



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

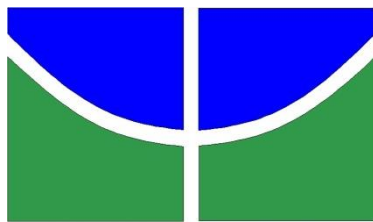
**MANEJO DO SOLO NO BRASIL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS  
PARA MITIGAÇÃO OU SUSTENTABILIDADE DE GASES DE EFEITO  
ESTUFA**

**ANA MARIA RODRIGUES DOS SANTOS**

**Brasília - DF, 07 de dezembro de 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MANEJO DO SOLO NO BRASIL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS  
PARA MITIGAÇÃO OU SUSTENTABILIDADE DE GASES DE EFEITO  
ESTUFA**

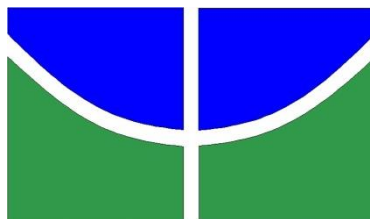
**Ana Maria Rodrigues dos Santos**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de Brasília como parte  
das exigências para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Piontekowski  
Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Brasília – DF, 07 de dezembro de 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – EFL

**MANEJO DO SOLO NO BRASIL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS  
PARA MITIGAÇÃO OU SUSTENTABILIDADE DE GASES DE EFEITO  
ESTUFA**

Estudante: Ana Maria Rodrigues dos Santos

Matrícula: 19/0097485

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Piontekowski Ribeiro

Menção: \_\_\_\_\_

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Piontekowski Ribeiro  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof. Dr. Alcides Gatto  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Ms. Natália Cássia de Faria Ferreira  
Universidade de Brasília - UnB  
Membro da Banca

---

Ms. Thaís Rodrigues de Sousa  
Universidade de Brasília - UnB  
Membro da Banca

Brasília-DF, 07 de dezembro de 2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

RS237m Rodrigues dos Santos, Ana Maria  
Manejo do Solo no Brasil: Estratégias Integradas para  
Mitigação ou Sustentabilidade de Gases De Efeito Estufa. /  
Ana Maria Rodrigues dos Santos; orientador Fabiana  
Piontekowski Ribeiro; co-orientador Alcides Gatto. --  
Brasília, 2023.  
58 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) --  
Universidade de Brasília, 2023.

1. Conservação do Solo. 2. Mudanças Climáticas. 3.  
Sistema de Plantio Direto. I. Piontekowski Ribeiro, Fabiana,  
orient. II. Gatto, Alcides, co-orient. III. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, A. M. R. (2023). **MANEJO DO SOLO NO BRASIL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA MITIGAÇÃO OU SUSTENTABILIDADE DE GASES DE EFEITO ESTUFA**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 58 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Ana Maria Rodrigues dos Santos.

TÍTULO: *Manejo do Solo no Brasil: Estratégias Integradas para Mitigação ou Sustentabilidade de Gases De Efeito Estufa*.

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Ana Maria Rodrigues dos Santos

Dedico este trabalho à memória eterna da minha querida avó Meire, como uma homenagem ao seu legado de carinho e persistência.

## AGRADECIMENTOS

À medida que concludo esta jornada acadêmica, gostaria de expressar minha profunda gratidão às pessoas que me ajudaram nesse processo.

Primeiramente, quero agradecer a minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me incansavelmente em todos os momentos.

A minha vó Meire (*in memoriam*), seu amor, incentivo e apoio incondicional foram uma fonte de inspiração inestimável ao longo da minha jornada acadêmica. Embora não esteja fisicamente ao meu lado, sei que ela está olhando de algum lugar com orgulho, guiando-me com sua presença espiritual. Obrigada por sempre acreditar em mim.

Ao meu tio Gleydson, meu sincero agradecimento por sua generosidade e apoio, que foi um presente inestimável, e estou profundamente grata por sua contribuição para minha educação ao longo desses anos.

A minha tia Vanderlene, que gentilmente me ofereceu um lar durante esta jornada, quero expressar minha gratidão por sua hospitalidade e apoio inabalável. Sua casa tornou-se não apenas um lugar para morar, mas um refúgio de amor e apoio durante este caminho acadêmico.

Às minhas primas, Camila e Carina, que ao longo desta jornada acadêmica, não apenas ofereceram apoio, mas também compartilharam seu carinho e incentivo constantes.

Obrigada, querida família, por serem minha rocha, meu alicerce e minha constante fonte de força. Este trabalho é dedicado a todos vocês, como uma expressão do meu amor e gratidão eternos.

Agradeço ao meu professor Alcides, cuja orientação e apoio desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação, paciência e disposição para compartilhar conhecimento foram fundamentais para este projeto.

A professora Fabiana, pela atenção, paciência, e por ter tido a oportunidade de contar com sua ajuda e orientação ao longo deste processo acadêmico.

*“Se quisermos usar as florestas para combater às mudanças climáticas, precisaremos deixá-las envelhecer.” (Peter Wohlleben)*

## RESUMO

SANTOS, Ana Maria Rodrigues dos (SANTOS, A. M. R.) **MANEJO DO SOLO NO BRASIL: ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA MITIGAÇÃO OU SUSTENTABILIDADE DE GASES DE EFEITO**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília - DF.

O solo desempenha um papel fundamental no ciclo global do carbono (C), pois constitui a maior reserva de C terrestre e, assim, exercem um papel essencial no enfrentamento das mudanças climáticas. Este trabalho de pesquisa concentra-se em investigar, por meio de revisão de pesquisas e discussões de outros autores, estratégias de manejo do solo utilizadas para mitigar Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil, incluindo as políticas públicas associadas a tais práticas. Para dar resposta às pretensões temáticas foram avaliados diversos estudos publicados em sites renomados, utilizando buscadores booleanos para facilitar a pesquisa. A análise dos estudos revelou lacunas nas pesquisas sobre práticas de manejo em diferentes regiões do país. Os resultados destacaram a importância de práticas convencionais para manter as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em maiores estoques de C e redução de emissões de GEE. A região Norte brasileira apresentou as maiores emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que indica um uso insustentável do solo. Apesar das políticas públicas existentes, o Brasil continua a aumentar as emissões, especialmente devido à agropecuária e às mudanças no uso da terra. Recomenda-se fortalecer as legislações e as fiscalizações, tornando-as mais eficazes para concretizar as contribuições sustentáveis, indo além das obrigações escritas e buscando efetividade prática.

**Palavras-chave:** Conservação do Solo; Plantio Direto; Mudanças Climáticas



## ABSTRACT

SANTOS, Ana Maria Rodrigues dos (SANTOS, A. M. R.) **SOIL MANAGEMENT IN BRAZIL: INTEGRATED STRATEGIES FOR MITIGATION OR SUSTAINABILITY OF GROUND GASES**. Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília - DF.

Soil plays a fundamental role in the global carbon (C) cycle, as it constitutes the largest reserve of terrestrial C and, therefore, plays an essential role in combating climate change. This research work focuses on investigating, through a review of research and discussions by other authors, soil management strategies used to mitigate Greenhouse Gases (GHG) in Brazil, including public policies associated with such practices. To respond to the thematic concerns, several studies published on renowned websites were evaluated, using Boolean search engines to facilitate the search. The analysis of the studies revealed gaps in research on management practices in different regions of the country. The results highlighted the importance of conventional practices to maintain the physical, chemical and biological properties of the soil, resulting in greater C stocks and reduced GHG emissions. The Northern region of Brazil had the highest carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, which indicates unsustainable land use. Despite existing public policies, Brazil continues to increase emissions, especially due to agriculture and changes in land use. It is recommended to strengthen legislation and inspections, making them more effective in achieving sustainable contributions, going beyond written obligations and seeking practical effectiveness.

**Keywords:** Soil Conservation; No-tillage system; Climate changes.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Total de emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil, no período de 2017 a 2021. Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). .....	19
<b>Figura 2.</b> Ciclo global do carbono em diferentes compartimentos (medidas em Pg C). Fonte: MACHADO (2005).....	25
<b>Figura 3.</b> Mapa regional das 5 grandes regiões brasileiras. Fonte: Prefeitura de Goiânia, 2023 .....	29
<b>Figura 4.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Pará no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022 .....	30
<b>Figura 5.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Amazonas no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG .....	31
<b>Figura 6.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Maranhão no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022 .....	32
<b>Figura 7.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Mato Grosso no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG .....	33
<b>Figura 8.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Mato Grosso do Sul no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022 .....	33
<b>Figura 9.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Paraná no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022 .....	34
<b>Figura 10.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> no estado do Rio Grande do Sul no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022 .....	34
<b>Figura 11.</b> Mapa de localização indicando os pontos de coleta em Bananeiras. Fonte: GOMES et al, 2022 .....	40
<b>Figura 12.</b> Evolução do CO <sub>2</sub> (mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) em quatro sistemas de uso do solo (mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ). Bananeira – Paraíba. Fonte: Gomes et al, 2022.....	41
<b>Figura 13.</b> Fluxos de óxido nitroso (a), Teor de água no solo (b), Nitrato e Amônio no solo (c e d) em diferentes sistemas de manejo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Planaltina, DF, Brasil. Fonte: Oliveira et al, 2015 .....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Fontes de emissão de gases de efeito estufa. Fonte: Elaborado pelo autor com base em Nações Unidas, 2019; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022 .....	18
<b>Tabela 2.</b> Análise de variância da evolução do CO <sub>2</sub> (mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) em função do manejo sistemas e mudanças de avaliação no pântano de altitude. ....	40
<b>Tabela 3.</b> Conteúdo de C no solo até 20 cm de profundidade sob diferentes sistemas integrados 6 anos após o estabelecimento.....	42

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABPD	Associação Brasileira de Plantio Direto
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
C	Carbono
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COP	Conferência das Partes
C-org	Carbono Orgânico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILPF	Interação Lavoura-Pecuária-Floresta
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
MO	Matéria Orgânica
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NOAA	Agência Americana Oceânica e Atmosférica
ONU	Organização das Nações Unidas
Pg C	Petagramas de Carbono
PROCLIMA	Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SPD	Sistema de Plantio Direto
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
USP	Universidade de São Paulo

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos .....	16
<b>3 METODOLOGIA E TÉCNICAS DE PESQUISA .....</b>	<b>16</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>17</b>
4.1 Gases de efeito estufa e aquecimento global .....	17
4.1.1 Trilhando o tempo: Uma jornada pela cronologia das Conferências das Partes (COPs) e principais acordos para o caminho de um futuro sustentável .....	19
4.2 O solo como reservatório e fonte de GEE .....	22
4.2.1 Ciclo global do carbono .....	24
4.2.2 Influência dos microrganismos no estoque de c-org no solo.....	25
4.2.3 Manejo do solo e a influência nos gases de efeito estufa .....	26
4.3 Panorama de emissões das regiões brasileiras .....	29
4.4 Desafios e limitações .....	35
4.5 Políticas públicas brasileiras .....	36
<b>5 ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>39</b>
5.1 Mitigação de GEE por Meio do Manejo do Solo .....	39
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos constituem a capacidade de armazenar carbono (C), três vezes mais do que a atmosfera (WIEDER et al., 2018; CROWTHER et al., 2019) e representam aproximadamente 75% do estoque de C em terra, essencial para a manutenção do equilíbrio de C entre a terra, a atmosfera e os oceanos. Aproximadamente 50 Pg C (petagramas de C) foram liberados globalmente na atmosfera devido à conversão de terras naturais em áreas agrícolas cultivadas (KAUSHAL et al., 2023). Com isso, o sistema de uso da terra e seu manejo têm uma grande influência no processo de acúmulo e armazenamento de C nos solos (TONUCCI et al., 2017; SPIVAK et al., 2019; PINHEIRO et al 2021) assim, como nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (SOUSA et al., 2021; CARVALHO et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2023)

O avanço das atividades econômicas tem conduzido a humanidade a efetuar alterações em seu padrão de uso e ocupação do solo. Uma das causas que intensificam a diminuição da cobertura vegetal do solo é a expansão de áreas agrícolas, devido ao aumento das áreas destinadas a pastagens e intensas atividades de agricultura; além do crescimento populacional. Em 2020, o setor agropecuário brasileiro gerou cerca de 37,8% do volume total de emissões de gases emitidas nacionalmente (AZEVEDO et al, 2022; SOUSA et al, 2022). Práticas como essas, não apenas contribuem para o aumento das concentrações de C na atmosfera, mas também representam uma ameaça para o equilíbrio ambiental, destacando a necessidade premente de abordagens sustentáveis na gestão da terra (ABBAS et al., 2020). Especialmente relacionados com processos de desmatamento e perda de cobertura vegetal, o que limita a assimilação de C e a emissão de GEE (AZNAR-SÁNCHEZ et al., 2019; WILTSHIRE, et al., 2022).O reconhecimento desses processos é de suma importância para a formulação de estratégias eficazes de mitigação das mudanças climáticas e para preservar a integridade dos ecossistemas terrestres (KAUSHAL et al, 2023).Segundo o relatório de 2018 publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, acrônimo em inglês), as atividades primárias realizadas pela humanidade no solo entre os anos de 2007 e 2016, são responsáveis por aproximadamente 25% das emissões totais de GEE. Isso inclui 13% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 44% de metano (CH<sub>4</sub>) e 81% de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). No âmbito nacional, aproximadamente 40,2% da emissão de CO<sub>2</sub> vem do uso e da mudança da cobertura da terra e florestas.

Em junho de 2021, a Organização das Nações Unidas (ONU) deu início a um movimento global com o propósito de preservar e recuperar ecossistemas danificados em todos os continentes. O objetivo é implementar essas soluções até 2030, abordando assim os desafios

ambientais e promovendo a sustentabilidade em nível global. Nesse contexto, a implementação de sistemas agroflorestais tem impacto positivo na velocidade de restauração ambiental, recuperação na capacidade de autorregulação dos solos e na produção de alimentos (GATTELI, 2022; SANTOS, 2022; SANTOS et al., 2020).

O incremento da população mundial intensifica a necessidade de ampliação da produção de alimentos (KNAPP et al, 2018). Contudo, as mudanças climáticas exercem um impacto adverso sobre essa produção, ocasionando uma diminuição no rendimento das colheitas em virtude do aumento das temperaturas. Essas alterações climáticas influenciam negativamente a fisiologia das plantas, comprometendo a eficiência dos processos agrícolas e, por conseguinte, desafiando a capacidade de suprimento alimentar para atender à crescente demanda populacional (IPPC, 2019; GOMEZ-ZAVAGLIA, 2020; MAHATO, 2014).

As repercussões das mudanças climáticas na sociedade brasileira são notáveis, como evidenciado por relatos recentes de eventos climáticos extremos e desastres naturais. Segundo a Agência Americana Oceânica e Atmosférica (NOAA, acrônimo em inglês), houve o aumento inesperado de 1,25 graus Celsius na temperatura global, antecipando as projeções para 2040. Exemplos concretos, como as enchentes no Rio Grande do Sul e a severa seca na Amazônia, ressaltam que essa rápida mudança climática serve como um alerta inegável sobre a urgência de abordar as questões ambientais.

Com o intuito de fazer uma contribuição significativa para a redução das emissões de GEE, o Brasil desenvolveu o Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia com Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, popularmente conhecido como Plano ABC. O objetivo principal desse plano é implementar medidas tecnológicas sustentáveis (sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, interação lavoura-pecuária-floresta) no setor agropecuário, a fim de diminuir essas emissões e combater os impactos do aquecimento global (SOUSA et al, 2022).

O Brasil está empenhado em adotar práticas mais sustentáveis por meio deste plano, com o objetivo principal de preservar o meio ambiente e promover a sustentabilidade na agricultura. Em novembro de 2022, foi realizada no Egito a 27ª Conferência das Partes (COP27), a qual foi abordado não apenas a revisão de regulamentações existentes, mas também outros temas cruciais relacionados à sustentabilidade, como energia e combustíveis fósseis. Nesse cenário, o recém-eleito presidente Luiz Inácio Lula da Silva proferiu um discurso abordando os principais desafios no território brasileiro, enfatizando a urgência do combate ao desmatamento e ressaltou a necessidade de o setor agrícola adotar práticas regenerativas e

sustentáveis. A intervenção de Lula na COP27, conforme documentado pelo Instituto de Relações Internacionais (2022), evidencia um comprometimento renovado do Brasil com a agenda global de sustentabilidade, sob sua liderança.

