v7.n7.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (CO_2e) NO BRASIL E O ACORDO DE PARIS: IMPACTOS DA AGROPECUÁRIA E DA DÍVIDA DE CARBONO NOS SOLOS

GREENHOUSE GAS EMISSIONS (CO_2e) IN BRAZIL AND THE PARIS AGREEMENT: IMPACTS OF AGRICULTURE AND SOIL CARBON DEBT

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (CO_2e) EN BRASIL Y EL ACUERDO DE PARÍS: IMPACTOS DE LA AGROPECUARIA Y DE LA DEUDA DE CARBONO DE LOS SUELOS

Sonéria da Silva Oliveira[1], Victor Gabriel Moraes Arrais[1], Maria Tainá Silva Pinheiro[1], Thágila Vitória Silva Pinheiro[1], Geislane Lima Rodrigues[1], Carlos Eduardo Machado da Rocha[1], Raylane Rocha da Mata[2], Rainara Ribeiro Oliveira[3], Lyzette Gonçalves Moraes de Moura[4], Ionara Nayana Gomes Passos[5]

e778513
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8513

PUBLICADO: 07/2026

RESUMO

As mudanças climáticas constituem um importante desafio ambiental associado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas. Este estudo teve como objetivo analisar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, expressas em dióxido de carbono equivalente (CO_2e), no contexto do Acordo de Paris, com ênfase nos impactos da agropecuária e da dívida de carbono nos solos. A pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica e documental, com abordagem qualitativa e quantitativa, fundamentada em artigos científicos, relatórios técnicos e dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), referentes ao período de 2015 a 2024. Os resultados evidenciaram que as emissões brasileiras permanecem fortemente associadas às mudanças no uso da terra e às atividades agropecuárias. Os estados do Pará e Mato Grosso mantiveram-se entre os maiores emissores ao longo do período analisado, enquanto o setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta apresentou os maiores volumes de emissões em diferentes regiões do país. Verificou-se ainda que a conversão de áreas naturais e práticas inadequadas de manejo contribuem para a redução dos estoques de carbono nos solos. Conclui-se que o alcance das metas climáticas brasileiras depende do fortalecimento de políticas voltadas ao controle do desmatamento, à conservação do carbono no solo e à adoção de práticas sustentáveis na agropecuária.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas. Agropecuária. Carbono do solo. Acordo de Paris.

ABSTRACT

Climate change is a major environmental challenge linked to rising greenhouse gas emissions resulting from human activities.

[1] Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Grajaú, Maranhão, Brasil. Graduanda em Licenciatura em Ciências Naturais Química, Universidade Federal do Maranhão.
[2] Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil. Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Maranhão, com atuação em agroquímicos e química de produtos naturais de plantas.
[3] Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil. Mestra em Ciências e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Maranhão, com atuação em pesquisas na área de fitotoxicidade vegetal.
[4] Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Grajaú, Maranhão, Brasil. Doutora em Ciências (Química/Físico-Química) pela Universidade Estadual de Campinas e professora substituta da Universidade Federal do Maranhão.
[5] Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Grajaú, Maranhão, Brasil. Doutora em Biotecnologia em Recursos Naturais (RENORBIO) e professora pesquisadora da Universidade Federal do Maranhão com atuação na área de Biotecnologia e Recursos Naturais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

The objective of this study was to analyze greenhouse gas emissions in Brazil, expressed in carbon dioxide equivalent (CO_2e), within the context of the Paris Agreement, with an emphasis on the impacts of agriculture and carbon debt in soils. The research is characterized as a literature and documentary review, employing both qualitative and quantitative approaches, based on scientific articles, technical reports, and data from the System for Estimating Greenhouse Gas Emissions and Removals (SEEG), covering the period from 2015 to 2024. The results showed that Brazilian emissions remain strongly linked to land-use changes and agricultural activities. The states of Pará and Mato Grosso remained among the largest emitters throughout the analyzed period, while the Land-Use Change and Forestry sector accounted for the highest emission volumes in different regions of the country. It was also found that the conversion of natural areas and inadequate management practices contribute to the reduction of soil carbon stocks. It is concluded that achieving Brazil's climate goals depends on strengthening policies aimed at controlling deforestation, conserving soil carbon, and adopting sustainable practices in agriculture and livestock.

