

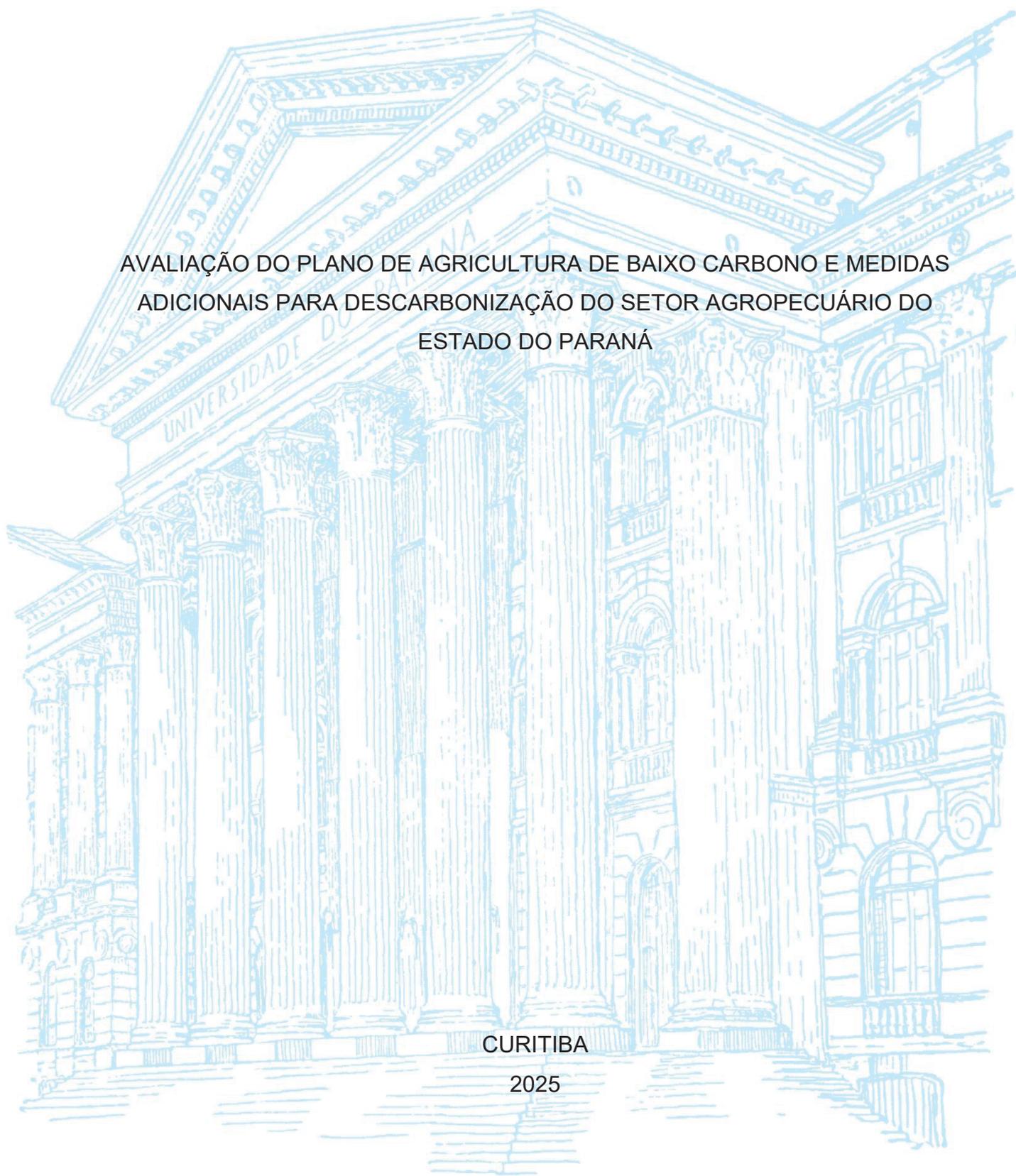
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRESSA DEPETRIZ MARCELINO

AVALIAÇÃO DO PLANO DE AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO E MEDIDAS  
ADICIONAIS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AGROPECUÁRIO DO  
ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2025



ANDRESSA DEPETRIZ MARCELINO

AVALIAÇÃO DO PLANO DE AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO E MEDIDAS  
ADICIONAIS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AGROPECUÁRIO DO  
ESTADO DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Claus

Coorientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso de Lara Pires

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Marcelino, Andressa Depetriz

Avaliação do plano de agricultura de baixo carbono e medidas adicionais para descarbonização do setor agropecuário do Estado do Paraná. / Andressa Depetriz Marcelino. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Claus

Coorientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso de Lara Pires

1. Mudanças climáticas. 2. Redução de gases do efeito estufa. 3. Carbono. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Claus, Alexandre. IV. Pires, Paulo de Tarso de Lara. V. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE  
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ANDRESSA DEPETRIZ MARCELINO** intitulada: **Avaliação do Plano de Agricultura de Baixo Carbono e Medidas Adicionais para a Descarbonização do Setor Agropecuário do Estado do Paraná**, sob orientação do Prof. Dr. ALEXANDRE CLAUS, que após terem inquirido a autora e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa. A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Novembro de 2024.

Assinatura Eletrônica

21/11/2024 13:58:10,0

ALEXANDRE CLAUS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

25/11/2024 16:08:39,0

ROBERTO GREGORIO DA SILVA JUNIOR

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/11/2024 12:48:46,0

MAURICY KAWANO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3614 - E-mail: ppgmaui@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015,  
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 413574

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/Mesitante/autenticacaoassinaturas.jsp>  
e insira o código 413574**

## RESUMO

Ações antrópicas que contribuem para a mudança climática podem causar prejuízos em diversos setores produtivos. Na agropecuária não é diferente, e os possíveis efeitos impactam negativamente a produção de alimentos, a economia e o meio ambiente, o que relaciona o tema aos ODS 2 e 13. Apesar de ser um dos setores com grande potencial de ser prejudicado, o setor contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa. O Paraná é um dos principais estados do Brasil em termos de atividade agropecuária, portanto, identificar medidas para redução das emissões de gases de efeito estufa desse setor não somente contribuirá para a redução dos efeitos negativos nas esferas ambiental, social e econômica, como também limitará o aumento de temperatura média global. Ademais, a adoção das medidas de redução contribuirá para que o estado seja protagonista na transição para uma economia de baixo carbono, ou seja, uma economia na qual a produção de bens e serviços esteja associada à baixa ou zero emissão de gases de efeito estufa. Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa com a adoção das medidas propostas no Plano ABC+ Paraná e avaliar medidas adicionais para que o estado do Paraná descarbonize o setor agropecuário até 2050, o que foi realizado através da elaboração de três cenários comparativos: o Cenário 1 (*Business as Usual*) considerando a manutenção das atividades agropecuárias da forma atual, o Cenário 2 (ABC+) considerando a adoção das ações do Plano ABC+ Paraná e o Cenário 3 (ABC+ e ações adicionais) considerando a adoção de ações adicionais para a descarbonização do setor agropecuário no estado do Paraná. Como resultado, verificou-se uma redução expressiva das emissões de GEE até o ano de 2030 para os Cenários 2 e 3 em relação ao Cenário 1. Com relação ao ano de 2050, o Cenário 3 mostrou que é possível o estado do Paraná alcançar a emissão zero, o que mostra que este estudo pode ser utilizado na construção de políticas públicas visando a descarbonização do estado do Paraná.

Palavras-chave: Mudança Climática. Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Mitigação. Carbono Neutro.