Ainda na COP27, Joaquim Leite, ex-Ministro do Meio Ambiente, liderou a delegação brasileira e apresentou a Agenda Brasil + Sustentável, um documento que destaca as medidas adotadas nos últimos quatro anos para combater a pobreza e proteger o meio ambiente. Este evento também contou com a participação ativa da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), que se envolveu nas negociações com o objetivo de implementar ações específicas para reduzir as emissões de GEE (CNA, 2022; Secretaria de Governo da Presidência da República, 2022).

Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente, constata-se um desalinhamento entre os compromissos brasileiros de redução de GEE e as metas estabelecidas no Acordo de Paris, com o país registrando um aumento nas emissões. Diante disso, é importante que o Brasil intensifique seus esforços, focalizando na redução do desmatamento e nas emissões de CH<sub>4</sub> na atmosfera. Além disso, é crucial a implementação de práticas agrícolas de baixo C, como uma estratégia eficaz para atingir as metas propostas (IEMA, 2022). Como, evitar o revolvimento do solo, utilizar plantas para cobertura, implementar sistemas integrados, como a integração da lavoura e pecuária (ILP), lavoura, pecuária e floresta (ILPF), sistema plantio direto (SPD), são medidas eficazes nesse sentido, pois funcionam como verdadeiros depósitos de CO<sub>2</sub>, promovem melhoria na qualidade do solo e conseqüentemente benéficos indiretos relacionados à conservação do solo, ciclagem de nutrientes e no acúmulo de matéria orgânica (BESEN et al, 2018; SOUSA et al., 2021; CARVALHO et al., 2023).

Diante dessa situação, é essencial obter um conhecimento consistente sobre as técnicas de manejo do solo, a fim de assegurar uma aplicação e gestão eficientes na captura dos gases, com o objetivo de diminuir as emissões e lidar com os efeitos causados pelo fenômeno recentemente chamado de “ebulição global” (ARTAXO, 2023).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Neste estudo, objetivou-se analisar e compreender a influência do manejo do solo no contexto brasileiro através de estratégias eficazes para mitigar e promoção da sustentabilidade dos gases de efeito estufa, a fim de contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais responsáveis e alinhar com a conservação ambiental.



## 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as práticas atuais de manejo do solo no Brasil, identificando suas contribuições para as emissões de gases de efeito estufa.
- Verificar a eficácia das políticas públicas e incentivos para a adotar práticas de manejo do solo sustentáveis no contexto brasileiro.

## 3 METODOLOGIA E TÉCNICAS DE PESQUISA

Este estudo envolve obter informações de fontes secundárias, usando uma abordagem de revisão sistemática da literatura. Para encontrar os artigos relevantes, realizou-se uma busca, dos últimos dez anos (2013-2023) em bases de dados importantes como Science Direct, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar e o Repositório Institucional da Universidade de Brasília. Além disso, foi utilizado websites de instituições renomadas, incluindo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA), a Organização das Nações Unidas (ONU) e fontes de dados fornecidos pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas.

Os critérios de inclusão foram delineados para assegurar a seleção de estudos relevantes à temática proposta nesta pesquisa, enquanto, os critérios de exclusão foram estrategicamente estabelecidos com o intuito de descartar estudos que não estivessem alinhados com os objetivos e escopo da revisão. Foram englobados na análise estudos que investigassem as emissões de GEE em diferentes grandes regiões do Brasil, abrangendo estratégias que demonstrassem impacto positivo na mitigação dessas emissões. Além disso, foram incorporados estudos que comparassem práticas de agricultura de conservação com aquelas relacionadas às práticas convencionais de uso do solo.

Adicionalmente, a revisão contemplou estudos que avaliassem as políticas públicas associadas ao manejo e conservação do solo no contexto brasileiro. Essa inclusão visou proporcionar uma abordagem abrangente, considerando não apenas as práticas no nível micro, mas também compreendendo a influência regulamentar nas estratégias de mitigação de GEE. Dessa maneira, a seleção criteriosa dos estudos buscou consolidar uma base robusta de evidências capaz de contribuir significativamente para a compreensão e avanço do

conhecimento no campo do manejo sustentável do solo e suas implicações na redução das emissões de GEE no cenário brasileiro.

Na indexação dos termos foi selecionada a busca em “título”, “resumos” e “palavra-chave” e um total de 237 documentos foram detectados. Para refinar esta pesquisa e excluir documentos que não abordavam, foi utilizado um conjunto diferente de termos (buscadores booleanos): “Mudanças Climáticas e GEE”, “Solo e Carbono”, “Manejo do solo e GEE”, “Práticas de Conservação do Solo no Brasil”, “GEE e Impacto Ambiental”, “Sistema de Plantio Direto e C-org”, “ILPF e Estoque de Carbono”, “Práticas Convencionais de Manejo do Solo e Impactos”, “Práticas Edáficas e Conservação do Solo”. A estratégia utilizada visou encontrar um conjunto maior de artigos dentro dos critérios estabelecidos, de forma transparente e rigorosa fornecendo a metodologia para revisão da literatura existente.

A abordagem analítica dos estudos cuidadosamente escolhidos foi conduzida de maneira minuciosa e descritiva, visando mesclar o acervo de conhecimento gerado em torno da temática investigada durante o processo de revisão bibliográfica.

## **4 DESENVOLVIMENTO**

### **4.1 Gases de efeito estufa e aquecimento global**

O fenômeno conhecido como efeito estufa caracteriza-se pelo incremento da temperatura atmosférica, resultado do acúmulo de gases, em destaque o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (ZEIN & CHEHAYEB, 2015). Esses gases têm a função de capturar a energia solar, o que resulta no aquecimento da Terra e causa várias mudanças químicas e físicas no ambiente natural (LUCON, 2022). Nos últimos anos, a demanda crescente por alimento, eletricidade, transporte e outras necessidades humanas, têm promovido o aumento das emissões de GEE. (NADEAU et al., 2021).

Na tabela 1, pode-se visualizar os gases responsáveis pelo efeito estufa, acompanhados das fontes nas quais essas emissões têm origem. Segundo Nadeau et al. (2021), o aumento do desmatamento compromete a capacidade da Terra em absorver o CO<sub>2</sub>, impactando diretamente na capacidade de cada gás em reter a radiação solar, o que define seu potencial de aquecimento global. Em consonância, Zein e Chehayeb (2015) afirmam, em seu estudo, que o acúmulo crescente desses gases na atmosfera intensifica a absorção da energia solar, resultando em um aumento significativo do aquecimento global do planeta. Portanto, compreender essas interações é crucial para implementar estratégias efetivas de preservação ambiental e redução

das emissões de GEE, tais como redução do desmatamento; uso de sistemas agrícolas sustentáveis; reflorestamento e conservação de vegetação nativa.

**Tabela 1.** Fontes de emissão de gases de efeito estufa. Fonte: Elaborado pelo autor com base em Nações Unidas, 2019; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022

GEE	Fontes de Emissão
CO <sub>2</sub>	Queima de combustíveis fósseis Desmatamento florestal Combustão de produtos derivados do petróleo Processos industriais Agropecuária
CH <sub>4</sub>	Desmatamento e limpeza de terras para agricultura e pastagem Extração, produção e distribuição de combustíveis fósseis
N <sub>2</sub> O	Queima de biomassa e combustíveis fósseis Queima de resíduos agrícolas

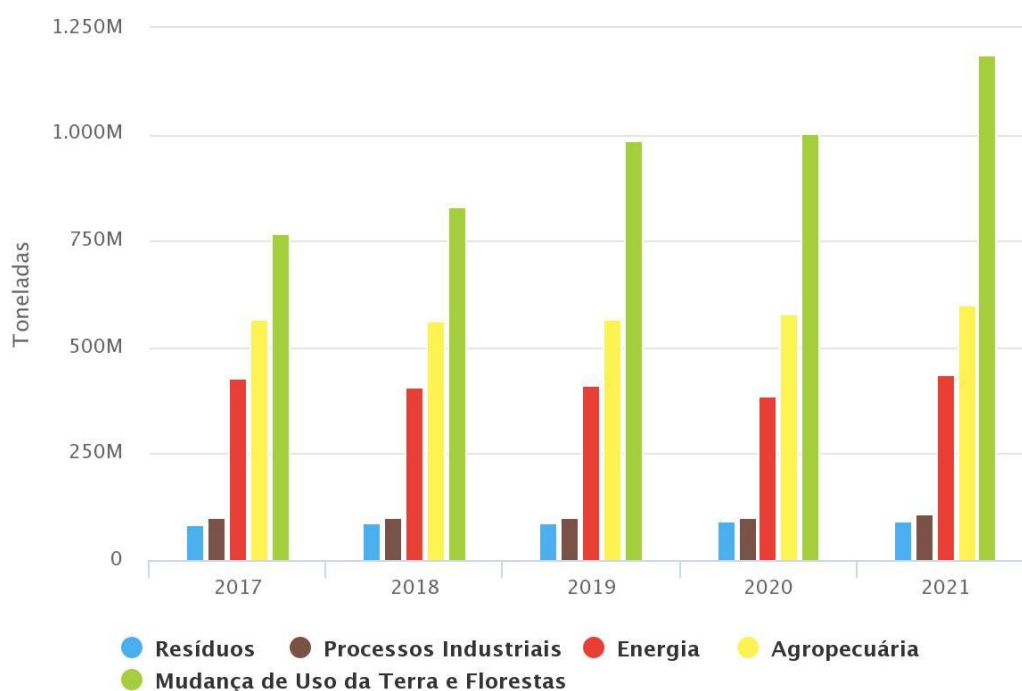
Em 1992, como um esforço para conscientizar a relevância das questões relacionadas às mudanças climáticas, a Organização das Nações Unidas (ONU) promulgou a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Não se limitando a isso, a ONU complementou essa ação ao incorporar o Protocolo de Quioto à convenção em 1997 e, posteriormente, ao introduzir o Acordo de Paris em 2016. Esses documentos foram concebidos com o objetivo fundamental de mitigar as emissões de GEE e reduzir os prejuízos ambientais associados a essas emissões (ZHUMADILOVA, ZHIGITOVA, TURALINA, 2023). A trajetória delineada pelos documentos reflete o reconhecimento gradual da comunidade internacional sobre a complexidade e a gravidade das mudanças climáticas. Contudo, é importante considerar o impacto efetivo desses instrumentos e como eles podem ser aprimorados para enfrentar os desafios atuais.

O Brasil desempenha um papel fundamental nas negociações sobre as mudanças climáticas, devido à sua matriz energética centrada em recursos naturais e ao reconhecimento internacional de suas pesquisas científicas, exemplificadas pela Embrapa. No entanto, o país enfrenta desafios significativos quando se trata de suas consideráveis emissões de CO<sub>2</sub>, sendo necessário se adaptar aos impactos adversos dessas mudanças climáticas (CASTRO, 2017).

Na análise apresentada na figura 1, pode-se examinar a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida no Brasil no período de 2017 a 2021. A coloração verde representa as emissões desse gás decorrentes da mudança no uso da terra e do desmatamento, enquanto a tonalidade vermelha indica as emissões provenientes do setor energético. A cor marrom está associada às emissões resultantes de processos industriais, enquanto a amarela destaca as emissões de CO<sub>2</sub> originadas

pela atividade agropecuária. É evidente que as mudanças de uso da terra e florestas têm o maior índice de emissões de CO<sub>2</sub> e com isso pode-se inferir que o aumento populacional junto com a demanda alimentícia é um fator associado a esse incremento nas emissões ao longo dos anos.

Os dados foram obtidos pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e revelam um aumento expressivo nas emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil ao longo do período analisado, atingindo um pico em 2021 devido principalmente às alterações no uso da terra (agricultura, remoção de cobertura vegetal, energia e desmatamento). Essa tendência destaca desafios significativos no controle das emissões de GEE pelo país, suscitando preocupações quanto às possíveis ramificações adversas para o meio ambiente e a saúde pública. A constatação dessas dificuldades reforça a necessidade urgente de estratégias eficazes e políticas ambientais mais robustas para reverter ou mitigar esse padrão preocupante de aumento nas emissões.



**Figura 1.** Total de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, no período de 2017 a 2021. Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

#### 4.1.1 Trilhando o tempo: Uma jornada pela cronologia das Conferências das Partes (COPs) e principais acordos para o caminho de um futuro sustentável

A Conferência das Partes (COP) representa um órgão essencial instituído em 1992, como parte integrante da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

(UNFCCC, acrônimo em inglês). A missão fundamental da COP consiste em promover encontros internacionais com o propósito de deliberar e negociar estratégias globais voltadas para a abordagem da complexa problemática das mudanças climáticas (COLARES e TOROCO, 2019; ŽIVKOVIĆ, 2019).

Em 1995, ocorreu em Berlim a primeira Conferência das Partes (COP 1), contando com a representação de 117 países. A conferência destacou o aumento das concentrações de GEE na atmosfera, mesmo com as medidas sustentáveis adotadas pelos países desenvolvidos. Isso resultou na criação do Mandato de Berlim, um acordo entre várias nações com o objetivo de implementar ações para reduzir as emissões de GEE (CONCEIÇÃO et al, 2019; CETESB, 2020).

Diante da constatação de que as metas propostas pelos países desenvolvidos não eram suficientes para alcançar os objetivos de longo prazo, emergiu a necessidade de conceber um protocolo abrangente entre as nações participantes. Foi então, durante a COP3, realizada em 1997 na cidade de Quioto, apresentado o Protocolo de Quioto, considerado um marco significativo nas negociações sobre as mudanças climáticas (CETESB, 2020).

Anos depois, aconteceu a COP6 que se desdobrou em duas fases, com a primeira ocorrendo em 2000, na cidade de Haia, onde debates políticos foram centrados, sobretudo, em uma proposta dos Estados Unidos. Essa proposição visava reconhecer áreas agrícolas e florestais como sumidouros de C, implicando que essas regiões teriam a capacidade prática de absorver C da atmosfera. A fase final da conferência testemunhou a rejeição, pelos países da União Europeia, de uma proposta de compromisso, resultando no insucesso das negociações (CETESB e PROCLIMA 2020).

Em 2001, as negociações foram retomadas em Bonn, instaurando um período de incertezas após os Estados Unidos renunciarem ao Protocolo de Quioto. Essa decisão lançou dúvidas sobre a continuidade tanto do Protocolo quanto da COP. Contudo, a COP6 não só ultrapassou as expectativas, mas também se destacou por garantir efetivamente a continuidade do Protocolo de Quioto. O êxito alcançado na segunda edição da sexta Conferência das Partes resultou de um acordo que envolveu concessões para conciliar os interesses conflitantes entre os países. Um exemplo notável dessas concessões foi a aceitação da utilização de sumidouros de C (sinks) para gerar créditos destinados aos países do Grupo Umbrella 20, assegurando, assim, a permanência deles no Protocolo de Quioto (CETESB e PROCLIMA 2020).

No âmbito mais recente, em 2015, ocorreu a COP 21 em Paris, as negociações centraram-se no histórico Acordo de Paris, representando um avanço na diplomacia climática

como o primeiro acordo universal legalmente vinculativo sobre o clima em duas décadas. O propósito central do Acordo foi conter o aumento da temperatura global no século 21, estabelecendo metas ambiciosas de manter o incremento abaixo de 2°C e, de forma ainda mais aspiracional, limitá-lo a menos de 1,5°C (UNFCC, 2015).

Para atingir esses objetivos, o acordo delineou estratégias e metas abrangentes, abarcando desde a promoção de tecnologias avançadas até a implementação de uma estrutura de resposta mais eficiente e transparente. Além disso, enfatizou o aumento da conscientização pública sobre questões ambientais e propôs um suporte financeiro às nações em desenvolvimento. Este marco representou um comprometimento global na mitigação dos impactos das mudanças climáticas e evidencia a importância da cooperação internacional para enfrentar os desafios ambientais (UNFCC, 2015).

