os setores de uso da terra e agropecuária, o setor de Energia apresenta destaque estratégico. Sua matriz majoritariamente renovável oferece ao país um diferencial competitivo global. Entretanto, o

subsetor de transporte rodoviário segue como o maior emissor energético, impulsionado pelo consumo de combustíveis fósseis.

As análises evidenciam que medidas como eletrificação da frota, ampliação dos biocombustíveis e investimentos em energia solar e eólica têm o maior potencial de impacto rápido e mensurável, sendo essenciais para a redução do saldo líquido de emissões.



Fonte: autoria própria - Power BI

4. Relevância da Qualidade dos Créditos e da Governança Climática

A avaliação integrada dos dados com o panorama do mercado de carbono evidencia que o Brasil possui vantagens competitivas para gerar créditos de alto valor agregado, especialmente em projetos de florestas nativas, restauração ecológica e agricultura de baixo carbono.

Contudo, esses projetos só capturam valor máximo quando associados a métricas robustas, certificações reconhecidas, adicionalidade comprovada e monitoramento contínuo — aspectos que têm ganhado relevância em mercados internacionais como União Européia, Suíça e Reino Unido. A implementação do SBCE, portanto, é um divisor de águas, pois cria padrões nacionais de governança, reduz incertezas e posiciona o país para atrair capital de impacto.

5. Tendências Globais e Oportunidades Estratégicas

A análise cruzada com dados de precipitação aponta que os mecanismos de carbono estão se consolidando como instrumentos econômicos centrais para economias desenvolvidas e emergentes. Observa-se que países que avançaram na regulação climática também ampliaram investimentos em inovação, infraestrutura verde e tecnologias de captura e armazenamento.

Nesse contexto, o Brasil encontra-se em posição estratégica: dispõe de biomas de alta integridade ecológica, capacidade natural de remoção de carbono e um setor energético renovável. A integração desses fatores coloca o país entre os mais bem posicionados para liderar a transição para uma economia de baixo carbono na América Latina e se tornar um fornecedor global de créditos de alta integridade.

6. Alinhamento entre Ciência de Dados e Política Climática

O uso de metodologias analíticas em larga escala — como a conversão de bases, padronização dos dados, tratamento de inconsistências e análises estatísticas — evidencia o valor dos dados abertos para orientar decisões de política pública e estratégias corporativas.

A partir das análises realizadas, torna-se evidente que melhores dados geram melhores políticas, permitindo identificar gargalos estruturais, oportunidades de mitigação, e regiões prioritárias para investimento e fiscalização.

Conclusão

A análise integrada dos dados de emissões e remoções de gases de efeito estufa no Brasil, consolidada ao longo das seções anteriores e aprofundada na seção Insights — Análise Integrada dos Dados e Tendências Estruturais, evidencia que o país se encontra em um ponto crítico, mas também estratégico, na agenda de descarbonização. O conjunto dos resultados revela um panorama consistente: embora o Brasil possua vantagens estruturais — como uma matriz energética majoritariamente renovável, vastos biomas florestais e elevada capacidade potencial de remoção de carbono — essas vantagens ainda não se convertem plenamente em reduções efetivas do saldo líquido de emissões.

Os dados mostram que o setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas permanece como o principal responsável pelas emissões nacionais, impulsionado pelo avanço do desmatamento, especialmente na Amazônia e no Cerrado. Essa concentração territorial e setorial demonstra que a mitigação das emissões brasileiras depende, de forma decisiva, da gestão do uso da terra, do combate ao desmatamento e da implementação de modelos produtivos sustentáveis. Enquanto isso, as remoções mantêm um comportamento estável, insuficiente para compensar o aumento das emissões, resultando em um GAP climático persistente em todas as regiões do país.

O setor de Energia, apesar de emitir menos que os setores agropecuário e florestal, mostra-se fundamental para o avanço da transição climática. Sua matriz limpa, combinada ao potencial de expansão da energia solar, eólica e aos biocombustíveis, posiciona o país como referência global no uso de energias renováveis. Entretanto, o transporte rodoviário ainda atua como um obstáculo à redução rápida das emissões, evidenciando a necessidade de políticas mais direcionadas à eletrificação da frota, à eficiência logística e à substituição de combustíveis fósseis.