## **ABSTRACT**

Anthropogenic actions that contribute to climate change can cause damage to various productive sectors. Agriculture is no different, and the possible effects have a negative impact on food production, the economy and the environment, which links the issue to SDGs 2 and 13. Despite being one of the sectors with great potential to be harmed, the sector contributes to an increase in greenhouse gas emissions. Paraná is one of the main states in Brazil in terms of agricultural activity, so identifying measures to reduce greenhouse gas emissions from this sector will not only help to reduce the negative environmental, social and economic effects, but will also limit the increase in the global average temperature. Furthermore, the adoption of reduction measures will help the state to play a leading role in the transition to a low-carbon economy, i.e. an economy in which the production of goods and services is associated with low or zero greenhouse gas emissions. Therefore, the aim of this work is to assess the potential for reducing greenhouse gas emissions by adopting the measures proposed in the ABC+ Paraná Plan and to evaluate additional measures for the state of Paraná to decarbonize the agricultural sector by 2050, which was done by drawing up three comparative scenarios: Scenario 1 (Business as Usual) considering the maintenance of farming activities in the current manner, Scenario 2 (ABC+) considering the adoption of the actions of the ABC+ Paraná Plan and Scenario 3 (ABC+ and additional actions) considering the adoption of additional actions for the decarbonization of the farming sector in the state of Paraná. As a result, there was a significant reduction in GHG emissions by 2030 for Scenarios 2 and 3 compared to Scenario 1. With regard to 2050, Scenario 3 showed that it is possible for the state of Paraná to achieve zero emissions, which shows that this study can be used in the construction of public policies aimed at decarbonizing the state of Paraná.

**Keywords:** Climate Change. Reduction of Greenhouse Gas Emissions. Mitigation. Paraná. Carbon Neutral

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – RELAÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS E NÃO CLIMÁTICOS COM A SEGURANÇA ALIMENTAR .....	23
---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – EMISSÕES GLOBAIS DE GEE POR SETOR AO LONGO DOS ANOS (MtonCO <sub>2e</sub> ).....	28
GRÁFICO 2– EMISSÕES DE GEE POR SETOR DO BRASIL AO LONGO DOS ANOS (GgCO <sub>2e</sub> ).....	28
GRÁFICO 3 – EMISSÕES DE GEE POR SETOR DO ESTADO DO PARANÁ AO LONGO DOS ANOS (GgCO <sub>2e</sub> ).....	29
GRÁFICO 4 – GRÁFICO COM AS EMISSÕES DE GEE POR SUBSETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ NO ANO DE 2021 ....	30
GRÁFICO 5 – ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GEE DO ESTADO DO PARANÁ POR CATEGORIA AO LONGO DOS ANOS (tCO <sub>2e</sub> ).....	51
GRÁFICO 6: PARTICIPAÇÃO DAS EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO PARANÁ POR CATEGORIA NO ANO 2022.....	53
GRÁFICO 7: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ DO 4º INVENTÁRIO NACIONAL E DESTE ESTUDO.....	54
GRÁFICO 8: EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ POR CATEGORIA DE 2010 A 2050 .....	54
GRÁFICO 9 – EMISSÕES DE GEE PARA O CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO 1 DE 2020 A 2050 (Mton CO <sub>2e</sub> ).....	58
GRÁFICO 10 - EMISSÕES DE GEE PARA O CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO 2 DE 2020 A 2050 (MtonCO <sub>2e</sub> ).....	60
GRÁFICO 11 - EMISSÕES DE GEE PARA O CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO 2 DE 2020 A 2050 (MtonCO <sub>2e</sub> ).....	61

## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 - CATEGORIAS DE EMISSÃO DO SETOR AGROPECUÁRIO .....	29
QUADRO 2 – RESUMO DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS E METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS CENÁRIOS DE DESCARBONIZAÇÃO 1 E 2.....	43

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DETALHAMENTO DAS EMISSÕES DO PARANÁ POR CATEGORIA DO SETOR AGROPECUÁRIO DE 2016 A 2022 (Mton CO <sub>2e</sub> ) .....	52
TABELA 2 - DETALHAMENTO DAS EMISSÕES DO PARANÁ POR CATEGORIA DO SETOR AGROPECUÁRIO DE 2016 A 2022 (Mton CO <sub>2e</sub> ) .....	56
TABELA 3: REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS DO CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO 1 .....	56
TABELA 4- REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS DO CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO 2 .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABRACAL	- Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola
AR5	- <i>IPCC Fifth Assessment Report</i>
CEBDS	- Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CENABC	- Comissão Executiva
Conab	- Companhia Nacional de Abastecimento
COP	- Conferência das Partes
CRED	- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
CTABC	- Comitê Técnico de Acompanhamento do Plano ABC
FBN	- Fixação Biológica de Nitrogênio
GEE	- Gases de Efeito Estufa
GWP	- <i>Global Warming Potential</i>
IPCC	- <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
iLPF	- integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPCC	- <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LACLIMA	- <i>Latin American Climate Lawyers Initiative for Mobilizing Action</i>
MRV	- Monitoramento, Reporte e Verificação
NDC	- <i>Nationally Determined Contribution</i>
PIB	- Produto Interno Bruto
Plano ABC	- Plano de Agricultura de Baixo Carbono
PNA	- Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
OC	- Observatório do Clima
ODM	- Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ODS 2	- Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável
ODS 13	- Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima
NDC	- Nationally Determined Contributions
SAF	- Sistema Agroflorestal
SAR	- <i>IPCC Second Assessment Report</i>

SEEG Estufa	- Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
Sicor	- Sistema de Operações de Crédito Rural e do Proagro
SIGABC	- Sistema de Governança do Plano ABC
SINABC	- Sistema de Informações do Plano ABC
SPD	- Sistema de Plantio Direto
UNEP	- <i>United Nations for Environment Programme</i>
UNFCCC	- <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNICA	- União da Indústria da Cana-de-Açúcar e Bioenergia
URT	- Unidades de Referência Tecnológica
WEF	- <i>World Economic Forum</i>
WMO	- <i>World Meteorological Organization</i>
WRI	- <i>World Resources Institute</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 Objetivo geral .....	17
1.1.2 Objetivos específicos .....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
2.1 PANORAMA GERAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA – ESTADO DA ARTE ...	19
2.2 MUDANÇA CLIMÁTICA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	19
2.3 OS EVENTOS CLIMÁTICOS: EFEITOS SOBRE A PRODUÇÃO AGRÍCOLA ...	20
2.3.1 Os efeitos da mudança climática na agropecuária .....	22
2.3.2 Mitigação, adaptabilidade e resiliência à mudança climática .....	26
2.4 PANORAMA DAS EMISSÕES DE GEE E MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA O SETOR AGROPECUÁRIO .....	27
2.5 MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE NO SETOR AGROPECUÁRIO .....	31
2.5.1 Estratégias do Plano ABC Brasil .....	32
2.5.1.1 Recuperação das pastagens degradadas .....	32
2.5.1.2 Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Sistemas Agroflorestais .....	33
2.5.1.3 Sistema Plantio Direto .....	34
2.5.1.4 Fixação Biológica de Nitrogênio .....	35
2.5.1.5 Florestas Plantadas .....	36
2.5.1.6 Tratamento de Dejetos Animais .....	37
2.5.2 Estratégias do Plano ABC+ Brasil .....	38
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>39</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE ATIVIDADE .....	39
3.2 CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE .....	41
3.3 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE PARA 2050 .....	42
3.3.1 Recuperação de Pastagens Degradadas .....	44
3.3.2 Sistemas de Integração .....	45
3.3.3 Melhoria do Manejo do Solo .....	46
3.3.4 Fixação Biológica de Nitrogênio .....	48
3.3.5 Florestas Plantadas .....	49
3.3.6 Terminação Intensiva .....	50

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1 EMISSÕES DE GEE ATÉ 2022 .....	51
4.2 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO BAU ATÉ 2050 .....	54
4.3 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO 2 ATÉ 2050.....	56
4.4 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO 3 ATÉ 2050.....	58
4.5 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3.....	60
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 1 – METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) a expressão “mudança climática” é utilizada para descrever toda mudança do clima identificada por mudanças na média de temperatura e/ou em suas propriedades, e que persista por um período longo, tipicamente décadas ou mais, ocorridas devido a mudanças em processos naturais internos ou externos, como ciclos solares, erupções vulcânicas e atividades humanas que provoquem mudança persistente na composição da atmosfera ou no uso da terra (IPCC, 2018). Já a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) define a mudança climática como àquelas que diretamente ou indiretamente tem influência humana na composição da atmosfera e que se soma à variabilidade climática natural (UNITED NATIONS, 1992).