KEYWORDS: *Climate change. Agriculture. Soil carbon. Paris Agreement.*

RESUMEN
El cambio climático constituye un importante reto medioambiental asociado al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las actividades humanas. El objetivo de este estudio fue analizar las emisiones de gases de efecto invernadero en Brasil, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO_2e), en el contexto del Acuerdo de París, haciendo hincapié en los impactos de la agricultura y la ganadería y en la deuda de carbono en los suelos. La investigación se caracteriza por ser una revisión bibliográfica y documental, basada en artículos científicos, informes técnicos y datos del Sistema de Estimaciones de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero, correspondientes al periodo comprendido entre 2015 y 2024. Los resultados pusieron de manifiesto que las emisiones brasileñas siguen estando estrechamente relacionadas con los cambios en el uso del suelo y las actividades agrícolas y ganaderas. Los estados de Pará y Mato Grosso se mantuvieron entre los mayores emisores a lo largo del período analizado, mientras que el sector de «Cambio en el uso del suelo y los bosques» presentó los mayores volúmenes de emisiones en diferentes regiones. Se constató que la conversión de áreas naturales y las prácticas de gestión inadecuadas contribuyen a la reducción de las reservas de carbono en los suelos. Se concluye que el cumplimiento de los objetivos climáticos brasileños depende del refuerzo de las políticas orientadas al control de la deforestación, la conservación del carbono en el suelo y la adopción de prácticas sostenibles en la agricultura y la ganadería.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático. Agricultura. Carbono del suelo. Acuerdo de París.

1. INTRODUÇÃO

Desde o período pré-industrial, especialmente a partir de 1750, o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera tem contribuído significativamente para o aquecimento global, provocando alterações climáticas expressivas, como o derretimento das geleiras, a elevação do nível dos oceanos e mudanças nos regimes de precipitação (IPCC, 1996). Nesse contexto, as mudanças climáticas configuram-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), a influência humana sobre o sistema climático é inequívoca, sendo o aumento das emissões de gases de efeito estufa, especialmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), um dos principais fatores responsáveis pelo aquecimento global. O relatório também aponta que as concentrações atmosféricas de CO_2 atingiram, em 2019, os níveis mais elevados em aproximadamente 2 milhões de anos, enquanto CH_4 e N_2O alcançaram os maiores níveis dos últimos 800 mil anos, evidenciando a intensificação das mudanças climáticas em escala global.

Nesse cenário, o Acordo de Paris, adotado em 2015, representa um marco nas políticas ambientais internacionais ao estabelecer compromissos voltados à redução das emissões de gases de efeito estufa e à limitação do aumento da temperatura média global (Scovazzi, 2021). No âmbito desse acordo, os países signatários apresentaram suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), por meio das quais assumiram metas específicas de mitigação climática. O Brasil, nesse contexto, comprometeu-se a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa e ampliar estratégias sustentáveis de uso da terra e da produção agropecuária.

No Brasil, a agropecuária e as mudanças no uso da terra destacam-se entre os principais fatores relacionados às emissões de gases de efeito estufa e à degradação ambiental. Segundo Villela *et al.* (2026), a conversão histórica de áreas naturais em terras agrícolas resultou em um déficit significativo de carbono nos solos brasileiros, reduzindo sua capacidade de armazenamento de carbono orgânico. Os autores estimam que as terras agrícolas do país apresentam elevado potencial para a recarbonização dos solos, especialmente por meio da adoção de práticas sustentáveis, como rotação de culturas, consórcios agrícolas, plantio direto e sistemas integrados de produção. Essas estratégias contribuem para a recuperação dos estoques de carbono orgânico do solo, fortalecendo o papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa e no enfrentamento das mudanças climáticas.

A análise do período compreendido entre 2015 e 2024 torna-se especialmente relevante por corresponder aos anos posteriores à adoção do Acordo de Paris, permitindo avaliar tendências recentes das emissões brasileiras de gases de efeito estufa expressas em dióxido de carbono equivalente (CO_2e) e identificar desafios relacionados ao cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo país. Nesse sentido, compreender a influência da agropecuária, das mudanças no uso da terra e da dinâmica do carbono nos solos é fundamental para subsidiar estratégias voltadas à mitigação das mudanças climáticas e à promoção do desenvolvimento sustentável.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O diferencial deste estudo reside na integração entre a análise das emissões de gases de efeito estufa registradas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e a discussão da dívida de carbono dos solos brasileiros, tema ainda limitado na literatura nacional quando analisado de forma integrada, relacionando esses aspectos aos compromissos climáticos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

Diante desse cenário, emerge a seguinte pergunta norteadora: de que maneira a agropecuária e as mudanças no uso da terra têm contribuído para as emissões de gases de efeito estufa expressas em CO_2 equivalente (CO_2e) no Brasil e quais são suas implicações para o cumprimento das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris?