Posteriormente, na COP 26 realizada em Glasgow em 2021, diversos governos se reuniram com o propósito de acelerar a implementação do Acordo de Paris, ressaltando a necessidade de alcançar a neutralização do C. Assim, resultou na criação do Pacto pelo Clima de Glasgow, um documento que consolida as diretrizes consensuais de ação política adotadas por todas as nações participantes. Esse pacto abarca compromissos significativos, estabelecendo uma base sólida para a cooperação internacional e delineando as responsabilidades compartilhadas na busca por soluções eficazes para os desafios climáticos (UNFCC, 2021).

Na COP27, última conferência realizada até o momento, em 2022, em Sharm el-Sheikh, o foco central foi a implementação das metas discutidas na conferência precedente, estabelecendo um roteiro estratégico para a transição energética e a redução das emissões de GEE. Essa abordagem pragmática na execução das diretrizes estabelecidas anteriormente destaca a crucial necessidade de ações concretas diante dos desafios climáticos, principalmente em países mais vulneráveis. A ênfase específica na transição energética e na redução de emissões sublinha a urgência de medidas tangíveis e eficazes para atingir metas ambientais (UNFCC, 2023).

No cenário de 2023, a antecipação se volta para a 28ª Conferência das Partes em Dubai, com a expectativa de que todas as ações discutidas em conferências anteriores se materializem, considerando que muitas negociações permaneceram apenas no papel. A perspectiva é de que as discussões na COP se concentrem novamente no Acordo de Paris, visando primordialmente limitar o aumento da temperatura do planeta. Esta conferência, portanto, representa uma

oportunidade crítica para traduzir compromissos em ações efetivas e concretas, diante da urgência de enfrentar as mudanças climáticas (ENGIE, 2023).

De fato, estamos testemunhando uma alteração no ciclo climático global e o consumo desenfreado dos recursos naturais pela humanidade, que resultou em um rápido aumento de 1,25 graus Celsius na temperatura do planeta, destacando o aquecimento global como a principal preocupação atualmente (ONU, 2022; NOAA, 2023).

#### **4.2 O solo como reservatório e fonte de GEE**

A qualidade do solo, quando sujeita a impactos antrópicos, como desmatamento, práticas agrícolas intensivas e degradação, apresenta uma tendência preocupante em direção à desertificação. Além disso, há uma propensão significativa para a liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, intensificando os desafios associados às mudanças climáticas. (GOMES e CARDOSO, 2021). Contrariamente, quando submetido a processos de reflorestamento e restauração de qualidade, o solo adquire a notável capacidade de capturar esse gás, destacando a relevância de práticas sustentáveis para mitigar as emissões de C e promover a saúde ambiental. Essa interação complexa entre o solo e as atividades humanas destaca a necessidade de estratégias de manejo sustentável do solo como parte integrante dos esforços para combater as mudanças climáticas (RICHTER, LARA; ANDREAZZA, 2021).

Solos não cultivados, têm um estoque estável de C orgânico (C-org), sendo que esse equilíbrio é resultado da harmonização entre a absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico pelo solo (mediada pelas plantas) e a liberação controlada de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera por meio da decomposição microbiana (BATISTA et al, 2013). Entretanto, ao introduzir práticas de cultivo no solo, ocorrem alterações significativas nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Nesse contexto, é comum observar uma redução no estoque de C-org do solo e este fenômeno se manifesta devido ao aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (efluxo), concomitantemente à diminuição na entrada de carbono fotossintetizado no solo (influxo) (COSTA et al, 2006).

A agricultura de baixa emissão de carbono representa uma abordagem inovadora e sustentável para a produção de alimentos, focada na mitigação das emissões de gases de efeito estufa associadas às práticas agrícolas convencionais. Este paradigma agrícola prioriza métodos que reduzem a pegada de carbono, como a adoção de técnicas de cultivo conservacionistas, agroecologia e integração de sistemas agroflorestais. Além disso, o manejo eficiente dos resíduos agrícolas, a utilização de tecnologias de precisão e a promoção de práticas de

agricultura regenerativa são elementos centrais dessa abordagem. Ao minimizar o uso de insumos químicos, otimizar o uso da terra e promover a biodiversidade nos ecossistemas agrícolas, a agricultura de baixa emissão de carbono não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também promove a resiliência do sistema alimentar diante das mudanças climáticas, proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para os agricultores (TELLES, VIEIRA, RIGHETTO; RIBEIRO, 2021).

Em um estudo conduzido pela Embrapa Meio Ambiente e a Embrapa Solos (2021), evidenciou-se que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, especificamente o SPD, desempenha um papel significativo no incremento do estoque de C no solo. Este efeito positivo se deve ao fato de o SPD preconizar a não perturbação do solo, contribuindo assim para a retenção e armazenamento mais eficazes de C no ambiente edáfico (FILIZOLA et al, 2021).

A manutenção da matéria orgânica no solo é crucial para o estoque de carbono orgânico, influenciando positivamente a saúde e sustentabilidade do solo. A constante renovação da matéria orgânica, composta por resíduos de plantas e organismos em decomposição, eleva o estoque de carbono orgânico, essencial na mitigação das mudanças climáticas ao atuar como reservatório estável de carbono. Além disso, essa prática melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água e nutrientes, e estimula a atividade microbiana benéfica. (SILVA et al., 2020; SOUZA, FREITAS e GALVÃO, 2023).

Diversos processos desempenham um papel fundamental no incremento de carbono nos solos: a humificação transforma os resíduos orgânicos em substâncias húmicas (húmus), contribuindo para o acúmulo de C no solo; a agregação envolve a formação de agregados no solo, nos quais partículas minerais se entrelaçam com substâncias orgânicas, criando estruturas mais estáveis que propiciam o incremento de carbono; a sedimentação refere-se ao fenômeno em que as partículas em suspensão no solo são depositadas em áreas mais baixas (rios e lagos), podendo o C se unir a essas partículas, ampliando a capacidade de armazenamento de C no sedimento (MACHADO, 2005; DAI et al, 2022; JENSEN e LAURSEN, 2023).

Esses processos interligados, são cruciais para a compreensão e aprimoramento das estratégias de manejo do solo visando a mitigação das mudanças climáticas. O reconhecimento da interação entre humificação, agregação e sedimentação fornece uma base sólida para a implementação de práticas sustentáveis que potencializem o sequestro de carbono nos solos, fortalecendo, assim, os esforços em prol da sustentabilidade ambiental (MEYER, 2020).

O processo de perda de carbono no solo é influenciado por diversos fatores, a erosão caracteriza-se pelo processo de transporte de partículas do solo, impulsionado por agentes

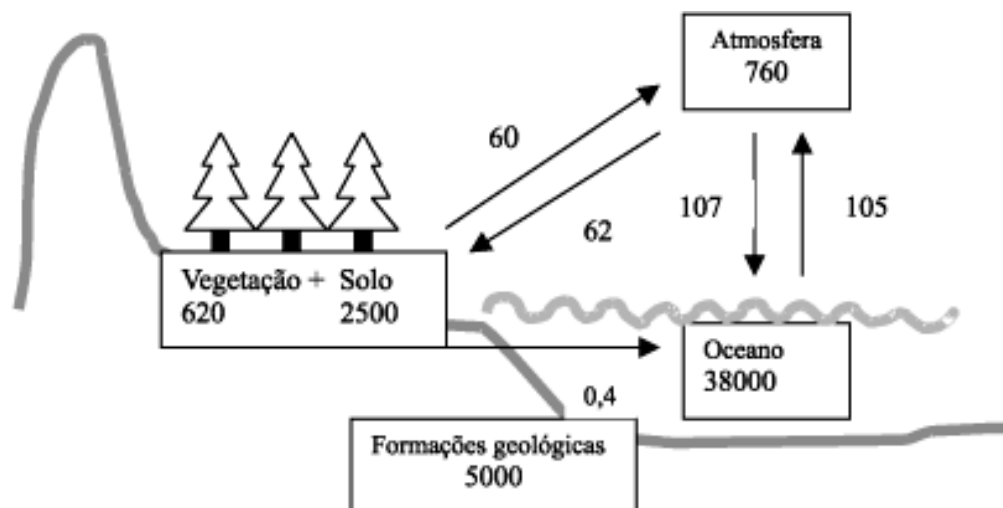


naturais (água, vento, geleira e gravidade), resultando em perdas significativas de C; na decomposição, a matéria orgânica se decompõe liberando CO<sub>2</sub>, contribuindo para dinâmica do C no solo e na atmosfera; a volatilização, implica na conversão de compostos orgânicos em gases voláteis (CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O), que ao seres liberados na atmosfera podem influenciar o balanço deGEE; e por fim a lixiviação que se refere a dissolução e remoção de nutrientes solúveis do solo para camadas mais profundas ou corpos d'água. Essa perda de C solúvel contribui para a degradação da qualidade do solo (MACHADO, 2005; TEIXEIRA et al, 2012; SOUSA et al, 2016; PINTO, 2023; ASENSIO, 2023).

#### **4.2.1 Ciclo global do carbono**

O carbono é um elemento de fundamental importância, revelando-se não apenas abundante, mas também intrinsecamente ligado à constituição química de dois dos principais gases de efeito estufa: o metano e o dióxido de carbono. Essa estreita associação com os principais componentes responsáveis pelo fenômeno do aquecimento global destaca a centralidade do C no contexto ambiental, sendo vital para o desenvolvimento de estratégias eficazes visando a sustentabilidade do planeta (CAMPOS, 2001).

Segundo Campos (2001), o ciclo global do C (Figura 1) é um processo vital que abrange a circulação do carbono entre a atmosfera, os oceanos, a litosfera e a biosfera, desempenhando um papel crucial na manutenção do equilíbrio ambiental e na sustentação da vida na Terra. Além disso, ele afirma que as plantas são peças fundamentais nesse ciclo, absorvendo CO<sub>2</sub> da atmosfera durante a fotossíntese e convertendo-o em compostos orgânicos, liberando oxigênio como subproduto. A respiração dos seres vivos, a morte e a decomposição também liberam CO<sub>2</sub>, enquanto parte do carbono atmosférico é dissolvida nos oceanos, contribuindo para a formação de conchas e sedimentação no fundo marinho (CAMPOS, 2001; MARTINS et al 2003, p. 28 - 41). A litosfera, por sua vez, desempenha um papel essencial ao liberar íons carbonatos por meio do intemperismo das rochas, e processos geológicos de longo prazo (sedimentação e formação de rochas sedimentares), armazenando grandes quantidades de carbono, sendo essa reserva podendo retornar à atmosfera por atividades geológicas como o vulcanismo (BESSA, 2019).



**Figura 2.** Ciclo global do carbono em diferentes compartimentos (medidas em Pg C).  
Fonte: MACHADO (2005)

As mudanças no ciclo do carbono são importantes para entender as implicações ambientais do manejo do solo, especialmente em contextos agrícolas. Ao compreender como as práticas de cultivo influenciam as trocas de CO<sub>2</sub>, é possível estabelecer estratégias mais sustentáveis visando a preservação dos estoques de carbono orgânico e mitigação das emissões de GEE (COSTA et al, 2006; MACENA, 2022).

#### 4.2.2 Influência dos microrganismos no estoque de c-org no solo

Os microrganismos, como bactérias e fungos, desempenham um papel crucial na dinâmica do c-org, pois influencia no seu estoque de maneira significativa, o qual participa ativamente nos processos de decomposição da MO ao liberar CO<sub>2</sub> durante a mineralização. Além disso, contribuem para a formação de c-org estável ao sintetizar e estabilizar compostos no solo. Microrganismos decompositores fragmentam resíduos orgânicos e liberam CO<sub>2</sub> na atmosfera, mas parte desse carbono se converte em substâncias complexas. Adicionalmente, microrganismos formadores de micélio, como os fungos micorrízicos, associam-se às raízes das plantas, facilitando a transferência de carbono fixado para o solo, contribuindo para a formação da MO (MORENO PIRES et al., 2023).

O envolvimento dos micróbios na decomposição metabólica da matéria orgânica resulta na liberação de componentes de carbono ativado e nitrogênio reativo, destacando seu papel regulatório nos ciclos carbono-nitrogênio. A composição da comunidade microbiana correlaciona-se com fatores como carbono orgânico dissolvido, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrito e nitrito, evidenciando a influência dos microrganismos na ciclagem desses elementos e no metabolismo do carbono e do nitrogênio reativo. A variação na composição

microbiana em diferentes habitats de áreas úmidas construídas pode impactar os ciclos dos elementos do solo. Por exemplo, diferenças na abundância das funções de nitrificação e desnitrificação entre habitats, como plantas e solo nu, contribuem para variações no conteúdo de nitrogênio inorgânico do solo. Assim, compreender essas interações microbianas é essencial para a gestão sustentável dessas áreas e para entender os processos que afetam a qualidade do solo (YAN et al., 2023).

#### **4.2.3 Manejo do solo e a influência nos gases de efeito estufa**

As práticas de manejo do solo podem influenciar nos processos que envolvem a mineralização da matéria orgânica (MO) e, conseqüentemente, na disponibilidade de nutrientes e de emissões de GEE, em especial, métodos como aração e gradagem, que são identificados como impulsionadores de perdas de MO por meio de mecanismos, incluindo fracionamento dos agregados do solo, com impacto direto nos estoques de C org. Além disso, aumentam a aeração do solo, estimulando a atividade microbiana e levando à liberação significativa de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O na atmosfera. A incorporação de resíduos culturais é destacada como um fator que intensifica a atividade microbiana sobre esses resíduos, potencialmente aumentando as perdas de MO. Por outro lado, a redução na cobertura do solo, deixando-o exposto à radiação solar, é um fator que aumenta a temperatura e reduz a umidade do solo, influenciando negativamente a conservação da MO (ESCOBAR, 2011).

As práticas de manejo de pastagens e sua relação com o aquecimento climático, quando combinadas com fertilização e gestão intensiva, podem acentuar as emissões de GEE, elevando o risco de um ciclo de retroalimentação climática (BARNEZE, 2022). Paralelamente, o uso de fertilizantes, sejam eles químicos ou orgânicos, influencia as propriedades físico-químicas dos solos, a abundância microbiana e os fluxos de nutrientes, tendo repercussões diretas nessas emissões (GALLEGO, 2022). Essa interação complexa entre práticas de manejo, aquecimento climático e uso de fertilizantes destaca a necessidade de abordagens sustentáveis para mitigar impactos ambientais e promover a gestão consciente dos recursos naturais (GALLEGO, 2022).

Diversas são as técnicas utilizadas para manejar o solo no Brasil, como plantio direto, rotação de culturas, sistemas de integração lavoura pecuária, lavoura-pecuária-floresta, preparo convencional (EMBRAPA, 2022).

O preparo convencional do solo é uma prática muito comum para lidar com plantas invasoras, a gradagem com grade niveladora é um exemplo clássico dessa estratégia. O intenso uso desse tipo de preparo, pode gerar sérios problemas na saúde do solo, podendo afetar

diretamente na sua MO, diminuindo a sua disponibilidade e aumentando o risco de erosão, principalmente hídrica. Já no cultivo mínimo, a preparação do solo é feita sob o uso de escarificadores e gradagem leve, ou seja, o solo é trabalhado de maneira menos agressiva em relação ao preparo convencional, com a possibilidade de mobilizar o solo apenas na linha de semeadura e o espaço entre as linhas livre de revolvimento (CERETTA e AITTA, 2010).

O sistema plantio direto, muitas vezes associado à Agricultura de Conservação, se destaca por sua habilidade em reduzir as intervenções prejudiciais no solo (MAPA, 2012). No Brasil, essa técnica foi inicialmente implementada em 1978 no estado do Paraná por Herbert Arnold Bartz, um agricultor de origem alemã, que a utilizou para o cultivo de soja. O êxito dessa abordagem na produção agrícola, juntamente com a redução de custos e a prevenção da erosão, despertou o entusiasmo de muitos agricultores. Consequentemente, na década de 80, cooperativas agrícolas começaram a adotar esse sistema como uma estratégia eficaz para mitigar as perdas de produtividade causadas pela erosão do solo na região do Paraná (OFSTEHAGE e NEHRING, 2021).