A UNFCCC faz, portanto, uma distinção entre a mudança climática atribuídas às atividades humanas que altera a composição da atmosfera e a variabilidade climática atribuída a causas naturais (IPCC, 2018). Independente da definição utilizada, temos evidências suficientes que a ação humana tem contribuído para os eventos extremos que temos acompanhado nos últimos anos. O relatório mais recente publicado pelo IPCC não deixa dúvidas sobre a contribuição humana no aumento de temperatura observado desde o início da Revolução Industrial - do aquecimento de 1,09°C registrado na superfície terrestre entre o período de 2011 a 2020 em comparação ao período de 1850 a 1900, 1,07°C foi provocado pela ação humana (IPCC, 2023). Ademais, o relatório afirma que essa mudança tem ocorrido de forma mais rápida se comparada a outras mudanças que ocorreram ao longo dos séculos e milhares de anos (IPCC, 2023).

A mudança climática já afeta o planeta, de diferentes formas e varia de acordo com a localidade. Há evidências contundentes de que o fenômeno tem provocado um aumento no derretimento das geleiras no Ártico e na ocorrência de ciclones tropicais de intensidade elevada (IPCC, 2023). Além disso, elas estão associadas à ocorrência de ondas de calor, secas, precipitações intensas e inundações, e trazem consequências sociais, econômicas e nos ecossistemas (IPCC, 2023; WEF, 2024).

Na agricultura, por exemplo, o impacto estimado para 2050 é de 17% de perdas nas lavouras e redução de 20% das terras agriculturáveis *per capita* no mundo (PROLO *et. al*, 2021). Esses dados demonstram possíveis problemas na segurança alimentar associados à redução de disponibilidade, aumento de preços, impactos na qualidade, entre outros (BAILEY *et. al*, 2015). Considerando que a agricultura é responsável por gerar de 1% a 60% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países, o impacto econômico e social pode ser ainda maior (BANCO MUNDIAL, 2019).

No estado do Paraná o setor agropecuário tem uma participação significativa na economia, tendo representado mais de 24% do PIB do estado no primeiro trimestre de 2023 (GOVERNO DO PARANÁ, 2023a). Efeitos associados à mudança climática podem vir a causar prejuízos no setor. Deste modo, avaliar e propor medidas mitigatórias é fundamental para manutenção dessas atividades e seu importante papel em fornecer alimento.

Diante do exposto, este trabalho tem como proposta identificar medidas que visem a redução das emissões de GEE na produção agropecuário no estado do Paraná, e que fomentem a construção de um Plano de Ação Climática para o estado.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de redução de emissões de GEE do Plano Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária Plano ABC+ Paraná, e propor medidas adicionais para que o estado do Paraná alcance a emissão zero no setor agropecuário até 2050.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Mapear a contribuição do setor agropecuário para a mudança climática;
- b) Identificar os eventos climáticos extremos e seus efeitos na produção agropecuária;

- c) Identificar iniciativas para redução das emissões de GEE no estado no Paraná;
- d) Calcular o potencial de redução das emissões de GEE para as iniciativas mapeadas para o estado do Paraná;
- e) Avaliar a proposição de medidas adicionais para o estado do Paraná zerar suas emissões de GEE até o ano de 2050.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PANORAMA GERAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA – ESTADO DA ARTE

O termo mudança climática foi introduzido na discussões internacionais a partir da década de 1980, quando começaram a ser publicados os primeiros estudos apontando suas consequências. Em 1988 foi estabelecido o IPCC pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP - *Nations for Environment Programme*) e a Organização Mundial de Meteorologia (WMO - *World Meteorological Organization*), organizações fundamentais para compreensão dos efeitos associados à mudança climática (IPCC, 2021).

Na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992 foi estabelecida a UNFCCC, com o intuito de promover a redução das emissões de GEE, mesmo momento em que foi adotada a Agenda 21, plano construído com o objetivo de endereçar ações para os impactos provocados pela ação humana (UNFCCC, 2021a).

Em dezembro de 2015, na 21ª Conferência das Partes (COP 21), houve a assinatura do Acordo de Paris, com o objetivo de limitar as emissões de GEE, de modo que a temperatura global não ultrapasse 2°C da temperatura registrada no período pré-industrial, com esforços para limitar o aumento a 1,5°C (UNFCCC, 2021b).

Nas COPs seguintes foram definidas medidas como o uso de 100% de energia de origem renovável a partir de 2030 uma aliança para eliminação do uso de carvão mineral até 2050. Todavia questões relevantes como a meta para financiamento das ações contra a mudança climática para os países desenvolvidos ainda estão em aberto (BRASIL, 2024).

### 2.2 MUDANÇA CLIMÁTICA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A Agenda 2030 e o Acordo de Paris representam um avanço nas tentativas internacionais para enfrentamento dos desafios globais (CAMPAGNOLO e DAVIDE, 2019). Na Agenda 2030 os objetivos ambientais e relacionados à mudança climática estão integrados com os objetivos sociais e econômicos, constituindo um “todo indivisível” (NILSSON *et. al*, 2016a). Isso significa que as dimensões são

entrelaçadas em toda a estrutura da Agenda. De fato, cada um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda possuem uma dimensão clara como ponto de partida, mas acabam incorporando as demais dimensões no seu desdobramento. Como exemplo podemos citar o ODS 2, “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição, e promover a agricultura sustentável”, que contempla metas sociais (por exemplo, má nutrição), econômicas (produtivo na agricultura e serviços financeiros) e ambientais (diversidade genética e resiliência climática). Além disso, há uma interação entre as diferentes metas, por exemplo, o uso de carvão mineral para melhorar o acesso à energia em uma região pobre (ODS 7) pode acelerar a mudança climática e acidificação dos oceanos (ODS 13 e 14, respectivamente), bem como aumentar os danos à saúde ligados à poluição do ar (ODS 3) (NILSSON, *et.al*, 2016b).

Já a estrutura do Acordo de Paris permite uma participação mais ampla dos países em comparação a acordos anteriores, cabendo a cada um deles a apresentação de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), o que permitiu levar em consideração aspectos de desenvolvimento locais, tornando-o assim mais abrangente (CAMPAGNOLO e DAVIDE, 2019). Suas metas estão voltadas para a mitigação e adaptação, e contemplam o fortalecimento da resiliência, a integração de medidas climáticas em políticas e planos nacionais, o monitoramento do progresso através dos compromissos financeiros e aumento da capacidade de planejamento e gestão climática em países menos desenvolvidos e pequenos estados insulares, especialmente ligados a mulheres, jovens e comunidades marginalizadas (CAMPBELL *et. al*, 2018).

Claramente existe um potencial para interações entre os esforços para atingir as metas de desenvolvimento sustentável e os esforços para lidar com a mudança climática (CAMPAGNOLO e DAVIDE, 2019). Sendo assim, a construção de políticas de adaptação e mitigação climática precisa avaliar essas sinergias e *trade-offs*, de modo a garantir que as ações para solucionar os problemas ligados à mudança climática contribuam, ou não atrapalhem, o desenvolvimento local (BEG, *et. al*, 2002).