Considerando a relevância das metas climáticas estabelecidas pelo Acordo de Paris e a necessidade de ampliar o conhecimento sobre os fatores que influenciam as emissões nacionais de gases de efeito estufa, este estudo busca analisar as emissões brasileiras de gases de efeito estufa expressas em CO_2 equivalente (CO_2e), com ênfase nos impactos da agropecuária e da dívida de carbono nos solos. Para isso, são examinadas a evolução das emissões entre 2015 e 2024, a influência da agropecuária e das mudanças no uso da terra sobre essas emissões, a dinâmica do carbono nos solos brasileiros e sua relação com os compromissos climáticos assumidos pelo país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ciclo do carbono, mudanças climáticas e carbono no solo

O aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa tem sido amplamente associado às mudanças climáticas observadas nas últimas décadas, especialmente em função das atividades antrópicas intensificadas desde a Era Industrial. Segundo o IPCC (2021), essas atividades alteram significativamente os ciclos biogeoquímicos globais, elevando as concentrações de CO_2, CH_4 e N_2O na atmosfera e contribuindo para o aumento da temperatura média global e para a intensificação de eventos climáticos extremos.

Nesse contexto, o ciclo do carbono constitui um dos principais reguladores do sistema climático terrestre, pois envolve trocas contínuas de carbono entre atmosfera, biosfera, oceanos e solos. Alterações nesse equilíbrio natural favorecem o deslocamento de carbono dos compartimentos terrestres para a atmosfera, intensificando o efeito estufa e ampliando o aquecimento global (Oliveira, Klinke Neto e Oliveira, 2025).

Entre os compartimentos terrestres, os solos desempenham papel estratégico por constituírem o maior reservatório de carbono do planeta (Paramesha *et al*., 2025). Assim,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

qualquer alteração em sua dinâmica de armazenamento tem potencial direto de influência sobre o balanço global de carbono. Esse fato é particularmente relevante em sistemas agrícolas, nos quais o manejo do solo pode atuar tanto como fonte quanto como sumidouro de carbono.

Práticas conservacionistas, como plantio direto, uso de culturas de cobertura, sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas, têm sido associadas ao aumento dos estoques de carbono orgânico do solo (Lal, 2004). Tais estratégias contribuem simultaneamente para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa e para a melhoria da qualidade do solo, evidenciando a interface entre sustentabilidade agrícola e regulação climática.

Por outro lado, a conversão de áreas naturais em sistemas agropecuários altera significativamente a dinâmica do carbono no solo. Estudos demonstram que a substituição de florestas por pastagens modifica os estoques de carbono orgânico e pode intensificar a liberação de CO_2 para a atmosfera, contribuindo para o desequilíbrio do ciclo do carbono (Cerri *et al*., 2007). Esse processo evidencia que mudanças no uso da terra são componentes centrais na relação entre agricultura e emissões de gases de efeito estufa.

De forma geral, os processos de mudança no uso e cobertura da terra exercem influência direta sobre os ciclos biogeoquímicos, alterando o balanço de carbono no sistema solo-atmosfera e contribuindo para modificações no clima regional e global (Adami *et al.,* 2015). No contexto brasileiro, tais transformações estão fortemente associadas à expansão agropecuária, o que reforça sua relevância como fonte de emissões de gases de efeito estufa expressos em CO_2 equivalente (CO_2e), conforme utilizado nos inventários nacionais.

Nesse cenário, os estoques de carbono do solo apresentam elevada sensibilidade às mudanças no uso e manejo da terra, sendo influenciados pela conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas e pastagens, bem como por práticas inadequadas de manejo que favorecem a degradação dos ecossistemas. A literatura também aponta lacunas importantes na quantificação desses estoques em diferentes regiões brasileiras, especialmente no Nordeste, evidenciando limitações no conhecimento sobre a dinâmica espacial e temporal do carbono do solo sob distintos sistemas de uso da terra (Jesus *et al*., 2019).