Do ponto de vista econômico e regulatório, as análises e os insights reforçam que o mercado de carbono deve ser encarado não como uma consequência das emissões, mas como um instrumento estratégico para converter desafios ambientais em oportunidades de crescimento verde. A implementação da Lei nº 15.042/2024 e a criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) são passos fundamentais para o alinhamento do país às tendências globais, aumentando a confiabilidade regulatória e criando condições para atrair investimentos privados, desenvolver projetos de alta integridade e fomentar tecnologia climática.

Nesse contexto, o Brasil apresenta potencial significativo para gerar créditos de carbono valorizados internacionalmente, principalmente por meio de projetos florestais, restauração ecológica, agricultura regenerativa e tecnologias emergentes de Remoção de

Carbono (CDR). A análise integrada ressalta que a qualidade técnica desses créditos — incluindo adicionalidade, mensuração confiável, baixo risco de reversão e co-benefícios ambientais e sociais — será determinante para elevar a competitividade do país no cenário global.

Por fim, os resultados demonstram que a consolidação de um mercado regulado de carbono e a adoção de políticas climáticas eficientes dependem diretamente da qualidade dos dados, da capacidade analítica e da integração entre ciência, tecnologia e tomada de decisão. A transição para uma economia de baixo carbono não será apenas um requisito ambiental, mas um vetor de inovação, produtividade e desenvolvimento econômico.

O Brasil, portanto, encontra-se diante de uma oportunidade histórica: transformar um passivo ambiental acumulado em um ativo estratégico de competitividade global. Com governança robusta, incentivos adequados e monitoramento contínuo, o país pode simultaneamente reduzir emissões, fortalecer sua economia e consolidar-se como liderança mundial em soluções climáticas — mostrando que desenvolvimento e sustentabilidade não são caminhos opostos, mas trilhas convergentes rumo a um futuro mais resiliente, próspero e equilibrado.

Perspectivas Futuras

- Usar Airflow para automatizar ingestão, limpeza, transformação e atualização da base e aplicar machine learning para previsões de emissões e remoções.
- Migrar para os dados Data Lakehouse, usando formatos mais robustos (Parquet ou Delta).
- Clusterização de estados ou biomas por padrão de emissões usando modelos estatísticos como(K-Means e Gaussian Mixture Models.) obtendo quais estados têm perfis semelhantes de emissão/remoção.
- Conectar Power BI Lakehouse e deixar os dashboards atualizados automaticamente.
- Criar templates reutilizáveis para novas análises

Referências

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *The Kyoto Protocol*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol>. Acesso em: 31 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Protocolo de Quioto*. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>. Acesso em: 31 out. 2025.

FDC – Fundação Dom Cabral. *Crédito de carbono para Imagine Brasil*. Nova Lima: FDC, [s.d.]. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/Documents/imagine-brasil/Credito%20Carbono%20para%20Imagine.pdf>. Acesso em: 31 out. 2025.

CARBON FREE BRASIL. *Créditos de carbono: o que são e como surgiram*. Carbon Free Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://carbonfreebrasil.com/blog/creditos-de-carbono-o-que-sao-e-como-surgiram/>. Acesso em: 31 out. 2025.

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. *O que é e como funciona o mercado de carbono*. Brasília: IPAM, [s.d.]. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>. Acesso em: 31 out. 2025.

DI BIANCO, Guilherme. *O mercado de crédito de carbono: Panorama global e perspectivas no Brasil com base na Lei n.º 15.042/2024*. Canaoeste, 13 ago. 2025. Disponível em: <https://canaoeste.com.br/artigos/o-mercado-de-credito-de-carbono-panorama-global-e-perspectivas-no-brasil-com-base-na-lei-n-15-042-2024/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Fazenda. *Sancionada a lei que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil*. Publicado em 12 dez. 2024, atualizado em 13 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2024/dezembro/Sancionada-a-lei-que-estabelece-as-bases-para-um-mercado-regulado-de-carbono-no-Brasil>. Acesso em: 01 nov. 2025].

EQUIPE Carbon Free. *Créditos de carbono: o que são, como funcionam e por que são decisivos na descarbonização*. Carbon Free Brasil, 1 dez. 2023. Disponível em: <https://carbonfreebrasil.com/blog/creditos-de-carbono-o-que-sao-e-como-surgiram/>. Acesso em: 01 nov. 2025.