Na época, Bartz cursava agronomia na Universidade de São Paulo (USP) e após se formar, trabalhou como técnico em empreendimentos agrícolas e começou a promover o sistema de plantio direto no Paraná. Além de suas atividades práticas, Bartz foi um dos fundadores da Associação Brasileira de Plantio Direto (ABPD) em 1987, assumindo a presidência por muitos anos. Sua dedicação não se limitou apenas ao campo, pois ele também deixou uma marca duradoura na literatura agrícola, publicando diversos livros e artigos sobre o sistema de plantio direto, compartilhando seu conhecimento e experiência. Sua influência se estendeu por todo o país, já que ele ministrou cursos e palestras, contribuindo para a disseminação e adoção generalizada dessa prática inovadora (BORGES, 1997).

Herbert Bartz é reconhecido como o "pai" do sistema de plantio direto no Brasil, uma figura pioneira cuja visão e esforços foram fundamentais para a consolidação e aceitação dessa abordagem sustentável na agricultura brasileira. Sua contribuição singular e seu status como um dos principais especialistas na área destacam a importância do seu legado na promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente (SBCS, 2018).

As práticas edáficas desempenham um papel crucial na conservação do solo, visando preservar sua qualidade, estrutura e fertilidade. Diversas técnicas são empregadas para minimizar a erosão do solo, melhorar a retenção de água, promover a infiltração e reduzir a degradação. Uma prática comum é a adoção de sistemas de cultivo mínimo, que limitam o revolvimento do solo, preservando a cobertura vegetal e reduzindo a exposição do solo aos

agentes erosivos. A rotação de culturas é uma prática caracterizada pela alternância de culturas uma após a outra, pois diferentes plantas têm sistemas radiculares distintos, contribuindo para a estruturação do solo e reduzindo a compactação. Em outras palavras, ela utiliza a diversidade de culturas como um mecanismo para promover a sustentabilidade e a rentabilidade na produção (SACHETTI, 2020; CERETTA e AITTA, 2010; MATEUS et al., 2021).

O uso de controle de queimadas tem sua relevância, porém é uma técnica que deve ser evitada devido às consequências negativas que traz para o solo. Quando as queimadas são realizadas, ocorre a queima da matéria orgânica presente no solo, o que resulta na liberação de gases e na volatilização do nitrogênio, um elemento essencial para a fertilidade do solo. Esses processos contribuem para empobrecer o solo, tornando-o cada vez mais seco, compactado e carente em nutrientes (MATEUS et al., 2021). O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma abordagem integrada que procura otimizar a interação entre agricultura, pecuária e floresta, buscando benefícios interativos para o agroecossistema como um todo. Isso é feito considerando a harmonização de práticas que respeitam o meio ambiente, valorizam as condições de trabalho humano e garantem a sustentabilidade econômica do sistema de produção (REIS et al, 2020). Em recuperação de áreas degradadas, a ILPF entra como uma estratégia para contribuir na restauração da saúde e funcionalidade do solo, além de auxiliar na manutenção da cobertura florestal promovendo uma maior biodiversidade no solo (BALBINO et al, 2011).

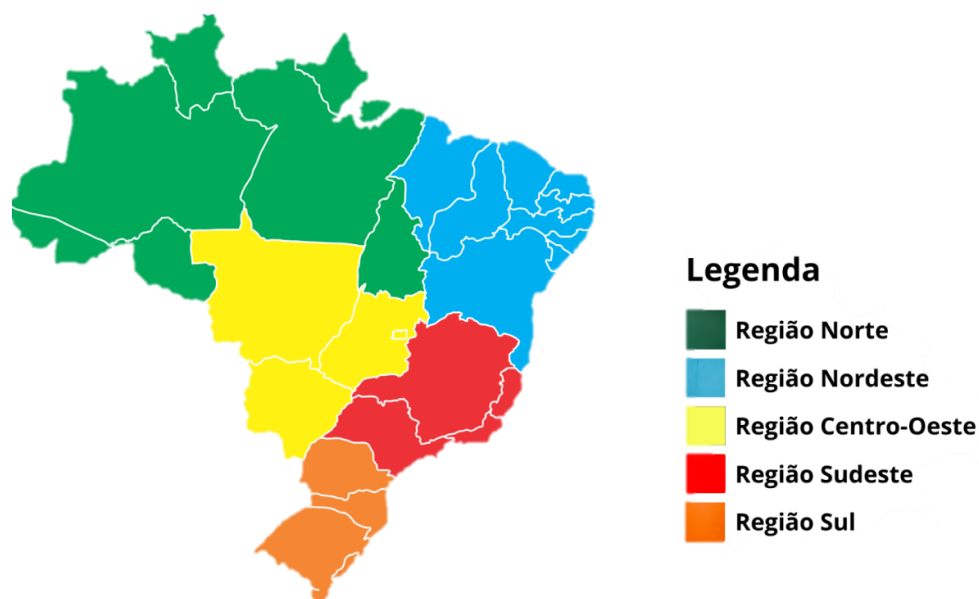
O estudo de Torres e Campos (2022), que visa identificar as megatendências da ciência do solo, identificou 10 ameaças físicas, químicas ou biológicas que afetam o manejo sustentável dos solos em áreas agrícolas, incluindo erosão hídrica e eólica, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, salinização, contaminação, acidificação, perda da biodiversidade, selamento superficial, compactação e inundação. A erosão hídrica destaca-se por ser um fenômeno complexo e considerado irreversível, quando atingido a capacidade máxima. Seu controle é crucial para o manejo sustentável dos solos, representando um desafio significativo para a conservação e uso eficiente do solo na agricultura (TORRES e CAMPOS, 2022). A construção de terraços em encostas íngremes é uma técnica antiga, mas eficaz, para controlar a erosão, criando degraus que reduzem a velocidade da água e impedem o carreamento do solo. (BASSANI, et al., 2023).

Os sistemas agroflorestais proporcionam uma abordagem integrada e sustentável para a agricultura. Nesses sistemas, árvores, arbustos e plantas herbáceas são cultivados na mesma área, resultando em benefícios significativos para a saúde do solo e o equilíbrio ambiental. Essas práticas atenuam a erosão do solo, já que as árvores e plantas perenes oferecem cobertura

constante, reduzindo a vulnerabilidade do solo aos impactos adversos das chuvas intensas. A decomposição contínua das folhas, galhos e biomassas das árvores contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, melhorando sua estrutura, capacidade de retenção de água e disponibilidade de nutrientes para as plantas. A diversidade de plantas nos sistemas agroflorestais promove uma eficiente ciclagem de nutrientes, com algumas espécies fixando nitrogênio atmosférico e enriquecendo o solo, enquanto outras absorvem nutrientes de camadas mais profundas e os disponibilizam para as plantas de superfície (MATA et al., 2022; LIMA DE OLIVEIRA et al., 2022).

### 4.3 Panorama de emissões das regiões brasileiras

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o território brasileiro é atualmente dividido em cinco grandes regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste (Figura 2). Essa demarcação foi realizada levando em consideração uma abordagem que engloba fatores econômicos, sociais, culturais e ambientais (Prefeitura de Goiânia, 2023).

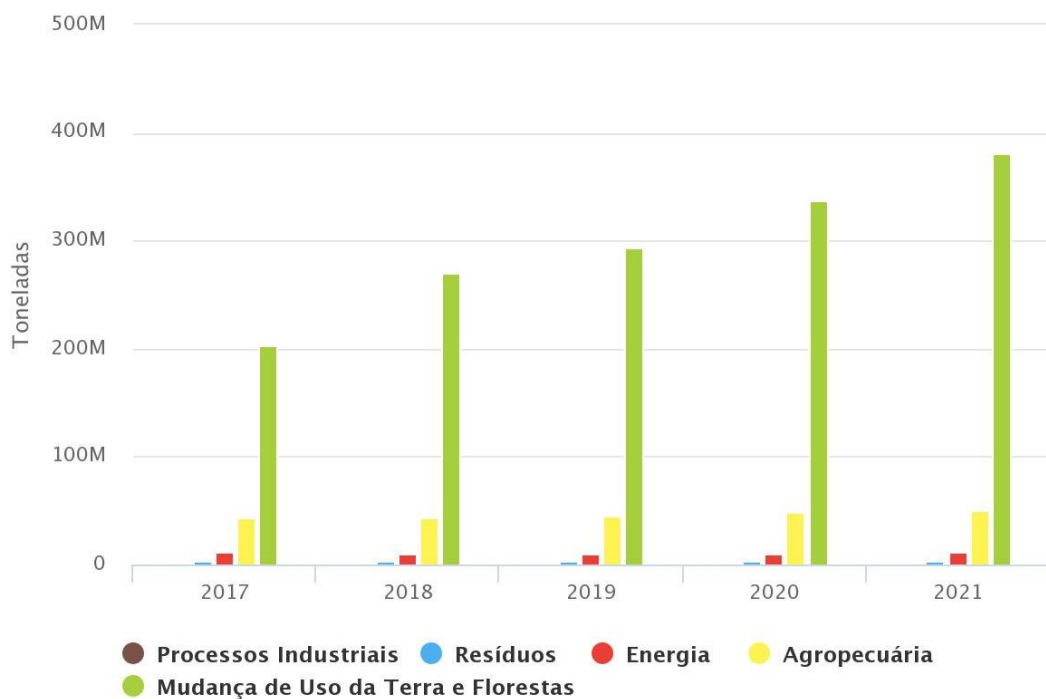


**Figura 3.** Mapa regional das 5 grandes regiões brasileiras. Fonte: Prefeitura de Goiânia, 2023

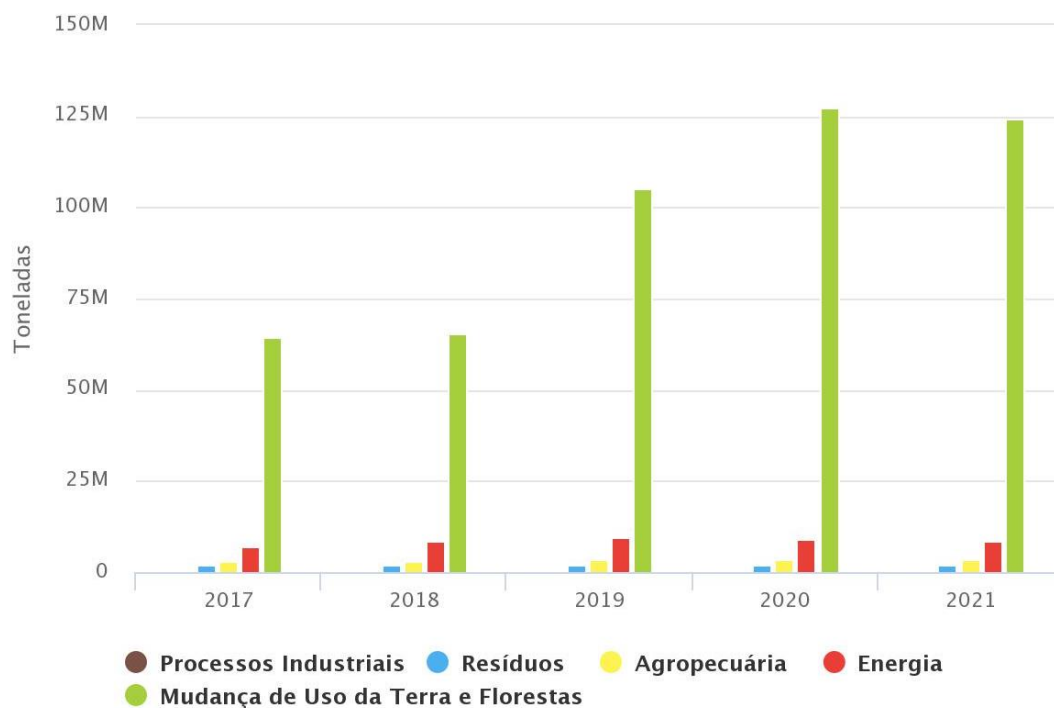
A região Norte, abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, apresenta uma significativa emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, principalmente em relação a mudanças de uso da Terra e florestas (SEEG, 2022). Conforme revelado pelos dados obtidos pelo Sistema de Estimativa de Emissão de Gases (SEEG) durante o período de 2017 a 2021, observou-se um aumento nas emissões de gases no Estado do Pará ao longo desses

anos, com um pico notável registrado em 2021 (Figura 4). Paralelamente, o Estado do Amazonas apresentou uma tendência semelhante de aumento nas emissões, sendo os anos de 2020 e 2021 marcados por números elevados de liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Figura 5).

Esses dados enfatizam a necessidade urgente de estratégias de mitigação e políticas ambientais eficazes para reverter ou conter esses padrões crescentes de emissões na região Norte. A conservação das florestas e o manejo sustentável dos recursos naturais devem ser priorizados para preservar não apenas a biodiversidade única da Amazônia, mas também para enfrentar desafios globais relacionados às mudanças climáticas (FAPESP, 2018).



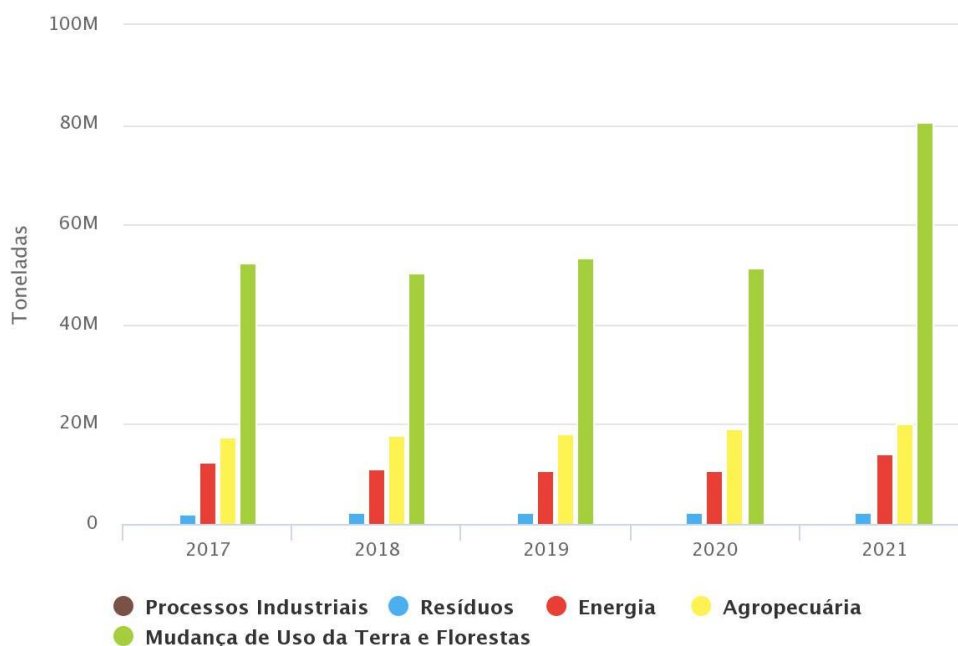
**Figura 4.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Pará no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022



**Figura 5.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Amazonas no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG

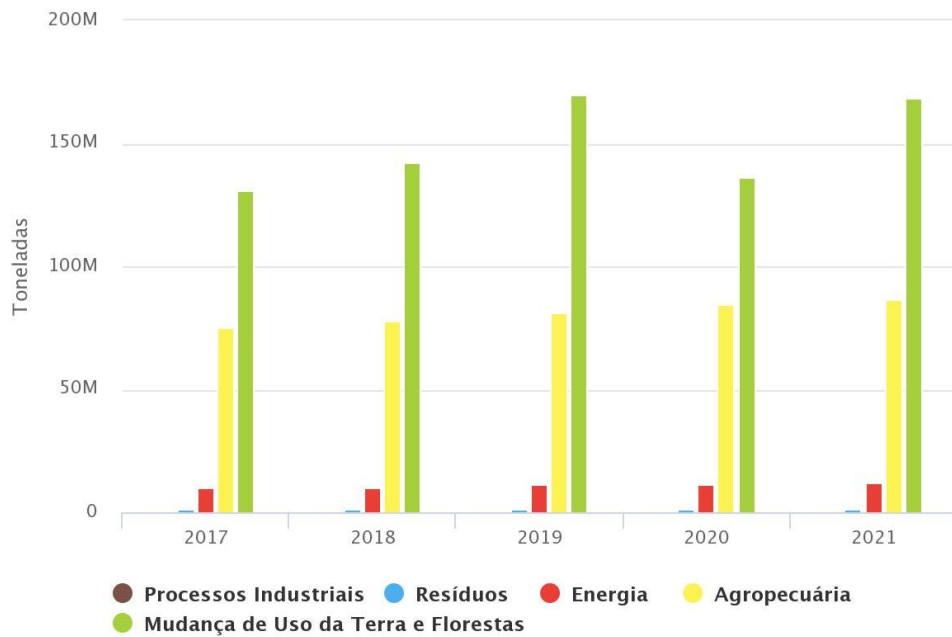
A região Nordeste é composta por nove estados, sendo o Maranhão destacado por apresentar os índices mais elevados de emissões de CO<sub>2</sub> na região. Os dados específicos de acordo com as categorias de fontes de emissões de CO<sub>2</sub>, nos anos de 2017 a 2021, são apresentados na figura 6, conforme registros do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG).