3. METODOLOGIA

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.1. Delineamento e fontes de dados

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza bibliográfica e documental, com abordagem quanti-qualitativa, voltado à análise das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil e sua relação com o uso da terra, a agropecuária e os estoques de carbono no solo, no contexto do Acordo de Paris.

O estudo integra revisão de literatura científica e análise de dados secundários provenientes de bases institucionais, permitindo a articulação entre evidências teóricas e empíricas para a compreensão do fenômeno investigado.

3.2. Revisão bibliográfica e estratégia de busca

A revisão bibliográfica foi realizada no período de abril de 2025 a abril de 2026, utilizando as bases de dados Google Acadêmico, SciELO e Portal de Periódicos CAPES.

As buscas contemplaram estudos relacionados às emissões de gases de efeito estufa, uso da terra, agropecuária, mudanças climáticas e carbono no solo, no contexto do Acordo de Paris.

Foram utilizados descritores em português e inglês, incluindo os termos: “gases de efeito estufa”, “CO_2 equivalente”, “agropecuária”, “uso da terra”, “mudanças climáticas”, “carbono no solo”, *“greenhouse gas emissions”, “land use change”* e *“soil carbon”.*

Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, com o objetivo de refinar as buscas e ampliar a recuperação de estudos relevantes à temática investigada.

Foram incluídos estudos científicos revisados por pares, livros acadêmicos e relatórios técnicos; foram excluídas publicações sem rigor científico, materiais sem acesso ao texto completo, documentos duplicados e estudos fora do escopo temático da pesquisa.

3.3. Dados institucionais e variáveis analisadas

A pesquisa documental utilizou dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

As emissões de gases de efeito estufa foram expressas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e), com base no Potencial de Aquecimento Global (GWP) estabelecido pelo IPCC AR5.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Foram consideradas as emissões totais de GEE por estado e por região, bem como sua distribuição por setores econômicos, incluindo agropecuária, energia, mudança do uso da terra e florestas, processos industriais e resíduos.

O recorte temporal adotado para análise dos dados foi de 2015 a 2024, por corresponder ao período mais recente com séries consolidadas e comparáveis disponíveis nas bases utilizadas.

3.4. Tratamento dos dados e análise

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, permitindo sua padronização, sistematização e comparação.

O ranking dos estados emissores foi construído a partir da soma anual das emissões totais de GEE por estado (tCO_2e), sendo os valores posteriormente ordenados em ordem decrescente para cada ano do período analisado (2015–2024).

A análise dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva, com interpretação temporal e espacial das emissões. Os resultados foram organizados em tabelas, permitindo comparação entre estados, regiões e setores ao longo do período estudado.

A interpretação final dos resultados foi realizada por meio da discussão com a literatura científica, relacionando as emissões de GEE à expansão da agropecuária, às mudanças no uso da terra e à dinâmica dos estoques de carbono no solo, no contexto das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos por meio da revisão bibliográfica e documental evidenciou que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil permanecem estruturalmente associadas às atividades agropecuárias e às mudanças no uso da terra. Os dados disponibilizados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) indicam que esses setores continuam desempenhando papel central no perfil de emissões nacionais, evidenciando desafios persistentes para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Acordo de Paris.

Com o objetivo de compreender a dinâmica espaço-temporal das emissões brasileiras entre 2015 e 2024, foi elaborado um ranking dos estados com maiores emissões anuais de GEE, com base na soma das emissões totais expressas em toneladas de dióxido de carbono

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

equivalente (tCO_2e), considerando os setores de agropecuária, energia, mudança do uso da terra e florestas, processos industriais e resíduos.

Os estados do Pará e Mato Grosso mantiveram as primeiras posições no ranking nacional durante todo o período analisado, evidenciando a forte influência das atividades associadas à mudança do uso da terra e à agropecuária sobre o perfil de emissões brasileiras. Minas Gerais também permaneceu entre os principais emissores ao longo da série histórica, enquanto o Maranhão apresentou crescimento gradual, passando da sexta posição em 2015 para a quinta posição em 2024. Esse comportamento demonstra a persistência de um padrão de concentração espacial das emissões em estados diretamente relacionados à expansão da fronteira agropecuária e à conversão de ecossistemas naturais, especialmente em áreas de Amazônia e Cerrado (Tabela 1).

Tabela 1. Evolução do *ranking* dos estados brasileiros com maiores emissões de gases de efeito estufa no período de 2015–2024.