### 2.3 OS EVENTOS CLIMÁTICOS: EFEITOS SOBRE A PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Segundo o IPCC um evento meteorológico extremo é um evento raro em um local e época do ano, enquanto um evento climático extremo é um padrão meteorológico extremo que persiste por algum tempo, como uma estação (SENEVIRATNE *et. al*, 2021). Os tipos de eventos avaliados envolvem temperaturas extremas, precipitações intensas, inundações pluviais e fluviais, secas e tempestades, e contemplam várias escalas temporais e espaciais. Tornados, por exemplo, possuem uma escala espacial pequena (em torno de 100 metros) e duram alguns minutos, enquanto uma seca pode durar vários anos e afetar várias regiões (SENEVIRATNE *et. al*, 2021). A ocorrência de tais eventos, em muitos casos, está associada à ocorrência de desastres.

O relatório publicado pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED, do inglês *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*) (2023) aponta que a partir da década de 1950 houve um aumento na ocorrência de desastres ambientais, sendo que esse número vem crescendo a cada ano. Dos eventos registrados em 2022, mais de 79% foram provocados por inundações, tempestades ou secas. Se incluirmos no cálculo eventos ligados a temperaturas extremas e incêndios o percentual passa dos 86%, impactando todo o planeta sob diferentes perspectivas.

Do ponto de vista ambiental, um dos efeitos associado a esses eventos é o estresse na biodiversidade, que impacta na distribuição de espécies e reduz a variabilidade e riqueza dos ecossistemas (CHEN, *et. al*, 2020). Do ponto de vista social, um dos efeitos é a migração da população para outras regiões, o que estabelece uma nova categoria de migrantes, os migrantes climáticos, pessoas que tiveram que abandonar suas casas devido à ocorrência de eventos climáticos extremos (FERRI, 2021 e WEF, 2024). De 2008 a 2016 mais de 20 milhões de pessoas foram obrigadas a deixar as suas casas devido a ocorrência de eventos como tempestades, inundações, incêndios e temperaturas mais quentes (WEF, 2020). Esses fluxos migratórios têm um potencial de aumentar a desigualdade social, gerando fome e pobreza.

Tais eventos têm um potencial de gerar impactos econômicos, o que tem levado diversos pesquisadores a avaliar a relação de tais desastres com o crescimento econômico, porém os achados são divergentes (LOYAZA, *et. al.*, 2012). Alguns modelos de capital preveem que a ocorrência de desastres pode acelerar temporariamente o crescimento, embora possa levar a um desvio negativo

permanente da trajetória de crescimento caso os estoques existentes, físicos ou humanos, não forem suficientes (LOYAZA, *et. al.*, 2012).

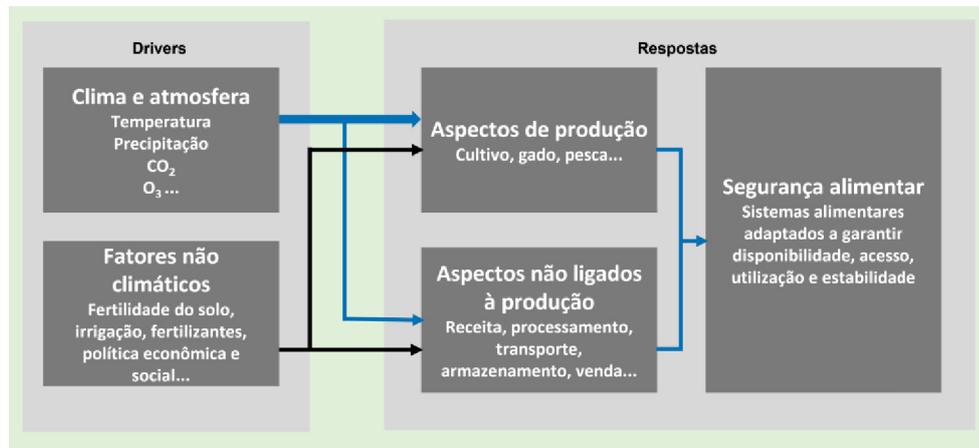
O estudo conduzido por Rasmussen (2004) identificou que a ocorrência dos desastres levaria a uma redução média no PIB de 2,2%, enquanto Roson e Mensbrugghe (2010) encontraram uma redução no PIB global de 1,8% em 2050 e 4,6% em 2100. Em contrapartida, Skidmore e Toya (2002) avaliaram o crescimento médio do PIB *per capita* no período de 1960 a 1990, tendo encontrado relação entre os desastres climáticos e o crescimento econômico de longo prazo, enquanto desastres geológicos afetariam negativamente a economia. Já outros estudos não encontraram relação positiva ou negativa, como no caso de Caselli e Malhotra (2004) (LOYAZA, *et.al*, 2012). Na verdade, os eventos associados à mudança climática afetam os diferentes setores da economia, como agricultura, indústria e serviços, de forma diferente (LOYAZA, *et. al*, 2012). Tempestades, por exemplo, podem prejudicar o crescimento na agricultura temporariamente, aumentar doenças de plantas e reduzir a produção e, ao mesmo tempo, impulsionar o crescimento industrial devido ao investimento realizado para reconstrução da área afetada (LOYAZA, *et. al*, 2012). Portanto, a análise da economia de forma geral pode mascarar possíveis efeitos positivos ou negativos em determinados setores.

O Fórum Econômico Mundial (WEF - *World Economic Forum*), por sua vez, em seu relatório de 2024 aponta que o principal risco global à economia é a ocorrência de eventos climáticos extremos (WEF, 2024). Ao passo que o relatório do CRED (2023) estima que as perdas econômicas decorrentes dos eventos supracitados ocorridos em 2022 ultrapassa a casa de bilhões de dólares, enquanto somente as secas no Brasil levaram a uma perda estimada em 4 bilhões de dólares.

### 2.3.1 Os efeitos da mudança climática na agropecuária

A atividade agropecuária envolve aspectos relacionados à produção, como colheita, pecuária, pesca e alimentos, e aspectos não relacionados à produção, como receita, processamento, armazenamento, embalagem, transporte e distribuição, marketing e venda, refeições, gestão de alimentos domésticos e eliminação de resíduos (PORTER, *et. al*, 2014). A Figura 1 a seguir apresenta um esquema com esses aspectos e sua relação com fatores climáticos e segurança alimentar.

FIGURA 1 – RELAÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS E NÃO CLIMÁTICOS COM A SEGURANÇA ALIMENTAR



FONTE: Adaptado de PORTER, *et. al*, 2014

Os impactos da mudança climática podem afetar todos os aspectos ligados à atividade agropecuária. No entanto, assim como ocorre para outros setores, o impacto pode variar geográfica e temporalmente, tornando sua avaliação complexa (PORTER, *et. al*, 2014). Ademais, a forma como os impactos irão afetar uma localidade depende dos fatores econômicos e sociais pré-existentes (VERMEULEN, *et. al*, 2012). Cerca de 80% da variação na produtividade agrícola é proveniente da variabilidade climática sazonal e interanual, e os demais 20% restantes estão associados a questões econômicas, políticas e sociais (BRASIL, 2016a).

Embora muitas pessoas não se sintam “parte” da estrutura agropecuária, todos os seres humanos participam do sistema, seja como forma de trabalho, ou como forma de nutrição e outras funções sociais (VERMEULEN, *et. al*, 2012). Portanto todos são afetados por danos nesse sistema.

Com a mudança climática, uma maior quantidade de radiação solar é retida na atmosfera, aumentando assim sua disponibilidade. Embora a radiação solar seja fundamental para um adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, uma quantidade elevada de radiação solar pode levá-las à saturação luminosa, diminuindo assim a eficiência no uso da radiação (CASAROLI, *et al.*, 2007).