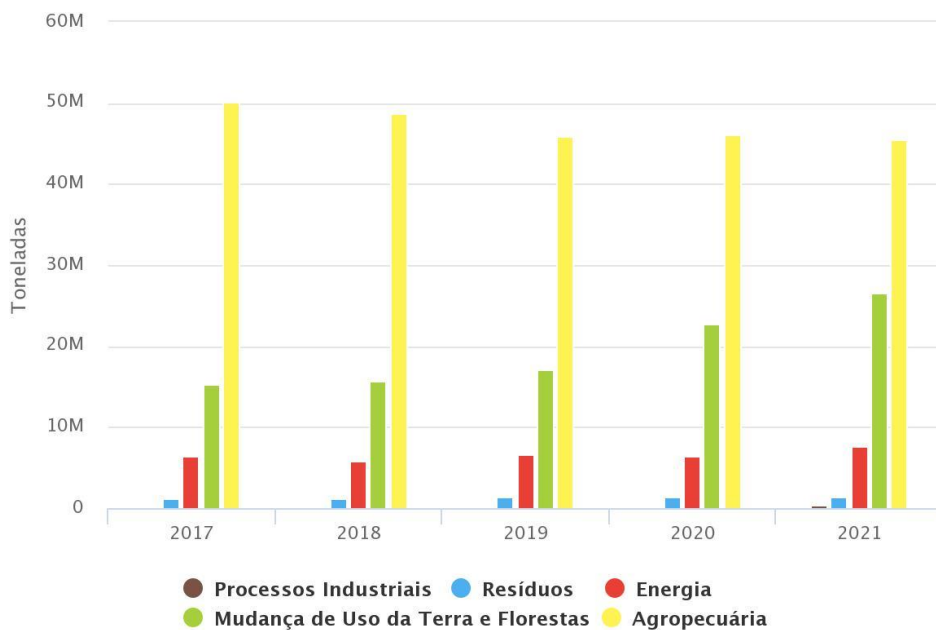


**Figura 6.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Maranhão no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022

A Região Centro-Oeste é composta por quatro estados: Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Notavelmente, os estados de Mato Grosso (Figura 7) e Mato Grosso do Sul (Figura 8) sobressaem-se devido aos elevados índices de emissões de CO<sub>2</sub>, fator atrelado principalmente em decorrência de mudanças no uso e cobertura da terra, incluindo impactos nas florestas, enquanto no Mato Grosso do Sul, as atividades agropecuárias são os principais impulsionadores dessas emissões. A prática de queimar áreas desmatadas para limpeza de terras e preparo para a agricultura ou pastagem é uma fonte significativa de emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, quando a vegetação é removida, o carbono armazenado no solo também pode ser liberado na atmosfera à medida que a MO se decompõe (QUINTAO et al., 2021; MILDREXLER et al., 2023).

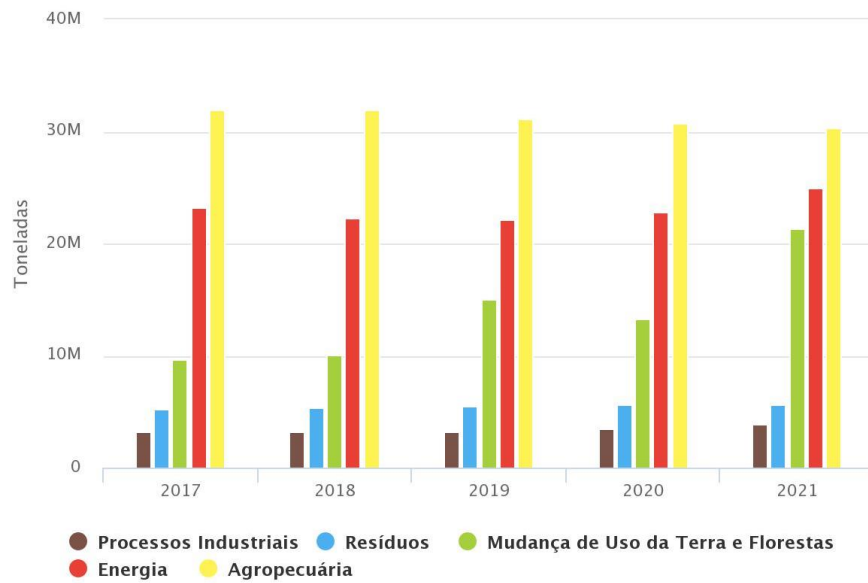


**Figura 7.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Mato Grosso no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG

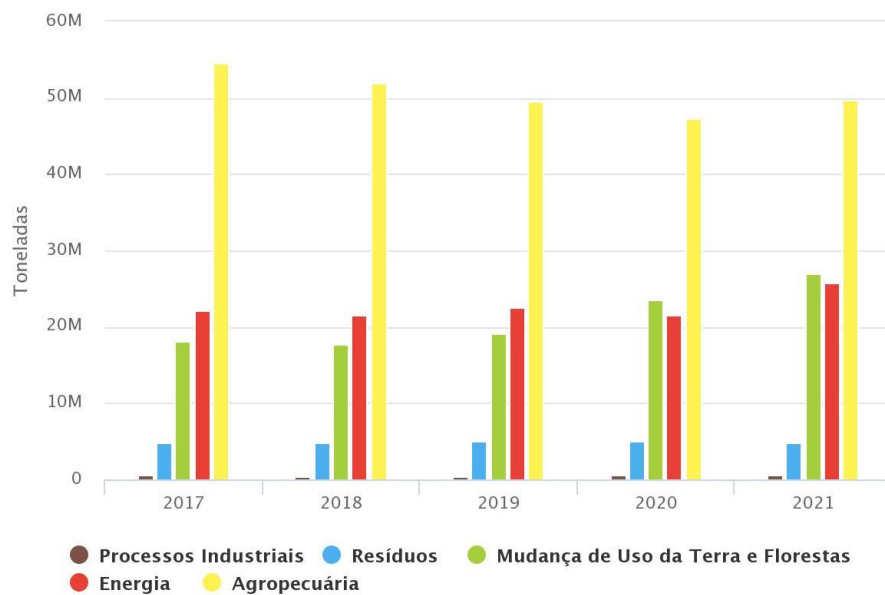


**Figura 8.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Mato Grosso do Sul no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022

Conforme os dados do SEEG (2022), as Regiões Sul e Sudeste registram as maiores emissões de CO<sub>2</sub> originadas da geração de energia. No entanto, destaca-se que os Estados do Paraná (Figura 9) e Rio Grande do Sul (Figura 10) exibem índices significativos provenientes do setor agropecuário.



**Figura 9.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Paraná no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022



**Figura 10.** Emissão de CO<sub>2</sub> no estado do Rio Grande do Sul no período de 2017 a 2021. Fonte: SEEG, 2022

Diante dos dados expostos, comparando as regiões abordadas, a Região Norte é onde se concentram as maiores emissões de GEE, em especial o CO<sub>2</sub>. Em seguida observa-se a Região Centro-Oeste como a segunda maior emissora de CO<sub>2</sub>. Esse cenário pode estar associado a diversos fatores, como o desmatamento, as mudanças no uso da terra e atividades relacionadas à exploração de recursos naturais. O aumento das emissões na Região Norte destaca a

necessidade de reforços nas políticas e práticas de sustentabilidade, visando mitigar os impactos ambientais e promover a preservação dos ecossistemas.

Além disso, chama a atenção o fato de a Região Centro-Oeste aparecer como a segunda maior emissora de CO<sub>2</sub>. Isso sugere que, apesar das características distintas das regiões, ambas enfrentam desafios significativos em relação às emissões de GEE. No caso da Região Centro-Oeste, as atividades agropecuárias podem estar desempenhando um papel crucial nesse contexto. Esses dados ressaltam a importância de estratégias específicas para cada região, considerando suas particularidades e desafios ambientais.

#### **4.4 Desafios e limitações**

Uma boa parte dos agricultores e proprietários de terras enfrentam desafios na compreensão da importância do manejo sustentável do solo e dos inúmeros benefícios associados a essa abordagem. A implementação de práticas agrícolas sustentáveis, de fato, demanda conhecimento especializado, bem como investimentos em equipamentos e treinamento. Essas barreiras de conhecimento e investimento, por sua vez, podem se mostrar especialmente limitantes para produtores com poucos recursos financeiros (CONCEIÇÃO et al, 2022; GURGEL e LAURENZANA, 2016).

Outro ponto crítico que merece destaque é a pressão sobre os agricultores para maximizar lucros a curto prazo. Isso decorre de diversas obrigações financeiras, como o pagamento de dívidas e a cobertura dos custos operacionais da propriedade. Nesse contexto, os agricultores frequentemente se veem compelidos a adotar práticas agrícolas que visam a otimização imediata da produção e dos rendimentos, incluindo o uso intensivo de fertilizantes, agrotóxicos e monoculturas. Contudo, tais práticas podem ter sérias implicações negativas para o solo, resultando em questões como erosão, compactação e perda de nutrientes ao longo do tempo (EMBRAPA, 2016).

A promoção do manejo sustentável do solo no Brasil enfrenta uma série de desafios que vão desde a conscientização e a capacitação até a pressão econômica de curto prazo e as mudanças climáticas. Abordar essas barreiras requer um esforço coordenado que envolva educação, políticas agrícolas, incentivos financeiros e a consideração das práticas tradicionais das comunidades locais (GURGEL e LAURENZANA, 2016; QUINTEIRO e BALDINI, 2018; CONCEIÇÃO et al, 2022).

#### 4.5 Políticas públicas brasileiras

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) é responsável por gerenciar as políticas públicas que incentivam o desenvolvimento da agropecuária (MAPA, 2023). O Ministério do Meio Ambiente e Mudanças do Clima (MMA) tem a missão de formular e implementar políticas públicas nacionais, buscando envolver diferentes setores da sociedade, como governos, ONGs, setor privado e cidadãos na elaboração e execução de ações que promovam desenvolvimento sustentável (MMA, 2013). De acordo com Wander, Tomaz e Pinto (2016), a interação entre esses dois ministérios, tem se tornado relevante devido a dois fatores principais: como as propriedades rurais no Brasil estão localizadas em áreas que compreendem os principais biomas do país, como a Amazônia, o Cerrado, a Mata Atlântica, entre outros, implica que a gestão ambiental nessas áreas está diretamente relacionada à preservação e sustentabilidade desses biomas, que desempenham um papel crucial na manutenção do equilíbrio ecológico; além disso a preocupação com a sustentabilidade ambiental, uma das principais prioridades tanto para a economia brasileira quanto para a economia mundial. Isso significa que as políticas e práticas relacionadas à agricultura e às propriedades rurais devem considerar os princípios da sustentabilidade, visando a conservação dos recursos naturais, a redução do impacto ambiental e o desenvolvimento sustentável. Tendo em vista apresentar normas legais em relação ao tema do presente estudo.

A Lei nº 6.938, de 1981, é um pilar fundamental da legislação ambiental brasileira, instituindo a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) com um enfoque na preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental em prol da vida. Essa legislação é alicerçada em princípios essenciais, destacando-se o comprometimento com o desenvolvimento sustentável, a promoção da cooperação entre as esferas governamentais, o engajamento da comunidade, bem como a adoção de medidas preventivas e precautelares. No que concerne aos instrumentos de implementação, a Lei delineia uma abordagem abrangente, apresentando mecanismos importantes para atingir seus objetivos. Entre esses instrumentos, destacam-se o licenciamento ambiental, ferramenta essencial para regulamentar atividades potencialmente impactantes, o zoneamento ambiental, a avaliação de impacto ambiental, bem como os dispositivos de controle e fiscalização voltados para atividades que possam gerar poluição ou degradação ambiental. É relevante ressaltar que a Lei não apenas estabelece diretrizes, mas também institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), congregando órgãos como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e as instâncias estaduais e municipais, fortalecendo a gestão ambiental em diferentes esferas.

Ao longo do tempo, a Lei nº 6.938/1981 consolidou-se como um marco significativo na promoção do equilíbrio entre desenvolvimento e preservação, exercendo considerável influência nas políticas públicas relacionadas ao meio ambiente no Brasil. Seu impacto transcende as fronteiras legais, permeando a conscientização social e as práticas ambientais, contribuindo assim para uma abordagem mais sustentável e responsável em relação aos recursos naturais do país. Já a Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991, é uma legislação que institui a Política Agrícola no Brasil e tem por objetivo estabelecer diretrizes e instrumentos visando promover o desenvolvimento sustentável da agricultura, a melhoria das condições de vida da população rural e a garantia de abastecimento de alimentos. Dentre os instrumentos necessários para a implementação dessa política incluem o crédito rural, o seguro agrícola, a pesquisa e a assistência técnica (MAPA,2017).

O crédito rural estabelece diretrizes, visando facilitar o acesso dos agricultores a recursos financeiros para o desenvolvimento de suas atividades, incentivando a criação de linhas de crédito especiais e condições favoráveis para setores específicos (EMBRAPA, 2018). O seguro agrícola, entra como mecanismo de proteção contra perdas decorrentes de eventos climáticos, pragas e doenças (MAPA, 2023). A assistência técnica e extensão rural, vem com a finalidade de trazer melhorias na produção agrícola, oferecendo suporte técnico aos agricultores (MAPA, 2018). A pesquisa agropecuária é um ponto fundamental para o desenvolvimento tecnológico do setor, promovendo a inovação e a adoção de práticas sustentáveis (EMBRAPA, 2022). Em relação ao zoneamento agroecológico, considera as características específicas de cada região para orientar o uso sustentável da terra e dos recursos naturais (SEMADESC, 2017). Em suma, essa lei é parte importante do arcabouço legal que orienta as políticas e ações voltadas para o setor agrícola no Brasil, buscando conciliar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade e o bem-estar da população rural (WANDER, TOMAZ e PINTO, 2016).

O Decreto nº 77.775, de 1976, tem como finalidade regulamentar a execução da Lei nº 6.225, de 1975, que se baseia na discriminação, realizada pelo MAPA, de regiões que são obrigadas a implementar planos específicos destinados à proteção do solo e ao combate à erosão, além prevê outras medidas necessárias para a efetiva aplicação da lei. Essas iniciativas visam assegurar a preservação do solo e a sustentabilidade nas áreas agrícolas, reconhecendo a importância de práticas que promovam o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais. O MAPA, por meio dessa legislação e seu decreto regulamentador, assume a responsabilidade de identificar as regiões que demandam ações prioritárias para prevenir danos ao solo e combater a erosão.

A promulgação da Lei nº 12.651, em 2012, conhecida como o "Novo Código Florestal" no Brasil, marcou uma significativa transformação na legislação ambiental do país. Este código, segundo a EMBRAPA (2016) introduziu modificações abrangentes, concentrando-se especialmente em áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal, estabelecendo a obrigatoriedade da manutenção de uma determinada porcentagem de área, com vegetação nativa e como reserva legal nas propriedades rurais. Além disso, o código define áreas de preservação permanente, que devem ser resguardadas por sua importância na conservação do solo, recursos hídricos e biodiversidade.