ESTADO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pará	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º
Mato Grosso	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º
Minas Gerais	3º	3º	3º	3º	3º	3º	4º	4º	3º	3º
São Paulo	4º	4º	4º	4º	5º	5º	6º	6º	5º	4º
Rondônia	5º	5º	5º	5º	4º	4º	5º	5º	6º	10º
Maranhão	6º	6º	7º	7º	7º	6º	7º	7º	4º	5º
Rio Grande do Sul	7º	8º	6º	6º	8º	9º	8º	9º	10º	7º
Bahia	8º	10º	8º	8º	9º	8º	9º	8º	7º	6º
Goiás	9º	9º	9º	9º	10º	10º	10º	10º	9º	8º
Amazonas	10º	7º	10º	-	6º	7º	3º	3º	8º	9º
Paraná	-	-	-	10º	-	-	-	-	-	-

(-) Não figurou entre os 10 maiores emissores.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do SEEG (2026).

Nesse cenário, a liderança constante do Pará ao longo da série histórica evidencia a consolidação e a continuidade das pressões associadas ao desmatamento. Segundo o relatório do Observatório do Clima (2025), elaborado por meio do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o Pará permaneceu como o maior emissor bruto do país em 2024, com 278 $MtCO_2e$, o que reforça a expressiva contribuição da região amazônica

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

para o perfil nacional de emissões. Esse resultado indica que, apesar de avanços pontuais em políticas de monitoramento e controle ambiental, as mudanças no uso da terra ainda exercem influência estrutural sobre as emissões estaduais.

Destaca-se ainda a ascensão do Amazonas em determinados anos da série, alcançando a terceira posição em 2021 e 2022. Em contrapartida, Rondônia apresentou redução relativa de posição ao final do período analisado. Essas variações sugerem que, embora alguns estados apresentem oscilações temporárias, a distribuição espacial das emissões permanece fortemente vinculada às dinâmicas regionais de ocupação territorial e exploração econômica dos recursos naturais.

De modo geral, observa-se a concentração das emissões em estados fortemente associados à expansão agropecuária e à conversão de áreas naturais, o que representa um desafio direto para o cumprimento das metas climáticas brasileiras. Esses resultados são consistentes com o Observatório do Clima (2017), que identificou o uso da terra como principal fonte de emissões no país em 2016, responsável por aproximadamente 51% das emissões totais.

Corroborando essa tendência, Vasconcelos *et al*. (2018) destacam que a conversão de vegetação nativa para sistemas agropecuários contribui para o aumento das emissões de carbono, enquanto práticas conservacionistas, como o plantio direto, podem reduzir tais emissões em comparação aos sistemas convencionais de cultivo.

Nesse contexto, a análise da dívida de carbono torna-se fundamental para compreender os impactos ambientais associados à expansão das atividades produtivas. De acordo com Oliveira, Klinke Neto e Oliveira (2025), a conversão de ecossistemas naturais para áreas agrícolas e pecuárias provoca perdas expressivas de carbono orgânico do solo, transformando ambientes que atuavam como sumidouros em fontes de emissão de gases de efeito estufa. Esse processo amplia a dívida de carbono do solo, uma vez que reduz estoques de carbono acumulados ao longo de décadas ou séculos, dificultando sua recuperação em curto prazo.

Resultados semelhantes foram observados por Bisinoto *et al*. (2026), ao analisarem a dinâmica dos estoques de carbono orgânico do solo no estado de Mato Grosso entre 1987 e 2023. Segundo o relatório do Observatório do Clima (2025), o estado emitiu 231 $MtCO_2e$ em 2024, apresentando aproximadamente 60 toneladas de CO_2e por habitante, valores significativamente superiores às médias nacional e global. Esses resultados reforçam a relação entre expansão agropecuária, perda de carbono do solo e intensificação das emissões de GEE.

Segundo Madari *et al.* (2018), em publicação da Embrapa, a adoção de tecnologias sustentáveis na agropecuária constitui uma importante estratégia para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Entre as principais práticas recomendadas estão a recuperação de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

pastagens degradadas, a integração lavoura-pecuária-floresta, o sistema plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio e os sistemas agroflorestais. Os autores destacam, entretanto, que ainda existem obstáculos relacionados à ampliação da adoção dessas tecnologias, ao monitoramento de sua efetividade e à implementação de políticas públicas capazes de incentivar sua utilização em larga escala, aspectos considerados essenciais para o cumprimento das metas climáticas brasileiras.