O efeito negativo do excesso de radiação absorvido pelas plantas ocorre devido ao aumento interno de temperatura, que promove um aumento do fluxo respiratório. Quando o fluxo respiratório fica maior que o fluxo hídrico da planta, há um fechamento dos estômatos (CASAROLI, *et al.*, 2007). Em estudo realizado por

Asseng, *et al.* (2015) foi identificado que essas condições não ideais de fotossíntese e respiração podem levar a uma redução de 6% na produção de trigo.

Quando falamos de temperatura, seu aumento médio atual de 1,09°C em relação ao período pré-industrial e o potencial aumento em até 3°C até o final do século (IPCC 2023) tem como uma possível consequência a incidência de invernos rigorosos em algumas regiões do planeta, ou seja, períodos com uma redução grande na temperatura. Nessa condição, há uma baixa radiação solar que também impactará negativamente a produção agrícola. Em regiões temperadas, por exemplo, a redução do rendimento na produção de trigo pode chegar a 40% (Makinen, *et al*, 2018).

Ademais, nas regiões de clima temperado, estima-se que na segunda metade deste século as temperaturas médias se tornarão as mesmas que as atuais temperaturas extremas, já nas regiões de clima tropical e subtropical as temperaturas médias serão maiores, o que provocará grandes mudanças na produção dos alimentos (BATTISTI e NAYLOR, 2009). Esse aumento acentuado de temperatura tornará todas as regiões suscetíveis a perdas de produção agrícola e pecuária, embora os impactos sobre a disponibilidade global de alimentos sejam menos acentuados graças a fatores compensatórios como mercados globais aprimorados (VERMEULEN, *et. al*, 2012). Segundo o IPCC (2021a), a mudança climática provocada pelos seres humanos tem provocado um aumento da evapotranspiração do solo, aumentando assim a ocorrência de secas agrícolas e necessidade por irrigação. As secas agrícolas são caracterizadas por um período anormal com déficit de umidade no solo devido à baixa precipitação e elevada temperatura, resultando em uma combinação de escassez de chuva e excesso de evapotranspiração, que durante o estágio vegetativo e reprodutivo das plantas cultivadas, venham a afetar a produção agrícola ou a função do ecossistema em geral. Essas mudanças são diferentes das observadas em períodos de secas meteorológicas (IPCC, 2023).

As mudanças nos padrões de radiação solar, temperatura e precipitação supracitadas podem, portanto, causar instabilidade do preço de alimentos, com projeções indicando um aumento de até 84% nos preços em 2050, o que, por sua vez, pode levar a uma redução no acesso à comida (Porter, *et.al*, 2014). Funk e Brown (2009) utilizaram modelos matemáticos para estimar que os impactos na agricultura resultarão em um declínio na produção de alimento *per capita*. Já Nelson

*et. al* (2009) previram variações de mais de 30% no rendimento para três alimentos básicos (milho, arroz e trigo). Enquanto na pesca, dados históricos mostram uma redução na produtividade de 1% ao ano em oito das dez regiões oceânicas do mundo (BOYCE, *et. al*, 2010).

Embora o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> possa ter um efeito benéfico em algumas plantas, em um contexto de aumento de temperatura o efeito positivo do CO<sub>2</sub> pode ser anulado (LIMA e ALVES, 2008). Os impactos vão além da redução da produção, eles atingem também a qualidade dos produtos. O estudo realizado por Taub, Miller e Allen (2007), que analisou 228 experimentos, identificou que um CO<sub>2</sub> elevado (entre 540 e 958ppm) reduziu a concentração de proteínas no trigo, cevada, arroz e batata em 10% e 15% na soja. Os experimentos agrícolas conduzidos por TIRADO *et al.* (2010) mostraram como a produção agrícola é afetada por inundações, sendo encontrado um maior risco de contaminação das terras agrícolas, águas subterrâneas e superficiais por metais pesados, resíduos agrícolas e perigosos.

A mudança climática pode ainda provocar um aumento da ocorrência de doenças nas diferentes culturas agrícolas. O estudo que analisou a vulnerabilidade da cultura de trigo à mudança conduzido por Pequeno *et al.* (2024) mostrou que o aumento da temperatura e umidade pode aumentar a área suscetível a infecções provocadas por fungos especialmente no hemisfério Sul, o que pode reduzir a produção global de trigo em 13% até metade do século.

Na pecuária as consequências da mudança climática estão sendo sentidas nas pastagens, abastecimento de água e comida aos animais, doenças e diversidade genética (VERMEULEN, *et. al*, 2012). Uma modelagem realizada por GUIZ, *et al.* (2012) mostrou uma relação entre o surgimento e disseminação de uma doença viral nos ruminantes, a febre catarral ovina, à mudança climática. Além disso, pequenos criadores localizados em regiões áridas e semiáridas estão mais propensos à morte dos animais em decorrência das secas (VERMEULEN, *et. al*, 2012). Já a produção de frangos poderá ser afetada pelo aumento da temperatura, com perdas de rendimento e aumento de mortalidade, tendo em vista que esses animais são sensíveis a altas temperaturas e podem morrer caso ela ultrapasse 38°C (LIMA e ALVES, 2008).

No Brasil estudos já mostram os efeitos negativos provocados pelas mudanças no regime de precipitação e temperatura. A ocorrência de chuvas de alta

intensidade em um curto intervalo de tempo ao invés de chuvas espaçadas durante o período produtivo traz prejuízos aos produtores brasileiros tendo em vista que somente 5% das áreas agrícolas do país são irrigadas (NAKAI, *et al.*, 2015). Além disso, a ocorrência de chuvas intensas potencializa erosões, com isso lixivia e contamina os rios e mananciais e reduz a produção agrícola. Simulações realizadas pela Fundação Eliseu Alves mostraram um aumento do risco climático para áreas plantadas a partir de 2012 no país para a maioria das lavouras (BRASIL, 2015). Ademais, foi constatado impactos mais relevantes para a cultura de soja, com alguns municípios do país deixando de produzi-la devido ao seu elevado risco climático (BRASIL, 2015).

### 2.3.2 Mitigação, adaptabilidade e resiliência à mudança climática

Com base nas situações apresentadas, fica evidente a necessidade da adoção de medidas que visem minimizar os efeitos associados à mudança climática. Essas ações estão relacionadas a medidas de mitigação e adaptabilidade. Sob a ótica da mudança climática, mitigação são intervenções humanas que tem por objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa ou aumentar os sumidouros de GEE, enquanto adaptação é o processo de ajuste ao clima e seus efeitos, com o intuito de moderar os efeitos e/ou aproveitar oportunidades (IPCC, 2018). Políticas voltadas para eficiência energética, recuperação de biogás de sistemas de dejetos de animais, manejo sustentável do solo e melhoramento e manipulação da dieta animal são alguns dos exemplos de medidas de mitigação. Enquanto a construção de edifícios e infraestrutura mais seguras contra tempestades, a restauração de ecossistemas, melhoramento genético de sementes adaptadas à restrição hídrica são exemplos de medidas de adaptação.