O Novo Código Florestal também implementa regras e procedimentos para a regularização ambiental de propriedades anteriormente em desacordo com a legislação. Introduziu o Cadastro Ambiental Rural (CAR), um registro eletrônico obrigatório, visando compilar informações detalhadas sobre a situação ambiental de todas as propriedades rurais. Para auxiliar na conformidade com a legislação ambiental, prevê a criação de Programas de Regularização Ambiental. Ademais, o código incentiva práticas sustentáveis por meio do pagamento por serviços ambientais, reconhecendo e remunerando proprietários rurais que contribuam para a preservação ambiental. Essa abordagem inovadora busca conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação, promovendo a sustentabilidade no uso do solo (EMBRAPA, 2016; FREITAS, 2020).

Em 2001, a Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA) instituiu o Programa Produtor de Água, uma estratégia que busca incentivar agricultores e proprietários de terras a adotar práticas que preservem o solo e o uso sustentável da terra, visando proteger e melhorar a qualidade da água. Com isso, há a criação de áreas de preservação e restauração da vegetação nas bacias hidrográficas, evitando a erosão e a poluição da água. Como incentivo, os participantes têm a oportunidade de receber benefícios financeiros. Esse plano representa uma abordagem inovadora que busca alinhar as medidas para conservar a água com as práticas para conservar o solo, promovendo assim uma agricultura sustentável e proteção dos recursos hídricos (EMATER - DF, 2018)

O Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e Conservação de Solos na Agricultura (PNMCS), lançado em 2003, visa promover a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais na agricultura brasileira, focando na preservação e recuperação de microbacias hidrográficas, essenciais para a qualidade do solo e retenção de água, o programa também busca reduzir a erosão e incentivar práticas agrícolas sustentáveis (DOLABELLA, 2014). A execução é conduzida pelo MAPA, em colaboração com governos estaduais e municipais, além do

envolvimento ativo de organizações da sociedade civil e da comunidade científica. A conservação do solo e a proteção das microbacias são cruciais para garantir a sustentabilidade da atividade agrícola e preservar o meio ambiente. O PNMCS desempenha um papel vital ao equilibrar o desenvolvimento econômico com práticas agrícolas responsáveis e a proteção dos recursos naturais (DOLABELLA, 2014).

Criado em 2008, o Fundo Amazônia tem como propósito primordial a alocação de recursos para projetos voltados à conservação e ao desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal. Esse fundo recebeu contribuições significativas, incluindo um compromisso de financiamento de USD 1 bilhão por parte do governo norueguês. Os recursos do Fundo Amazônia são destinados a iniciativas que buscam diminuir o desmatamento, promover a preservação do meio ambiente e apoiar as comunidades locais na região amazônica, contribuindo para a proteção desse ecossistema (KADRI et al, 2020).

O Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) é uma estratégia brasileira integrada ao Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas, visando consolidar uma economia agrícola com baixas emissões de carbono. O plano promove práticas sustentáveis, como a redução do desmatamento, o estímulo ao plantio direto, a integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais para mitigar os impactos ambientais da agricultura. Respondendo à necessidade de adaptação às mudanças climáticas e à urgência de redução das emissões, o Plano ABC busca tornar a agricultura mais resiliente e alinhada aos compromissos globais de combate às mudanças climáticas, implementado por meio de parcerias público-privadas, incentivos financeiros, pesquisa e capacitação (EMBRAPA, 2018; RODRIGUES et al, 2019). De acordo com os relatórios do Observatório ABC (2016), o programa não atingiu todo seu potencial. Apenas 68% do valor destinado pelo governo federal foi distribuído, indicando que o programa não obteve a adesão esperada pelos agricultores. Além disso, em um estudo feito por Carauta et al (2021), aponta que o programa não é claro em relação em quais medidas se dá às reduções efetivas de emissões de GEE advindas da agricultura.

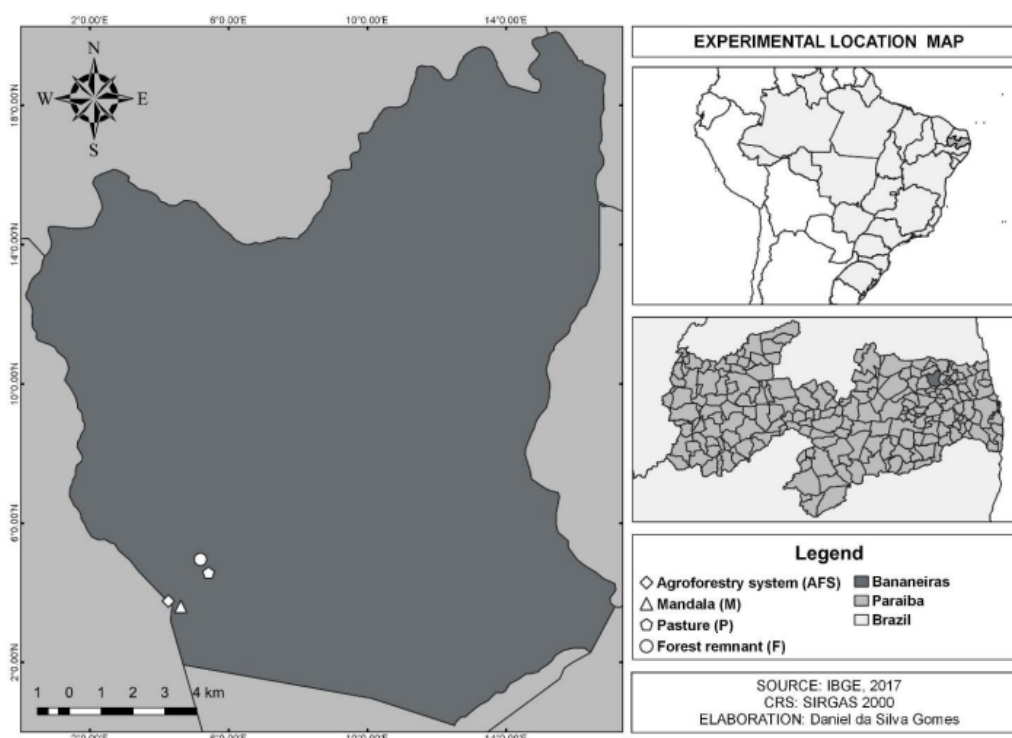
## **5 ESTUDOS DE CASO**

### **5.1 Mitigação de GEE por Meio do Manejo do Solo**

Em uma pesquisa conduzida por Gomes et al. (2022) em Bananeiras – Paraíba (Figura 3), foram empregados quatro sistemas de uso do solo para avaliar os efeitos da mudança de seu uso na taxa de respiração, incluindo área de remanescente florestal (F), sistema agroflorestal



(AFS), mandala (M) (área com aproximadamente 17 anos de implementação) e pastagem (P). Foram coletadas amostras de solo a uma profundidade de 0-20 cm em cada sistema de uso do solo para análises químicas e físicas, visando caracterizar as áreas de estudo. A atividade microbiana do solo foi avaliada por meio da respiração edáfica, envolvendo a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> pelo método de Grisi. Essas medições foram realizadas tanto durante o dia quanto à noite ao longo de 8 meses. Além disso, adotou-se um delineamento totalmente casualizado em um esquema fatorial 4 x 2. Uma análise estatística, incluindo a análise de variância, foi conduzida para avaliar a significância das variações de CO<sub>2</sub> em diferentes sistemas de gestão e turnos de avaliação.



**Figura 11.** Mapa de localização indicando os pontos de coleta em Bananeiras. Fonte: GOMES et al, 2022

Os resultados do estudo revelaram o impacto significativo do sistema de manejo nas emissões de CO<sub>2</sub>, evidenciado pela análise de variância (Tabela 2). Não houve, no entanto, influência significativa da mudança de avaliação da interação entre o sistema de manejo e o turno de avaliação, entretanto efeito significativo entre os sistemas de manejo.

**Tabela 2.** Análise de variância da evolução do CO<sub>2</sub> (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em função do manejo sistemas e mudanças de avaliação no pântano de altitude. Fonte: Gomes et al, 2022

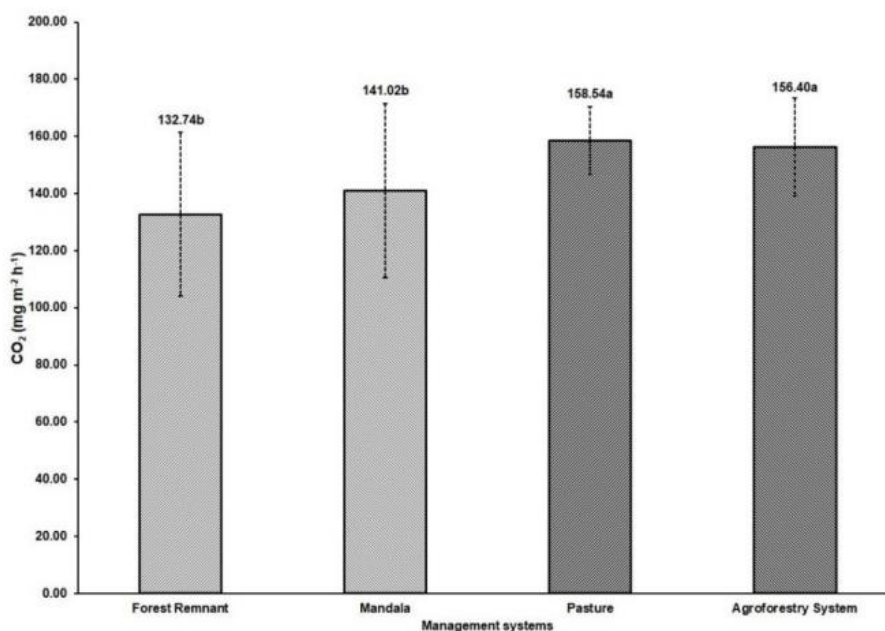
Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Sistemas Manejados (MS)	3	0.881184***
Turno de avaliação (ES)	1	0.04363ns
Interação MS x ES	3	0.01705ns

Resíduo	64	0.01972
Tratamento	7	0.36147***
CV	%	2.46

CV = coeficiente de variação; ns = não significante; \*\*\* significativo para  $< 0.0001$

Ao comparar os sistemas de pastagem e agroflorestal (Figura 4), observou-se que ambos apresentaram uma liberação de CO<sub>2</sub> estatisticamente similar, porém significativamente maior em comparação com o remanescente florestal, que teve uma liberação menor de CO<sub>2</sub> em relação às outras áreas. As avaliações noturnas das emissões de CO<sub>2</sub> destacaram variações significativas entre os diferentes sistemas: o remanescente florestal apresentou valores entre 187,5 e 125,0 (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), o sistema mandala variou de 206,2 a 123,4 (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), o sistema de pastagem variou de 196,6 a 139,8 (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e o sistema agroflorestal variou de 199,2 a 151,7 (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

A área de pastagem, caracterizada por uma menor cobertura vegetal, demonstrou uma liberação mais significativa de C, enquanto a área remanescente florestal, com uma maior cobertura vegetal, apresentou menor liberação de CO<sub>2</sub>. Esses resultados evidenciam a influência direta da cobertura vegetal e do sistema de gestão na dinâmica das emissões de CO<sub>2</sub> (GOMES et al, 2022).



**Figura 12.** Evolução do CO<sub>2</sub> (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em quatro sistemas de uso do solo (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), Bananeira – Paraíba. Fonte: Gomes et al, 2022

Os sistemas integrados de lavoura-pecuária (ILP) têm demonstrado resultados significativos na captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> da atmosfera, conforme destacado em um estudo conduzido por Macedo et al. (2015) no cerrado brasileiro. O experimento foi realizado

em uma área de pastagem degradada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, desde a safra 2008/09, no Centro de Pesquisa Embrapa Gado de Corte. Diversos tratamentos foram aplicados, incluindo o sistema integrado lavoura-pecuária sem árvores (ILP), o sistema integrado lavoura-pecuária-floresta com uma única linha de árvores espaçadas a 14 metros (ILPF14) e linhas de árvores espaçadas a 22 metros (ILPF22). A análise do teor de C no solo ao longo de seis anos revelou que o solo sob o sistema ILP apresentou os valores mais elevados em comparação com os sistemas ILPF14 e ILPF22 (Tabela 3). O sistema ILP, proporcionou menor competição por luz, água e nutrientes, resultando em uma maior fonte de matéria orgânica para o C do solo em comparação com a combinação de gramíneas/pastagem com árvores. A biomassa de gramíneas e a produção animal foram mais expressivas no sistema ILP. A ausência de árvores no sistema ILP parece contribuir para condições mais favoráveis ao acúmulo de C no solo, enquanto os sistemas ILPF14 e ILPF22, que incluem árvores, podem apresentar menor teor de C devido à competição por recursos entre as plantas, conforme apontado por Macedo et al. (2015).

**Tabela 3.** Conteúdo de C no solo até 20 cm de profundidade sob diferentes sistemas integrados 6 anos após o estabelecimento

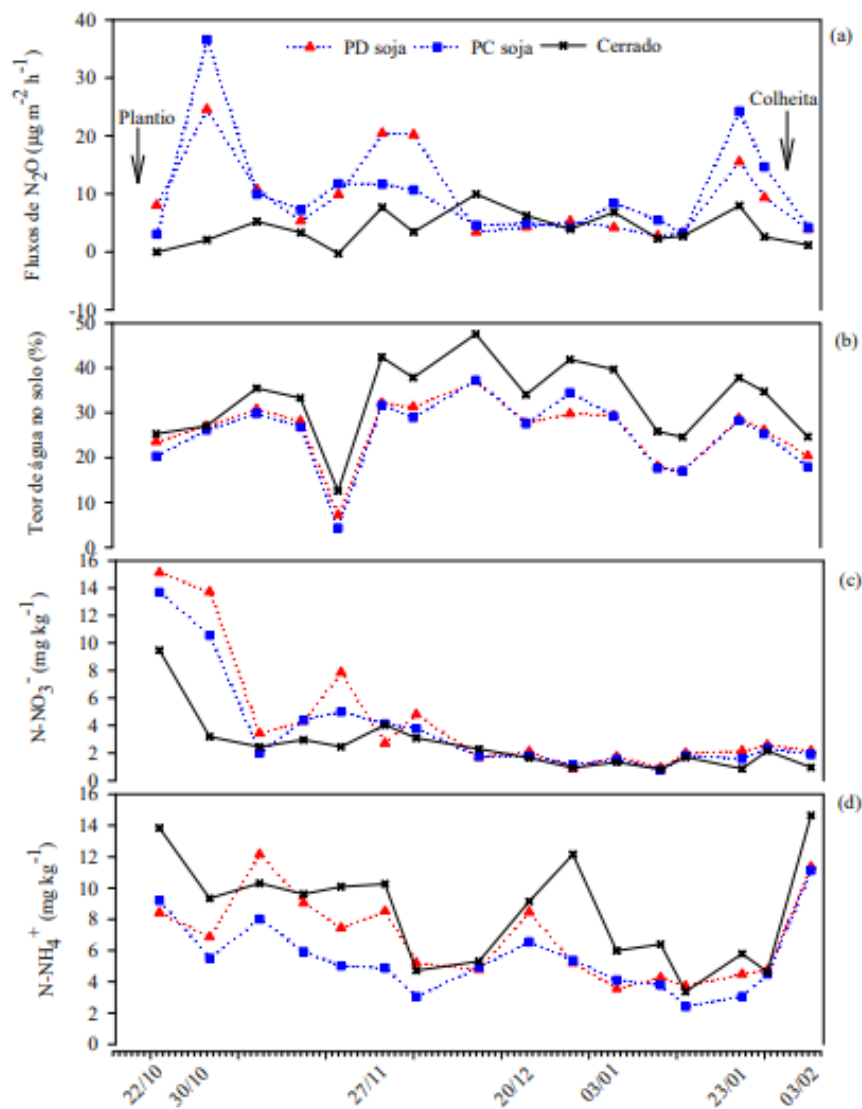
Sistema	Anos							Médias
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
	<b>g C / cm<sup>3</sup></b>							
<b>ILP</b>	2.19a	2.34a	2.39a	2.46a	2.68a	2.57a	2.69a	<b>2.47a</b>
<b>ILPF14</b>	1.56b	2.07b	1.88b	1.98b	2.03b	2.08b	2.01b	<b>1.95b</b>
<b>ILPF22</b>	1.83c	2.35a	2.21a	2.18b	2.51a	2.30c	2.33c	<b>2.24c</b>
<b>Médias</b>	<b>1.86</b>	<b>2.26</b>	<b>2.16</b>	<b>2.21</b>	<b>2.41</b>	<b>2.31</b>	<b>2.35</b>	<b>2.22</b>

Fonte: MACEDO et al, 2015

O estudo conduzido por Oliveira et al. (2015) examinou as emissões de N<sub>2</sub>O em áreas de cultivo de soja no cerrado, comparando dois sistemas de manejo: plantio direto de soja (PD soja) e preparo convencional de soja (PC soja). Utilizando coletas semanais de amostras de ar por meio de câmaras estáticas e análise de cromatografia gasosa, os pesquisadores avaliaram a concentração de N<sub>2</sub>O e simultaneamente, amostras de solo foram coletadas para análise do teor de água, densidade do solo e nitrogênio disponível.