A análise das emissões de gases de efeito estufa por setor e região evidencia que a categoria Mudança do Uso da Terra e Florestas permaneceu como principal fonte emissora em grande parte do território nacional, reforçando o papel central do desmatamento e da conversão de áreas naturais na dinâmica climática brasileira. A Região Norte apresentou os maiores valores absolutos tanto em 2015 quanto em 2024, com emissões superiores às demais regiões nesse setor, o que demonstra a persistência das pressões ambientais sobre a Amazônia (Tabela 2).

Tabela 2. Emissões de gases de efeito estufa (tCO_2e) por setor e região brasileira nos anos de 2015 e 2024.

Categoria	**Norte (2015)**	**Sudeste (2015)**	**Centro-Oeste (2015)**	**Nordeste (2015)**	**Sul (2015)**
Agropecuária	100.981.635	104.419.073	173.852.153	74.176.794	97.878.872
Energia	28.940.596	191.540.468	35.926.413	83.105.320	68.301.578
Mudança de Uso da Terra e Floresta	556.699.138	68.685.542	218.728.200	172.995.811	59.135.864
Processos Industriais	1.990.116	48.743.728	2.766.683	6.173.112	4.316.465
Resíduos	6.586.697	38.440.137	8.100.764	21.729.862	10.748.395
	Norte (2024)	**Sudeste (2024)**	**Centro-Oeste (2024)**	**Nordeste (2024)**	**Sul (2024)**
Agropecuária	139.775.986	105.462.570	194.126.375	93.050.156	93.630.629
Energia	30.671.264	177.875.211	39.935.474	71.348.836	70.789.648
Mudança de Uso da Terra e Floresta	433.008.933	60.940.708	161.408.938	212.011.856	38.236.648
Processos Industriais	1.841.644	50.315.584	2.759.539	5.964.114	4.721.076
Resíduos	8.009.356	41.273.218	9.247.097	24.700.112	12.435.784

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do SEEG (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Embora tenha sido observada redução das emissões associadas à Mudança do Uso da Terra e Florestas nas regiões Norte e Centro-Oeste ao longo do período analisado, os valores permaneceram elevados, indicando que, apesar de avanços parciais no controle do desmatamento, as emissões oriundas da alteração da cobertura vegetal continuam exercendo forte influência no balanço nacional de GEE. Na Região Norte, por exemplo, houve redução de aproximadamente 22,2%, passando de 556.699.138 tCO_2e em 2015 para 433.008.933 tCO_2e em 2024. Já no Centro-Oeste, a redução foi de cerca de 26,2%, passando de 218.728.200 para 161.408.938 tCO_2e. Apesar dessa diminuição, os valores ainda permanecem expressivos, evidenciando que as reduções observadas não foram suficientes para alterar de maneira estrutural o perfil de emissões do país.

Em contrapartida, a Região Nordeste apresentou aumento das emissões relacionadas à mudança do uso da terra, passando de 172.995.811 tCO_2e em 2015 para 212.011.856 tCO_2e em 2024. Esse crescimento corresponde a um aumento aproximado de 22,6%. Esse comportamento sugere redistribuição espacial das pressões ambientais, associada à expansão agropecuária e à conversão de ecossistemas naturais em áreas produtivas.

Também foi observado crescimento das emissões provenientes da agropecuária na maioria das regiões brasileiras, com destaque para Norte, Nordeste e Centro-Oeste. No Centro-Oeste, as emissões agropecuárias aumentaram de 173.852.153 para 194.126.375 tCO_2e entre 2015 e 2024, representando crescimento aproximado de 11,7%, consolidando a região como uma das principais áreas de emissão associada à produção agropecuária intensiva.

Esse resultado reflete a forte presença da pecuária extensiva e da produção de *commodities* agrícolas, especialmente soja e milho, atividades historicamente relacionadas à expansão territorial e ao uso intensivo dos recursos naturais.

Outro aspecto relevante refere-se ao setor de energia. Embora esse setor não represente o principal emissor em escala nacional, a Região Sudeste apresentou os maiores valores absolutos tanto em 2015 quanto em 2024, refletindo sua elevada concentração populacional, industrial e urbana. Esse comportamento evidencia que a dinâmica das emissões brasileiras não está associada exclusivamente ao uso da terra, mas também às desigualdades regionais no consumo energético, na industrialização e nos padrões de mobilidade.