A definição de quais medidas serão utilizadas demanda a construção de uma estratégia de enfrentamento à mudança climática. Essa estratégia pode ser construída local, nacional ou mundialmente. Durante as COPs, por exemplo, os países estabeleceram um compromisso global de limitar o aumento da temperatura média global, com isso cada país avaliou suas necessidades e estabeleceram metas para redução das emissões de GEE, e conseqüentemente, redução dos riscos ligados à mudança climática. Todavia, as ações a serem implantadas variam conforme as características e a forma como cada país está sendo afetado pela

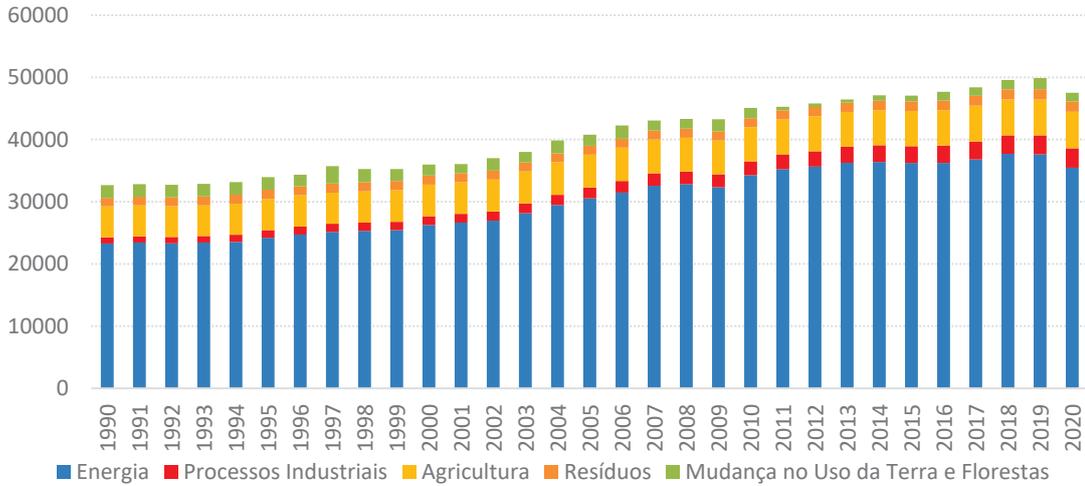
mudança climática (GHINOI, *et al*, 2021). No caso de países pequenos, de maneira geral, há um mesmo padrão ou um padrão semelhante de clima, geografia e economia, o que torna possível a adoção de ações únicas de mitigação e adaptação para todo o território. Já no caso no Brasil, com sua vasta extensão territorial, cada região do país possui diferentes características climáticas, geográficas, sociais e econômicas, o que torna o processo de definição de ações de mitigação mais complexo, demandando a definição de diferentes ações para cada região (CASTRO, 2014). Feita a definição das ações nacionais, cabe a cada estado desdobrá-las localmente, e cabe a cada empreendimento adotá-las. Esse exemplo mostra a importância de cada ente rumo à descarbonização.

Inicialmente, as medidas de mitigação eram vistas como a única alternativa para lidar com a mudança climática, já que seguir um caminho de adaptação parecia um reconhecimento da derrota e aceitação da mudança climática. À medida que seus efeitos são sentidos em diversas regiões do planeta e eventos climáticos extremos vêm ocorrendo, as medidas de adaptação têm sido consideradas tão importantes quanto as de mitigação e estão ganhando espaço nos planos e políticas públicas (GHINOI, *et al*, 2021). Cada vez mais temos observado governos locais integrando medidas de adaptação em suas estratégias, ao mesmo tempo que mantêm as medidas de mitigação.

## 2.4 PANORAMA DAS EMISSÕES DE GEE E MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA O SETOR AGROPECUÁRIO

Apesar de ser um setor com grande potencial de ser afetado pela mudança climática, o setor agropecuário contribui de forma expressiva nas emissões de GEE. Em termos globais, segundo estimativas realizadas pela plataforma ClimateWatch do WRI (*World Resources Institute*), o setor agropecuário é o segundo maior emissor de GEE, correspondendo a 12,3% das emissões totais de GEE no ano de 2020, ficando atrás apenas do setor de Energia (WRI, 2023). O Gráfico 1 a seguir apresenta o gráfico com as emissões de GEE ao longo dos anos conforme os setores indicados pelo IPCC a nível global.

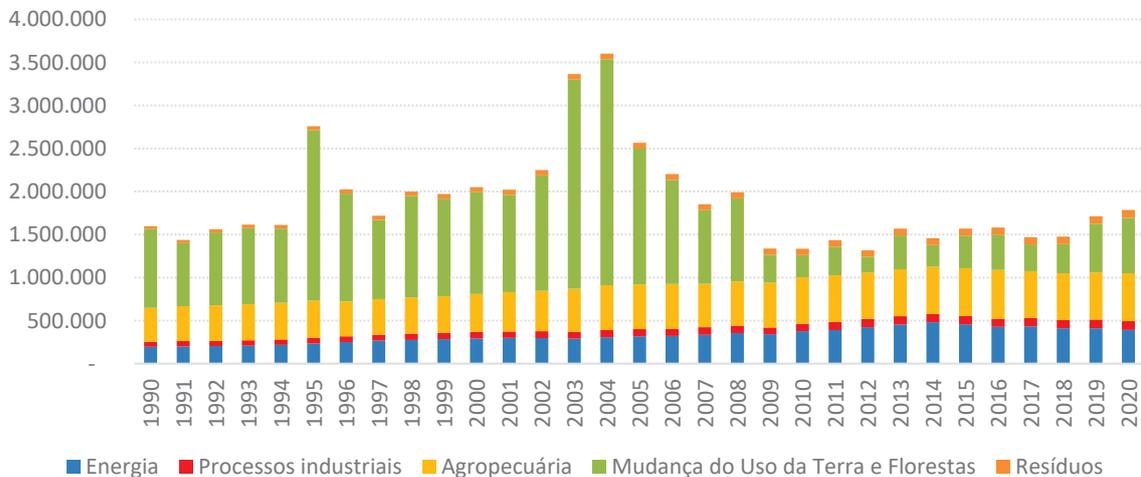
GRÁFICO 1 – EMISSÕES GLOBAIS DE GEE POR SETOR AO LONGO DOS ANOS (MtonCO<sub>2</sub>e)



FONTE: Adaptado de WRI, 2023.

A nível Brasil, dada a relevância do setor agropecuário, as emissões de GEE têm uma maior contribuição nas emissões de GEE em relação às emissões globais, como pode ser observado no Gráfico 2 a seguir. Elas representaram 31,1% das emissões totais de GEE no ano de 2020 (BRASIL, 2021a). Importante destacar que o volume de emissões enquadrados nesta categoria não contempla as emissões de GEE decorrentes do desmatamento de áreas utilizadas para atividades de agricultura e pecuária. Essas emissões são alocadas no setor de Mudança no Uso da Terra e Florestas.

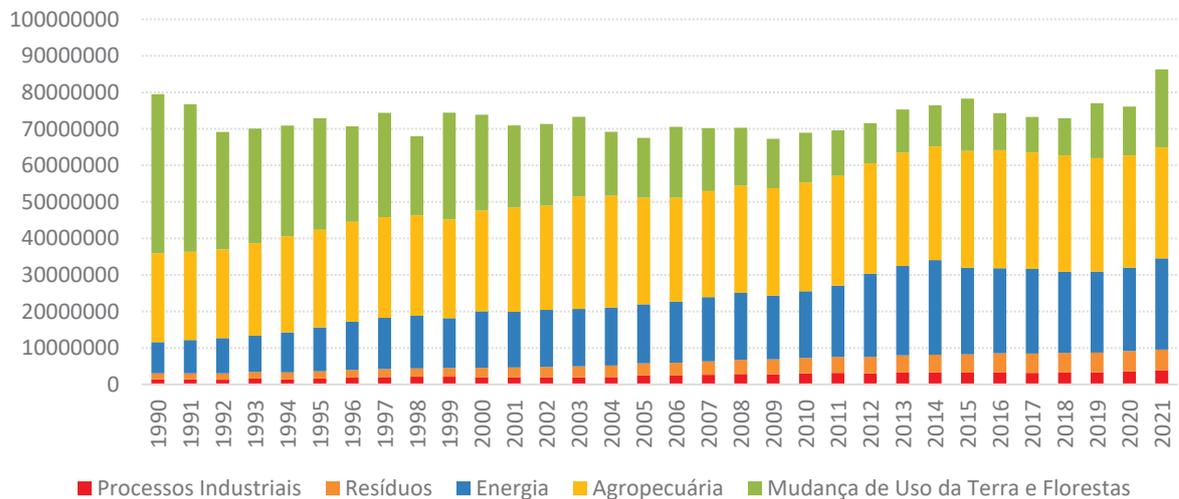
GRÁFICO 2 – EMISSÕES DE GEE POR SETOR DO BRASIL AO LONGO DOS ANOS (GgCO<sub>2</sub>e)



FONTE: Adaptado de BRASIL, 2021a.