Os resultados (Figura 5) indicaram que o sistema sob preparo convencional do solo (PC soja) apresentou maiores emissões de N<sub>2</sub>O em comparação com o plantio direto (PD soja) ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja. Essa diferença pode ser atribuída às características do plantio direto, como menor taxa de decomposição da matéria orgânica, menor contato do resíduo vegetal com o solo, menor temperatura, maior umidade, menor aeração do solo e preservação dos agregados superficiais (OLIVEIRA et al, 2015). Os picos de emissão de N<sub>2</sub>O

foram observados em diferentes fases do ciclo da soja, associados a fatores como preparo da área, presença de nitrogênio no solo proveniente da decomposição da cultura anterior, crescimento vegetativo e eventos de chuva. Durante a senescência, houve um aumento leve nos fluxos de  $N_2O$  em ambos os sistemas, correlacionado à queda de folhas e eventos de chuva sistemáticos. A disponibilidade de nitrogênio mineral mostrou-se significativa para as emissões de  $N_2O$ , indicando que pode limitar a ocorrência da desnitrificação e, conseqüentemente, a produção desse gás. Em resumo, os resultados destacam a influência de variáveis como sistema de manejo, teor de água no solo, presença de nitrato e características específicas do solo nos fluxos de  $N_2O$  durante o ciclo de desenvolvimento da soja, concluindo principalmente que o sistema de preparo convencional é um aliado na produção de gases de  $N_2O$ .



**Figura 13.** Fluxos de óxido nitroso (a), Teor de água no solo (b), Nitrato e Amônio no solo (c e d) em diferentes sistemas de manejo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Planaltina, DF, Brasil. Fonte: Oliveira et al, 2015

No estudo de Iamaguti et al. (2015), foram analisados três sistemas de preparo do solo em uma área de cultivo de cana-de-açúcar em reforma, com foco nas emissões de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo. Realizado em janeiro de 2013, em Barrinha, São Paulo, a área experimental, localizada a 543 metros de altitude (21°13'S, 48°06'O), proporcionou um cenário relevante. O estudo adotou uma abordagem sistemática, explorando diferentes métodos de preparo do solo para avaliar seu impacto nessas variáveis, oferecendo insights para práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes.

Três parcelas foram estabelecidas em 28 de janeiro de 2013, cada uma com 15 pontos representados por colares de PVC, utilizados para monitorar as variáveis mencionadas. Os sistemas de preparo incluíram preparo convencional (PC), subsolagem convencional (SC) e subsolagem localizada (SL). O experimento adotou um delineamento experimental inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no tempo, sem pseudo-replicações. As operações de preparo do solo, foram precedidas pela eliminação mecânica da soqueira da cana-de-açúcar, seguida por práticas como calagem, aplicação de calcário dolomítico e gessagem.

As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo ocorreram em diversos dias de fevereiro de 2013, utilizando instrumentos como a câmara de solo LI-8100. Procedimentos incluíram verificação de outliers e análise de variância (ANOVA) para identificar diferenças significativas entre os tratamentos. Em caso de diferenças, o Teste de Tukey foi aplicado para comparação das médias e as análises de correlação linear foram realizadas para avaliar o relacionamento entre as variáveis, destacando uma correlação negativa significativa entre as emissões de CO<sub>2</sub> e a temperatura do solo apenas no sistema de preparo convencional. Com isso, o estudo concluiu que a conversão do preparo convencional para a subsolagem localizada reduziu as emissões de CO<sub>2</sub>, evidenciando a influência das práticas de preparo do solo na dinâmica ambiental.

O método de preparo convencional evidenciou uma emissão média significativamente superior de CO<sub>2</sub> (0,749 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) em comparação com a subsolagem convencional e a subsolagem localizada. As emissões máximas de CO<sub>2</sub> foram registradas no preparo PC (1,441 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), enquanto as mínimas foram observadas no preparo SL (0,143 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Esses resultados corroboram achados anteriores que apontam para um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> associado ao preparo do solo, influenciado pela intensificação da atividade microbiana após a exposição do C e pela maior oxigenação decorrente das operações de preparo. A longo

prazo, a relação entre o preparo do solo e as emissões de CO<sub>2</sub> parece estar mais vinculada às mudanças nas propriedades do solo, especialmente na sua estrutura (IAMAGUTI et al, 2015).

Em uma análise realizada por Campanha et al., objetivou investigar o impacto do preparo do solo com e sem adubação nitrogenada, sobre as emissões de N<sub>2</sub>O em latossolos cultivados com milho de sequeiro na região do Cerrado brasileiro. O estudo foi iniciado em 2012 e a coleta de dados começou em novembro de 2014, após a terceira safra de milho. As parcelas experimentais, compostas por 12 fileiras de milho em blocos ao acaso, com três repetições, exploraram diferentes tratamentos, incluindo milho em monocultura sob preparo convencional do solo e milho em plantio direto com variações na adubação nitrogenada.

Antes do plantio, em 18 de novembro de 2014, as áreas foram dessecadas com o herbicida Roundup WG. No preparo convencional, os resíduos foram incorporados ao solo, enquanto no plantio direto, o milho foi plantado diretamente sobre a palhada. Utilizando a cultivar de milho AG 8088 VT PRO, com espaçamento de 0,70 m entre fileiras e densidade de 60.000 plantas por hectare, os tratamentos com N receberam adubação de 32 kg de N por hectare, 112 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare e 64 kg de K<sub>2</sub>O por hectare no plantio, com duas adubações em cobertura de 112,5 kg de N por hectare cada, usando ureia. Nos tratamentos sem adubação nitrogenada, foram aplicados 112 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare e 64 kg de K<sub>2</sub>O por hectare no plantio. A colheita do milho ocorreu em 27 de maio de 2015, com os resíduos sendo incorporados ao solo no manejo convencional e permanecendo sobre o solo no plantio direto.

O estudo empregou uma câmara estática para medir o fluxo de N<sub>2</sub>O no solo ao longo do ciclo do milho. As amostras foram coletadas em diferentes períodos, incluindo após cada fertilização e durante diferentes fases do ciclo da cultura. As câmaras, posicionadas entre as fileiras de plantas, foram projetadas com isolamento térmico e vedação adequada. A coleta de amostras de ar foi realizada em intervalos específicos, com análises subsequentes para medir as concentrações de N<sub>2</sub>O. O processo foi conduzido de maneira a garantir a precisão das medições, incluindo o transporte adequado das amostras e o registro das temperaturas nas câmaras e no solo.

Os resultados evidenciaram que os tratamentos fertilizados com N apresentaram maiores fluxos de óxido nitroso N<sub>2</sub>O em comparação com sistemas sem aplicação desse nutriente, com variação notável nos fluxos em diferentes condições de manejo do solo, destacando-se entre -21 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e 548 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> sob preparo convencional e de -21 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> a 380 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> sob plantio direto. O SPD, quando fertilizado com N, demonstrou menor emissão de N<sub>2</sub>O e uma maior eficiência na conversão das emissões por unidade de grão

produzido em comparação com o sistema convencional. Além disso, os fatores de emissão de  $N_2O$  durante o cultivo do milho ficaram abaixo do padrão estabelecido pelo IPCC. A aplicação de ureia resultou em um aumento significativo de aproximadamente 10 vezes nas emissões de  $N_2O$  em sistemas sem fertilização com N. Em geral, o solo atuou como uma fonte consistente de emissões de  $N_2O$  durante o ciclo de cultivo do milho, independentemente do sistema de manejo empregado.

## 6 CONCLUSÃO

Embora a pesquisa atual sobre as implicações das práticas de manejo do solo na redução das emissões de gases de efeito estufa ainda seja limitada, o Brasil se destaca como um potencial líder na promoção de uma agricultura mais sustentável. Para alcançar efetivamente a sustentabilidade no uso do solo e mitigar as emissões de gases de efeito estufa, é imperativo fortalecer as políticas públicas e intensificar a fiscalização sobre as mudanças e práticas de cobertura do solo.

Esta revisão destaca que o Brasil adota diversas estratégias visando a sustentabilidade do uso do solo para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, identificam-se lacunas que necessitam atenção, pois, mesmo com programas e legislações de referência, o país ainda figura entre os maiores emissores globais, especialmente de  $CO_2$ . A superação desses desafios demandará esforços coordenados, inovações e aprimoramento contínuo das abordagens existentes, consolidando o compromisso do Brasil na busca por práticas mais sustentáveis e na redução efetiva de suas emissões.

Práticas agrícolas não sustentáveis, como a utilização excessiva de produtos químicos, o desmatamento e o manejo inadequado do solo, têm o potencial de causar degradação do solo, poluição da água e diminuição da biodiversidade. É evidente que políticas públicas destinadas a fomentar práticas agrícolas mais responsáveis desempenham um papel crucial na proteção do meio ambiente, porém deve haver mais esforços na adesão, principalmente de pequenos produtores aos programas de incentivos do governo.

Além disso, a agricultura está enfrentando os impactos cada vez mais evidentes das mudanças climáticas, como secas, inundações e mudanças nos padrões de precipitação. Nesse contexto desafiador, políticas públicas que fomentam práticas agrícolas sustentáveis, como sistemas de integração e rotação de culturas, desempenham um papel fundamental na construção da resiliência dos sistemas agrícolas diante dessas mudanças climáticas.

A utilização de sistemas de plantio direto (SPD) e sistemas de integração-lavoura-pecuária (ILP) tem revelado ser altamente eficaz na redução das emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade agrícola. O SPD, ao dispensar a necessidade de arar o solo, contribui para a retenção de carbono no solo. A continuidade do cultivo de plantas em sistemas de SPD propicia o acúmulo de matéria orgânica no solo, reduzindo, assim, a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Por sua vez, o ILP, que combina culturas agrícolas e pecuária, é especialmente eficiente em promover o armazenamento de carbono no solo. Tanto o SPD quanto o ILP melhoram a estrutura e a fertilidade do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos, que podem ser fontes de emissões de óxido nitroso, um poderoso gás de efeito estufa (GEE) (EMBRAPA, 2021). Além disso, esses sistemas são importantes na redução da erosão do solo e da perda de água, contribuindo assim para a conservação dos recursos hídricos e a mitigação das mudanças climáticas.

Ademais, é importante promover pesquisas científicas abrangentes sobre o manejo do solo em diversas regiões brasileiras, com foco especial na Região Norte e Centro – Oeste, que apresentam um índice significativo de emissões dos principais gases de efeito estufa. Essas pesquisas auxiliam no monitoramento das emissões e no desenvolvimento de estratégias mitigadoras para combater esses gases.

Portanto, para impulsionar uma agricultura mais sustentável e mitigadora, é fundamental que as políticas públicas englobem uma ampla variedade de medidas, desde incentivos financeiros até regulamentações rigorosas, bem como programas de educação e extensão agrícola. Por fim, a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis são de suma relevância, assim como a promoção de parcerias sólidas com o setor privado. É importante lembrar que essas políticas devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada região, levando em consideração os desafios locais e reconhecendo a diversidade de sistemas agrícolas existentes em todo o mundo.

## 7 REFERÊNCIAS

1. ABBAS, F. et al. A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. **Journal of Environmental Management**, v. 268, p. 110319, 15 ago. 2020.
2. **About Law 12651/2012 - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/codigo-florestal/entenda-o-codigo-florestal>>.



3. AZNAR-SÁNCHEZ, J. A. et al. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. **Land Use Policy**, v. 87, p. 104069, set. 2019.
4. ARTAXO, P.: depoimento [set. 2023]. Entrevistador: Paulo Schueler: EPSJV/Fiocruz, 2023. **“Passamos da etapa do aquecimento, estamos em uma emergência climática ou de ebulição global”**. Disponível em: <<https://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/entrevista/passamos-da-etapa-do-aquecimento-estamos-em-uma-emergencia-climatica-ou-de>>.
5. BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Contributions of the Crop-Livestock-Forest Integration Systems (iLPF) for a low Carbon Emission Agriculture). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1163, 21 mar. 2012.
6. BALDINI, K.B.L., and QUINTEIRO, M.M.C. Agroecologia e as práticas tradicionais: reconhecendo os saberes ancestrais. In: SANTOS, M.G., and QUINTERO, M., comps. Saberes tradicionais e locais: reflexões etnobiológicas [online]. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2018, pp. 28-49. ISBN: 978-85-7511-485-8. <https://doi.org/10.7476/9788575114858.0004>.
7. BARBOSA TEIXEIRA, M. et al. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 55–64, abr. 2012.
8. BARNEZE, A. S. et al. Predicted Soil Greenhouse Gas Emissions from Climate × Management Interactions in Temperate Grassland. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3055, 2 dez. 2022.
9. BESEN, M. et al. Soil conservation practices and greenhouse gases emissions in Brazil. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 3, p. 429–439, 28 set. 2018.
10. BESSA, D. DE M. Ciclo do carbono na floresta amazônica: percepções ambientais de moradores da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazônia Ocidental, Brasil. [tede.ufam.edu.br](http://tede.ufam.edu.br), 22 mar. 2019.
11. BORGES, G. A **História de Herbert Bartz**. Disponível em: <<https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/41/5.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
12. CAMPANHA et al. Effect of soil tillage and N fertilization on N<sub>2</sub>O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. v. 692, p. 1165–1174, 1 nov. 2019.
13. CAMPBELL DE AZEVEDO, B. et al. **Avaliação dos impactos da alteração do uso da terra, com ênfase na cobertura florestal, sobre a disponibilidade hídrica: uma revisão sistemática.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://reflorestamentoambiental.com.br/trabalhos/azevedobruno111.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

14. CAMPOS, S. K.; TORRES, L. A. **Megatendências da Ciência do Solo 2030**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Megatendencias+da+Ciencia+do+Solo+2030/fa5b5075-a98d-b507-69b8-6a08d67ee200#:~:text=Resultado%20de%20esfor%C3%A7os%20iniciados%20em>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

15. CARAUTA, Marcelo et al. Climate-related land use policies in Brazil: How much has been achieved with economic incentives in agriculture? **Land Use Policy**. Alemanha, p. 1-11. jun. 2021.

16. CARVALHO, A.M.de et al. N<sub>2</sub>O emissions from sugarcane fields under contrasting watering regimes in the Brazilian savannah. **Environmental Technology & Innovation** *JCR*, v. 22, p. 101470, 2021.

17. CASTRO, D. Internal and External Structural Variables of the Participation of Brazil in the Climate Changes International Regime – An Empirical Cross-Analysis between Law and International Relations (January 25, 2017). **Cadernos de Direito Actual, Forthcoming, FGV Direito SP Research Paper Series** No. 151, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2923789>

18. **COP 1 – Berlim, Alemanha (março / abril de 1995) | PROCLIMA - Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencia-das-partes-cop/cop-1-berlim-alemanha-marco-abril-de-1995/>>.

19. **COP3 – Quioto, Japão (dezembro de 1997) | PROCLIMA - Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencia-das-partes-cop/cop-3-quioto-japao-dezembro-de-1997/>>.