Os setores de processos industriais e resíduos apresentaram menores contribuições relativas em comparação aos demais setores, porém mantiveram crescimento moderado em algumas regiões, especialmente no Sudeste e Nordeste. Ainda que esses segmentos tenham menor participação percentual nas emissões totais, sua relevância não deve ser subestimada, sobretudo diante da expansão urbana e industrial observada em diferentes regiões brasileiras.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nesse sentido, o Observatório do Clima (2024) propõe uma Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) mais ambiciosa para o país, sugerindo que o Brasil alcance emissões líquidas de 400 milhões de toneladas de CO_2 até 2030 e 200 milhões de toneladas até 2035. Segundo a proposta, o alcance dessas metas depende da eliminação do desmatamento e da ampliação de ações de mitigação nos setores de energia, agropecuária e resíduos.

Os resultados deste estudo são consistentes com essa perspectiva, indicando que o cumprimento das metas climáticas brasileiras depende não apenas da redução das emissões associadas ao desmatamento, mas também da consolidação de modelos produtivos mais sustentáveis. Nesse sentido, políticas públicas voltadas à conservação ambiental, à recuperação de áreas degradadas e à recarbonização dos solos tornam-se estratégicas para a mitigação climática.

O Plano ABC+, política setorial brasileira voltada à mitigação e adaptação às mudanças climáticas no setor agropecuário, constitui um dos principais instrumentos nacionais alinhados às metas do Acordo de Paris para a redução de emissões de gases de efeito estufa. De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2023), o programa busca promover sistemas produtivos sustentáveis, com foco na recuperação de áreas degradadas, na intensificação sustentável da produção e no controle das emissões associadas à agropecuária. Nesse contexto, os resultados deste estudo indicam que, apesar da existência de políticas públicas estruturadas, as emissões relacionadas à mudança do uso da terra e à agropecuária permanecem elevadas em diversas regiões do Brasil, sugerindo desafios na efetiva implementação e alcance das metas climáticas estabelecidas.

Em suma, os dados evidenciam que o perfil de emissões brasileiro mantém uma forte dependência do setor de uso da terra e da produção rural. Este cenário reforça o papel central do combate à degradação florestal e da transição para práticas sustentáveis como eixos obrigatórios para a descarbonização da economia nacional. Embora tenham ocorrido reduções em determinados setores e regiões ao longo do período analisado, esses segmentos continuam exercendo papel predominante na dinâmica das emissões nacionais. Dessa forma, o alcance das metas climáticas brasileiras exige ações integradas que articulem governança territorial, controle do desmatamento, incentivo à agropecuária de baixa emissão e estratégias de recarbonização dos solos, medidas estas essenciais para a mitigação das mudanças climáticas e para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar as emissões de gases de efeito estufa expressas em CO_2 equivalente (CO_2e) no Brasil no contexto do Acordo de Paris, com ênfase nos impactos da agropecuária e da dívida de carbono nos solos. A partir da revisão bibliográfica e documental, bem como da análise dos dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), foi possível verificar que as emissões brasileiras permanecem intrinsecamente vinculadas à dinâmica do setor primário e às alterações na cobertura vegetal do território.

Os resultados demonstraram que estados como Pará e Mato Grosso mantiveram-se entre os maiores emissores do país ao longo do período analisado, evidenciando a influência da supressão vegetal e da conversão de áreas naturais sobre o perfil das emissões nacionais. Além disso, observou-se que o setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta apresentou os maiores volumes de lançamento de gases, reforçando a relevância do controle do desmatamento para a mitigação dos gases de efeito estufa.

Verificou-se ainda que a expansão das atividades agropecuárias, quando associada ao manejo inadequado dos recursos naturais, pode contribuir para a redução dos estoques de carbono no solo, favorecendo a ocorrência da chamada dívida de carbono. Por outro lado, práticas sustentáveis, como o plantio direto, a recuperação de pastagens degradadas, a integração lavoura-pecuária-floresta e os sistemas agroflorestais, apresentam potencial para reduzir emissões e promover a conservação do carbono armazenado nos solos.

Entretanto, os resultados também indicam que a adoção de tecnologias de baixa emissão, embora necessária, pode não ser suficiente para assegurar, de forma isolada, o cumprimento das metas climáticas brasileiras. Persistem limitações estruturais relacionadas à expansão da fronteira agropecuária, à ocupação desordenada do território, à fragilidade da governança fundiária e às dificuldades de fiscalização ambiental, fatores que continuam pressionando os ecossistemas naturais e ampliando as emissões associadas ao uso da terra.