Já para o estado do Paraná, segundo estimativas realizadas pelo SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa), iniciativa do OC (Observatório do Clima), as emissões do setor agropecuário corresponderam a 35,2% das emissões totais do estado no ano de 2021 (OC, 2023a). Portanto, o setor é o maior emissor do estado, o que está relacionado à participação do setor na economia do estado e reitera a importância da adoção de medidas de mitigação. O Gráfico 3 abaixo apresenta as emissões de GEE por setor para o estado do Paraná.

GRÁFICO 3 – EMISSÕES DE GEE POR SETOR DO ESTADO DO PARANÁ AO LONGO DOS ANOS (GgCO2e)



FONTE: Adaptado de OC, 2023.

Através do Gráfico 3 podemos observar que, em termos absolutos, as emissões decorrentes da Agricultura e Pecuária vem se mantendo no mesmo patamar, apesar do aumento das emissões totais de GEE. A redução da proporção das emissões em relação ao total para o ano de 2021 se deve ao aumento das emissões nos setores de Energia e Mudança no Uso da Terra e Florestas.

As emissões do Setor Agropecuário são subdivididas em cinco categorias, conforme Quadro 1 apresentado a seguir:

QUADRO 1 - CATEGORIAS DE EMISSÃO DO SETOR AGROPECUÁRIO

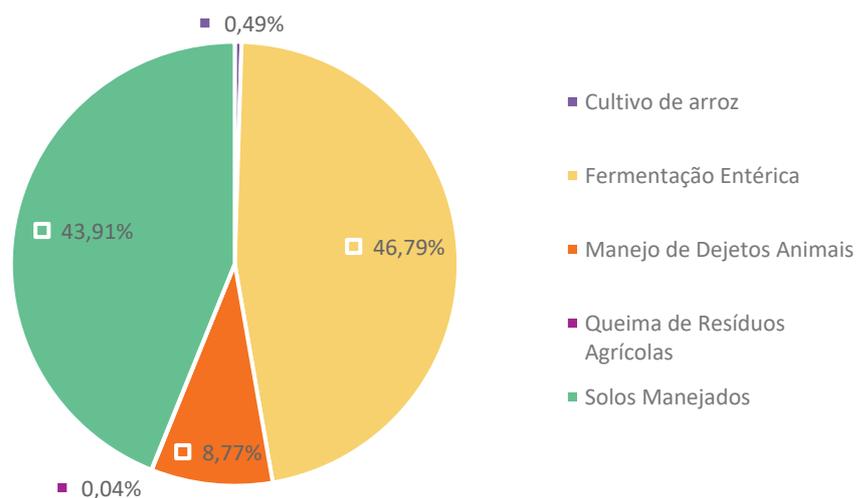
Categoria de Emissão	Definição
Fermentação Entérica	Emissões decorrentes da digestão de animais ruminantes

<b>Categoria de Emissão</b>	<b>Definição</b>
Manejo de Dejetos Animais	Emissões decorrentes do tratamento e disposição de dejetos de animais
Cultivo de Arroz	Emissões decorrentes do cultivo de arroz irrigado
Queima de Resíduos Agrícolas	Emissões decorrentes da queima de resíduos do cultivo de cana-de-açúcar e algodão
Solos Manejados	Emissões decorrentes da forma como solos agrícolas são manejados, considerando o incremento via utilização de insumos e operações agrícolas

FONTE: Adaptado de BRASIL, 2023a

Segundo as estimativas de emissões do SEEG, para o ano de 2021 o subsetor com maior contribuição nas emissões de GEE no estado do Paraná foi o subsetor de Fermentação Entérica, representando aproximadamente 47% das emissões totais do setor Agropecuário. O subsetor de Solos Manejados também é relevante para as emissões do setor Agropecuário, tendo representado aproximadamente 44% das emissões, como pode ser observado no Gráfico 4 abaixo.

GRÁFICO 4 – GRÁFICO COM AS EMISSÕES DE GEE POR SUBSETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ NO ANO DE 2021



FONTE: Adaptado de OC, 2023.

## 2.5 MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE NO SETOR AGROPECUÁRIO

Em termos de ações climáticas, o Brasil é signatário da UNFCCC e do Acordo de Paris. Ao assinar o Acordo de Paris, o Brasil apresentou sua meta de redução de emissões de GEE, bem como as ações a serem adotadas com o intuito de limitar o aumento da temperatura, por meio do documento intitulado Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, *Nationally Determined Contributions*). Nele o país se compromete a reduzir em 37% suas emissões de GEE até o ano de 2025, com base nas emissões de 2005, e em 50% até 2030 em relação a 2005 (BRASIL, 2022), metas ampliadas de 37% para 48% até 2025 e de 50% para 53% até 2030, com base nas emissões de 2005 na atualização da NDC. Na NDC é reconhecida a relevância do setor agrícola para a economia do país e é sinalizado que o país pretende implementar ações de adaptação com o intuito de minimizar os efeitos associados à mudança climática, todavia não há sinalização de ações de mitigação (BRASIL, 2022).

O país vem atuando no desenvolvimento de políticas climáticas antes mesmo de ter assinado o Acordo de Paris. As primeiras ações na temática passaram a ser adotadas a partir da primeira década dos anos 2000 com a criação da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede Clima), cujo principal objetivo é desenvolver informações científicas sobre o tema. Em termos de políticas públicas, nesse mesmo período foram elaboradas a Política e o Plano Nacional de Mudanças Climáticas, considerados os marcos legais do Brasil no endereçamento de ações de mitigação e adaptação climática (NOBRE, 2008). No Plano Nacional de Mudanças Climáticas são apresentadas uma série de medidas com o objetivo de reduzir as emissões de GEE do país. As ações previstas ao Setor Agropecuário foram as seguintes:

- Redução gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar: na ocasião o embasamento legal foi o Decreto Federal nº 2661 de 08/07/1998, que estabelecia normas de precaução relativas ao uso do fogo em práticas agroflorestais (BRASIL, 2008);
- Programa Produção Sustentável do Agronegócio: programa de financiamento para recuperação de áreas de pastagem degradadas. O intuito era adotar

sistemas integrados Lavoura-Pecuária-Silvicultura, correção e manejo de solo e adequação ambiental de propriedades rurais (BRASIL, 2008);

- Novas Práticas Agropecuárias: como recuperação de pastos degradados para não abertura de novas áreas, adoção de sistemas de Lavoura-Pecuária, sistemas agroflorestais ou agrossilvipastoris, adoção de plantio direto e enriquecimento orgânico das pastagens (BRASIL, 2008);
- Programa de Zoneamento da Cana-de-Açúcar, visando promover discussões sobre o desenvolvimento de culturas energéticas e de grãos (BRASIL, 2008);
- Plano Nacional de Agro-Energia, com o intuito de indicar ações de governo no mercado internacional de biocombustível (BRASIL, 2008).

A Política Nacional de Mudança Climática, por sua vez, previu a elaboração e planos setoriais para definição de ações, indicadores e metas específicas para monitoramento do compromisso voluntário de redução de emissões assumido em 2010 (BRASIL, 2023b). Nesse sentido, foi publicado o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC). O objetivo do Plano ABC é promover a mitigação das emissões de GEE do setor agropecuário, melhorar o uso dos recursos naturais, aumentar a resiliência dos sistemas produtivos e possibilitar a adaptação climática do setor (BRASIL, 2012). Ele passou por um primeiro ciclo entre os anos de 2010 e 2020 e atualmente está no segundo ciclo, que contempla o período de 2020 a 2030 (Plano ABC+).