20. **COP6 – Haia, Holanda (novembro de 2000) / COP6,5 – Bonn, Alemanha (julho de 2001)» PROCLIMA - Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencia-das-partes-cop/cop-6-haia-holanda-novembro-de-2000-cop-65-bonn-alemanha-julho-de-2001/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

21. **COP21: Divulgado rascunho de acordo histórico sobre o clima | ONU News.** Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2015/12/1534131>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
22. **COP21: “oportunidade única” para definir destino da humanidade, diz Ban | ONU News.** Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2015/12/1534211>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
23. COSTA, F. DE S. et al. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 693–700, abr. 2006.
24. CROWTHER, T.W. et al. **The global soil community and its influence on biogeochemistry Science**, 80 (2019), 10.1126/science.aav0550
25. DA CONCEIÇÃO, M. C. G. et al. International climate change negotiation: the role of Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 10, n. 3, p. 379–395, 31 dez. 2019.
26. DAI, H. et al. Stability, aggregation, and sedimentation behaviors of typical nano metal oxide particles in aqueous environment. **Journal of Environmental Management**, v. 316, p. 115217–115217, 1 ago. 2022.
27. DE CAMPOS, C. P. **A Conservação Das Florestas No Brasil, Mudança Do Clima E O Mecanismo De Desenvolvimento Limpo Do Protocolo De Quioto.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/conservacao\\_florestas\\_brasil.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/conservacao_florestas_brasil.pdf)>.
28. DE OLIVEIRA, A. D. Emissões de óxido nitroso de solo cultivado com soja sob sistemas de manejo de longa duração no Cerrado. **XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 12 mar. 2016.
29. DOLABELLA, R. H. C. **Legislação brasileira e programas do governo federal para o uso sustentável e a conservação de solos agrícolas.** Consultoria Legislativa. Dez. 2014.
30. EMATER. **Programa Produtor de Água Pipiripau.** Disponível em: <<https://emater.df.gov.br/programa-produtor-de-agua/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
31. **Emissions Map | SEEG - System Gas Emissions Estimation.** Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/>>.
32. ENGIE. **O que esperar da COP 28, em Dubai?** Disponível em: <<https://www.alemdaenergia.engie.com.br/cop-28/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
33. ESCOBAR, L. F. **Mitigação Das Emissões De Gases De Efeito Estufa Por Sistemas Conservacionistas De Manejo De Solo.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31369/000783061.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

34. FILIZOLA, H. F. et al. Atributos Físico-Hídricos e Estoque de Carbono de Solos de Áreas sob Irrigação em Itaí, SP. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 23, n. 2, p. 6–6, 27 jun. 2022.
35. GATTELL, V.M.. Agricultura sintrópica como medida mitigadora dos impactos da emergência climática. **Manancial: Repositório Digital da UFSM**. Frederico Westphalen, Rs, p. 1-43 ago. 2022
36. GOMES, D.; DA S. et al. Effects of land-use changes on soil respiration. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 7(1), 009–015. <https://doi.org/10.24221/jeap.7.01.2022.3641.009-015>
37. GOMES, L. C.; CARDOSO, I. M. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 40–43, 1 jan. 2021.
38. GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J. Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. **Food Research International**, v. 134, p. 109256, 1 ago. 2020.
39. GÓMEZ-GALLEGO, T. N-damo, an opportunity to reduce methane emissions? **Environmental Microbiology Reports**, v. 14, n. 5, p. 697–699, 9 ago. 2022.
40. GURGEL, A. C.; LAURENZANA, R. D. **Desafios E Oportunidades Da Agricultura Brasileira De Baixo Carbono**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9262/1/Desafios%20e%20oportuniddes.pdf>>.
41. GRIEBELER, J. S. et al. PANORAMA BRASILEIRO E EUROPEU SOBRE OS DADOS REFERENTES A USOS, CONTAMINAÇÃO, PROGRAMAS E POLÍTICAS DE MANEJO DO SOLO. **IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade**. Minas Gerais. ago. 2017.
42. IAMAGUTI, J. L. et al. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 497–504, 1 maio 2015.
43. IBGE - Educa | Jovens. **Divisão Político-Administrativa e Regional** Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18310-divisao-politico-administrativa-e-regional.html#:~:text=O%20Brasil%20est%C3%A1%20dividido%20em>>.
44. INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS. **Mudança de rumo do Brasil sob Lula agita a COP27**. Disponível em: <<https://www.ihu.unisinos.br/categorias/623717-mudanca-de-rumo-do-brasil-sob-lula-agita-a-cop27>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

45. IPCC (2019). Resumo para formuladores de políticas. In: *Mudanças Climáticas e Terra: um relatório especial do IPCC sobre mudanças climáticas, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres* [PR Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson -Delmotte, H.- O. Pörtner, DC Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. Na imprensa.
46. ISIS. **COP27: Brasil está se distanciando das suas metas propostas ao Acordo de Paris**. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/cop27-brasil-esta-se-distanciando-das-suas-metas-propostas-ao-acordo-de-paris-20221110>>.
47. KADRI, N. et al. **Fundo Amazônia: financiamento climático em prol da conservação e do desenvolvimento sustentável da Amazônia Cobertura geográfica: Região Norte Setor: Outros Tipo de medida: Cooperação**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://archivo.cepal.org/pdfs/bigpushambiental/Caso97-FinanciamentoClimaticoemProldaConservacao.pdf>>.
48. KAUSHAL, S. et al. Soil Carbon Sequestration: A Step towards Sustainability. **International Journal of Plant and Soil Science**, v. 35, n. 11, p. 160–171, 6 maio 2023.
49. KNAPP, S.; VAN DER HEIJDEN, M.G.A. A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. **Nat. Commun.** 2018, 9, 3632
50. L. EL ZEIN, A. The Effect of Greenhouse Gases on Earth's Temperature. **International Journal of Environmental Monitoring and Analysis**, v. 3, n. 2, p. 74, 2015.
51. **Lei Nº 8.171, De 17 De Janeiro De 1991 — Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/arquivos-de-legislacoes-de-tecnologias/lei-no-8-171-de-17-de-janeiro-de-1991.pdf/view>>.
52. LIMA DE OLIVEIRA, R. et al. **Predição da resistência à penetração do solo em um sistema agroflorestal com dendê na Amazônia por meio do Hydrus-1D Prediction of soil penetration resistance in an agroforestry system with oil palm in the Amazon using Hydrus-1D ; Wenceslau Gerales Teixeira**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149145/1/Predicao-da-resistencia-a-penetracao-do-solo-2022.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2023.

53. LUCON, O. **Mudanças Climáticas: Roteiro de Estudos**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/download/854/768/2816?inline=1#:~:text=Ocorreram%20mudan%C3%A7as%20amplas%20e%20r%C3%A1pidas>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
54. MACEDO, M.; DE ALMEIDA, R. G.; DE ARAUJO, A. R. Soil carbon contents in integrated crop-livestock and crop-livestock-forest systems in the Brazilian Cerrado. **World Congress on Integrated crop-livestock-forest systems**, 2015.
55. MACENA, D. R. B. M. **Os Ciclos Biogeoquímicos e sua Ação na Evolução Biológica e nas Mudanças Climáticas**. Disponível em: <<https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/4319>>.
56. MACHADO, P. L. O. DE A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v. 28, n. 2, p. 329–334, mar. 2005.
57. MAHATO, A. Climate Change, and its Impact on Agriculture. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 4, n. 4, abr. 2014.
58. **Manejo adequado do solo aumenta sequestro de carbono em áreas irrigadas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/72379135/manejo-adequado-do-solo-aumenta-sequestro-de-carbono-em-areas-irrigadas>>.
59. **Manejo e conservação do solo - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/mamona/producao/tratos-culturais/manejo-e-conservacao-do-solo#:~:text=Entre%20estes%20procedimentos%20podem%20ser>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
60. **Manejo e Conservação Do Solo**. Disponível em: <[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16180/Curso\\_Agric-Famil-Sustent\\_Manejo-Conservacao-Solo.pdf](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16180/Curso_Agric-Famil-Sustent_Manejo-Conservacao-Solo.pdf)>.
61. MATA, J. F. et al. SISTEMA AGROFLORESTAL: EXPERIÊNCIAS E PRÁTICA DE IMPLANTAÇÃO NA HORTA RIO GRANDE, FRONTEIRA-MG. **Agroecologia: produção e sustentabilidade em pesquisa - Vol. 2**, p. 219–237, 2022.
62. MATEUS et al. Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas barraginhas. **Mérida Publishers eBooks**, 1 jan. 2021. Disponível: <https://meridapublishers.com/rad2/cap5.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023
63. MARTINS, C. et al. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola N° 5 - Novembro**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<[https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3280/material/quimica\\_da\\_atmosfera.pdf](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3280/material/quimica_da_atmosfera.pdf)>.

64. MILDREXLER, D. et al. Protect large trees for climate mitigation, biodiversity, and forest resilience. **Journal Of the Society For Conservation Biology**. USA, abr. 2023.
65. MORENO PIRES, A. M. et al. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. 1º Edição ed. [s.l.] Embrapa Meio Ambiente, [s.d.].
66. MOSTAZO, P.; ASENSIO-AMADOR, C.; ASENSIO, C. Soil Erosion Modeling and Monitoring. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 447, 14 fev. 2023.
67. NADEAU, K. C.; AGACHE, I.; JUTEL, M.; MAESANO, I. A.; AKDIS, M.; SAMPATH, V.; D'AMATO, G.; CECCHI, L.; TRAILDHOFFMANN, C.; AKDIS, C. A. Climate change: A call to action for the United Nations. **Allergy**. Usa, p. 1087-1090. ago. 2021.
68. NOAA. **Assessing the Global Climate in August 2023**. Disponível em: <<https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202308>>.
69. OFSTEHAGE, A.; NEHRING, R. No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 19, n. 3-4, p. 335–348, 10 abr. 2021.
70. OLIVEIRA, A. D.; RIBEIRO, F. P.; FIGUEIREDO, C.; MULLER, A. G.; VITORIA MALAQUIAS, J.; DOS SANTOS, I. L.; DE SÁ, M. A. C.; SOARES, J. P. G.; DOS SANTOS, M. V. A.; DE CARVALHO, A. M. -Effects of soil management, rotation and sequence of crops on soil nitrous oxide emissions in the Cerrado: A multi-factor assessment - **Journal Of Environmental Management JCR**, v. 348, p. 119295, 2023.
71. PINTO, J. DE S. Redução da volatilização de amônia de dejetos líquidos suínos com mecanismos ácidos. **tede.unioeste.br**, 28 fev. 2023.
72. **Posicionamento da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) Frente às Negociações da 27ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima Cop27 -UNFCCC -Sharm el-Sheikh -Egito**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/storage/arquivos/Carta-posicao-COP-27.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
73. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. , 31 ago. 1981. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2023

74. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Nº 8.171, de 17 de Janeiro de 1991.**, jan. 1. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8171.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20pol%C3%ADtica%20agr%C3%ADcola.&text=Art.,das%20atividades%20pesqueira%20e%20florestal.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20pol%C3%ADtica%20agr%C3%ADcola.&text=Art.,das%20atividades%20pesqueira%20e%20florestal.)>. Acesso em: 25 nov. 2023
75. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Regulamenta a Lei n.º 6.225, de 14 de julho de 1975, que dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão, e dá outras providências.**, 8 jun. 1976. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d77775.htm#:~:text=DECRETO%20No%2077.775%2C%20DE,eros%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d77775.htm#:~:text=DECRETO%20No%2077.775%2C%20DE,eros%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.)>. Acesso em: 25 nov. 2023
76. QUINTAO, José Maurício B. et al. Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 18-24, Jan. 2021. Available from [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252021000100004&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252021000100004&lng=en&nrm=iso)>. access on 20 Oct. 2023. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>
77. REIS, J. C. dos, et al. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia de desenvolvimento sustentável no estado de Mato Grosso. [S.l.]: Cepal, Nações Unidas, 2020. Repositório de casos sobre o Big Push para a Sustentabilidade no Brasil,
78. RICHTER, M. F., LARA, D. M. DE, & ANDREAZZA, R. DE C. L. (2021). Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação Básica. *Revista Brasileira De Educação Ambiental*, 16(5), 431-445. <https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.12400>
79. RODRIGUES DA SILVA, L. J. et al. **O agronegócio da pera asiática no Sul do Brasil.** [s.l.] PPGEAN, [s.d.].
80. SACHETTI, B. B. A importância da rotação de culturas para o sistema de plantio direto. **189.126.105.41**, 5 jan. 2021.
81. SANTOS, C. M. M. DOS et al. Relação entre os atributos físicos e carbono orgânico do solo em sistema agroflorestal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 7 set. 2020.
82. SANTOS, M. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA -UNESP “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA.** [s.l: s.n.]. Disponível em:



- <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/b72bebbc-a6b9-4da0-8f91-5ee7c3c243b8/content>>. Acesso em: 7 dez. 2023.
83. SBCS. **O legado do “pai do Plantio Direto” para o Brasil**. Disponível em: <<https://sbcs-nepar.org.br/noticias/o-legado-do-pai-do-plantio-direto-para-o-brasil/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
84. **Secretário-geral vê ambiente muito favorável para acordo sobre o clima | ONU News**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2015/12/1534141>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
85. **Sistema Plantio Direto — Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/sistema-plantio-direto.pdf/view>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
86. SOUSA, João Ítalo De et al. **Potencial de lixiviação de nutrientes em neossolo regolítico sob agricultura familiar no semiárido paraibano**. Anais I CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/24061>>. Acesso em: 25/11/2023 16:38
87. SOUSA, M. P. Crop, Livestock and Forestry Integration Systems. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 10, p. 53–63, 1 out. 2022. <https://doi.org/10.14295/bjs.v1i10.153>
88. SOUSA, T. R.; GEROSA, M. L.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A.M.de. N<sub>2</sub>O emissions from soils under different uses in the Brazilian Cerrado - A review. **REVISTA BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO JCR**, v. 21, p. 01-11, 2021.
89. TELLES, T. S. et al. TD 2638 - Desenvolvimento da Agricultura de Baixo Carbono no Brasil. **Texto para Discussão**, p. 1–41, 31 mar. 2021.
90. UNITED NATIONS. **Adoption of the Paris Agreement**. (United Nations, Ed.). In: Conference of the Parties Twenty-First Session. dez. 12. Disponível em: <<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023
91. UNITED NATIONS. **Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement**. (United Nations, Ed.). In: 26 Conference of the Parties. nov. 13DC. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_L16\\_adv.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L16_adv.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2023
92. UNITED NATIONS. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh from 6 to 20 November 2022**. (United Nations, Ed.) mar.

- 17DC. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022\\_10a01\\_E.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_10a01_E.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2023.
93. WANDER, A. E.; TOMAZ, G. A.; PINTO, H. E. Uma avaliação formativa do Plano ABC. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 62–72, 29 dez. 2016.
94. WIEDER W.R. HARTMAN, B.N. SULMAN, Y.P. WANG, M.D. KOVEN, C.D. BONAN G.B. Carbon cycle confidence and uncertainty: exploring variation among soil biogeochemical models. **Global Change Biol.**, 24 (2018), pp. 1563-1579, 10.1111/gcb.13979
95. WILTSHIRE, A. J. et al. Understanding the role of land-use emissions in achieving the Brazilian Nationally Determined Contribution to mitigate climate change. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, fev. 2022.
96. YAN, W. et al. Effects of plants and soil microorganisms on organic carbon and the relationship between carbon and nitrogen in constructed wetlands. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 22, p. 62249–62261, 20 mar. 2023.
97. ZANGEROLAME TAROCO, L. S.; SABBÁ COLARES, A. C. The UN Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement: Challenges of the Conference of the Parties. **Prolegómenos**, v. 22, n. 43, p. 125–136, 24 fev. 2020.
98. ZHUMADILOVA, A.; ZHIGITOVA, S.; & TURALINA, M. (2023). The impact of greenhouse gases on climate change. **Scientific Horizons**, 26(6), 97-109. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.97>
99. ŽIVKOVIĆ, O Lidija. The Conference of the Parties: A future for a more profound multilateralism in tax matters? **Zbornik radova Pravnog fakulteta, Novi Sad**, vol. 54, no. 3, pp. 1123-1140, Bósnia, 2020. <https://www.doi.org/10.5937/ZRPFNS54-29348>
100. **Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul (ZAEMS) – SEMADESC**. Disponível em: <<https://www.semadesc.ms.gov.br/zoneamento-agroecologico-do-estado-do-mato-grosso-do-sul-zaems/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.