Nesse contexto, o alcance efetivo das metas assumidas pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris depende não apenas da incorporação de práticas produtivas mais sustentáveis, mas também da articulação entre conservação ambiental, políticas de ordenamento territorial, fortalecimento institucional e governança climática integrada. A mitigação das mudanças climáticas exige, portanto, uma abordagem sistêmica, capaz de conciliar produção agropecuária, proteção dos recursos naturais e justiça socioambiental.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Como limitação, destaca-se que a pesquisa se baseou em dados secundários e em análise documental, não contemplando medições de campo ou modelagens específicas dos estoques de carbono em diferentes sistemas produtivos brasileiros.

Por fim, sugere-se que futuras pesquisas aprofundem a análise dos estoques de carbono nos solos brasileiros e avaliem a efetividade das práticas de manejo sustentável na redução das emissões de gases de efeito estufa em diferentes regiões do país.

REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; VENTURIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. **Anais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015.

BISINOTO, G. D. S.; DIAS, D. F.; SANTOS, F. L.; BRUM, E. V. P.; ZANIN, R. B.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S. Cartografando o silêncio do solo: a dinâmica do carbono orgânico no solo de 1987 a 2023 em Mato Grosso. **Scientia Plena**, v. 22, n. 1, 2026. DOI: 10.14808/sci.plena.2026.019906.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programas e estratégias**. Brasília, DF: MAPA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/programas-e-estrategias. Acesso em: 25 mai. 2026.

CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N.; MILNE, E.; CERRI, C. C. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 122, n. 1, p. 46-57, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.007.

IPCC. **Climate change: 1995: the science of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

IPCC. **Climate change 2021: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 07 abr. 2026.

JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, A. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 12, n. 3, p. 714–721, 2019. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p714-721.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1097396.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MADARI, B. E.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, P. P. A.; HIGA, R. C. V.; RAMOS, N. P.; DE ANDRADE, C. A.; KEMENES, A.; GONDIM, R. S. O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). **Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 59-68.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões do Brasil sobem 9% em 2016**. São Paulo: Observatório do Clima, 2017. Disponível em: https://oc.eco.br/emissoes-brasil-sobem-9-em-2016/. Acesso em: 04 fev. 2026.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Nota Técnica: Bases para proposta de 2a NDC para o Brasil 2030-2035**. 2024. Disponível em: https://oc.eco.br/nota-tecnica-bases-para-proposta-de-2a-ndc-para-o-brasil/. Acesso em: 01 fev. 2026.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. SEEG. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970–2024)**: Coleção 13. São Paulo: OC, 2025. Disponível em: http://seeg.eco.br. Acesso em: 30 mai. 2026.

OLIVEIRA, A. H.; KLINKE NETO, G.; OLIVEIRA, M. H. Carbono edáfico: o elo para o equilíbrio climático e a segurança alimentar. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 6, p. 31680-31701, 2025. DOI: 10.56238/arev7n6-146.

PARAMESHA, V.; KUMAR, P.; FRANCAVIGLIA, R.; NATH, A. J.; MISHRA, G.; KUMAR, R. M.; TORASKAR, S.; RAKHUNDE, S. Evaluating land use and climate change effects on soil organic carbon: a simulation study in coconut and pineapple systems in west coast India. **Catena,** v. 248, p. 108587, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108587.

SCOVAZZI, T. Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris. Tradução de Lucas Carlos Lima. **Revista da Faculdade de Direito da UFMG**, Belo Horizonte, n. 78, p. 469-476, 2021. DOI: https://doi.org/10.12818/P.0304-2340.2021v78p469.

SEEG. Sistema de estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa. **Ranking das emissões de gases de efeito estufa por estado e setor (1990–2024)**. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/. Acesso em: 19 mar. 2026.

VASCONCELOS, A. L. S.; FERRÃO, G. E.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. E. P.; PIRES, I. C. G.; SIQUEIRA NETO, M. Agricultura e gases de efeito estufa - estudos de casos no Brasil. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 10, n. 2, p. 12-40, 2018.

VILLELA, J. M.; DAMIAN, J. M.; GONÇALVES, D. R. P.; BARIONI, L. G.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P. Soil carbon debt from land use change in Brazil. **Nature Communications**, v. 17, n. 1626, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-026-68340-4.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.