### 2.5.1 Estratégias do Plano ABC Brasil

O Plano ABC consiste em uma política pública com as ações de mitigação e adaptação climática previstas para o setor agropecuário do Brasil. A seguir são apresentadas as estratégias previstas no âmbito da mitigação climática.

#### 2.5.1.1 Recuperação das pastagens degradadas

A degradação das pastagens é um processo de perda de produtividade e capacidade de recuperação natural das pastagens. Com o seu aumento, há uma perda de cobertura vegetal e redução do teor de matéria orgânica no solo, havendo assim, um aumento da emissão de CO<sub>2</sub>. As ações previstas para recuperação envolvem:

- a capacitação de técnicos em recuperação de pastagens degradadas, bem como a de produtores rurais; e

- o mapeamento das áreas prioritárias

Com isso, esperava-se recuperar 15 milhões de hectares de pastagem degradada até o ano de 2020 e o potencial de mitigação das emissões de GEE dessas iniciativas variavam de 83 a 104 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e (BRASIL, 2012).

#### 2.5.1.2 Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Sistemas Agroflorestais

A iLPF consiste na adoção de plantação sustentável que integra atividades de pecuária, agrícola e/ou florestais, todas realizadas na mesma área, com cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação buscando um benefício mútuo as todas as atividades e otimizando assim o uso da terra. Esse método tem como vantagens o aumento do potencial de produção em uma mesma área, fixação de carbono e nitrogênio, melhor uso dos insumos e menor emissão de GEE, entre outros. As ações previstas foram:

- Realização de campanhas publicitárias;
- Capacitação dos técnicos e produtores rurais em técnicas SAF e iLPF e adaptação climática;
- Realização de eventos de transferência de tecnologia;
- Ampliação das Unidades de Referência Tecnológica (URT) em sistemas SAF e iLPF, mantendo-as como suporte às ações de transferência tecnológica e monitoramento;
- Implantação e/ou intensificação de atividades de pesquisa nesses sistemas, bem como o desenvolvimento de indicadores de monitoramento da redução das emissões de GEE;
- Criação de banco de dados sobre iLPF e SAF, bem como levantamento das ações realizadas nos estados;
- Mapeamento das áreas prioritárias, com a definição das áreas estratégicas de cada estado, baseado em critérios de sustentabilidade;
- Disponibilização de mudas para implantação desses sistemas em assentamentos de reforma agrária e agricultores familiares;
- Criação de linhas de financiamento (Linha ABC e Pronaf) (BRASIL, 2012).

O resultado esperado dessas ações era a implantação de 4 milhões de hectares com o uso de SAF e ILPF até o ano de 2020, as quais têm um potencial de mitigar de 18 a 22 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e.

#### 2.5.1.3 Sistema Plantio Direto

Os Sistemas de Plantio Direto (SPD) consistem em sistemas agroecológicos nos quais não são utilizados ou são utilizados minimamente mecanização agrícola, bem como corretivos de acidez do solo, fertilizantes químicos, fungicidas e herbicidas. Tais sistemas propiciam um aumento da produtividade devido a presença de matéria orgânica, redução do desmatamento e recuperação de áreas degradadas (CABANÊZ, 2012).

O SPD contribui para redução das emissões de GEE devido a manutenção do carbono no solo. Quando o solo passa por uma preparação prévia antes da realização do plantio, o carbono do solo que se encontra em fase instável é exposto a ataque microbiano, o que leva a emissão de CO<sub>2</sub>. Ademais, a preparação do solo aumenta a sua temperatura e oxigenação, fraciona e incorpora os resíduos ao solo, o que por sua vez leva a um aumento da atividade biológica e, conseqüentemente, no fluxo de CO<sub>2</sub> (CABANÊZ, 2012).

Dentre as ações previstas no Plano ABC para aumento do uso desta técnica estão:

- Realização de campanhas publicitárias;
- Capacitação dos técnicos e produtores rurais em técnicas SPD e adaptação climática;
- Realização de eventos de transferência de tecnologia;
- Ampliação das Unidades de Referência Tecnológica (URT) em SPD, mantendo-as como suporte às ações de transferência tecnológica e monitoramento;
- Implantação e/ou intensificação de atividades de pesquisa em SPD, bem como o desenvolvimento de indicadores de monitoramento da redução das emissões de GEE;
- Estabelecimento de indicadores de qualidade para monitoramento da técnica;
- Desenvolvimento de alternativas ao uso de herbicidas e ao uso de máquinas e implementos;

- Criação de banco de dados sobre SPD, bem como levantamento das ações realizadas nos estados;
- Mapeamento das áreas prioritárias, com a definição das áreas estratégicas de cada estado, baseado em critérios de sustentabilidade;
- Criação de linhas de financiamento (Linha ABC e Pronaf) (BRASIL, 2012).

O resultado esperado era a implantação de 8 milhões de hectares com o uso de SPD, bem como ter técnicos e produtores capacitados. O potencial de mitigação dessas iniciativas é de 16 a 20 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e (BRASIL, 2012).

#### 2.5.1.4 Fixação Biológica de Nitrogênio

O nitrogênio é o principal nutriente utilizado pelas plantas, todavia como sua disponibilidade no solo (forma na qual seu uso é possível pelas plantas) é baixa, a agricultura utiliza fertilizantes industriais à base de nitrogênio. O uso de tais fertilizantes leva à emissão de CO<sub>2</sub>, que é liberado em sua síntese. Além disso, como a eficiência de uso pelas plantas varia de 30 a 60%, seu uso leva a perdas por lixiviação e a emissão de N<sub>2</sub>O (MEYER, 2022).

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) consiste na sintetização da enzima *nitrogenase* por bactérias, essa enzima é capaz de quebrar a ligação química do N<sub>2</sub> e transformá-lo em amônia. Tais bactérias se associam com as plantas em um processo de simbiose, fornecendo o nitrogênio no formato necessário para o uso da planta hospedeira, que por sua vez, retorna em suprimento energética para as bactérias (MEYER, 2022). Como essa técnica aumenta a disponibilidade de nitrogênio das plantas, há uma redução da necessidade de uso de fertilizantes industriais, o que acarreta a redução das emissões de GEE. Dentre as ações previstas no Plano ABC para aumento do uso desta técnica estão:

- Realização de campanhas publicitárias;
- Capacitação dos técnicos e produtores rurais em FBN e adaptação climática;
- Realização de eventos de transferência de tecnologia;
- Adoção de estratégias de transferência de tecnologia para FBN em feijão-caupi nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste
- Ampliação das Unidades de Referência Tecnológica (URT) em FBN, mantendo-as como suporte às ações de transferência tecnológica e monitoramento;

- Implantação e/ou intensificação de atividades de pesquisa em FBN, visando o desenvolvimento de novos inoculantes para, pelo menos, as culturas de milho, cana-de-açúcar, feijão-caupi, feijão-comum e trigo;
- Disponibilização de inoculantes para em assentados de reforma agrária e agricultores familiares;

O resultado esperado era a ampliação em 5,5 milhões de hectares com o uso de FBN e redução no uso de nitrogênio de origem fóssil. O potencial de mitigação dessas iniciativas é de 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e (BRASIL, 2012).

#### 2.5.1.5 Florestas Plantadas

As florestas plantadas consistem no plantio de florestas realizado pelo homem de espécies de rápido crescimento, usualmente dos gêneros Pinus e Eucalipto (MOREIRA, 2017). No Brasil esse processo ganhou força a partir da década de 1960 devido a políticas de incentivo fiscal para o reflorestamento, e a partir de então, seu plantio foi consolidado para uso comercial (BRASIL, 2020a).

Uma das principais características das florestas plantadas é que elas ocorrem, em maior parte, em sistema de monocultura. Ademais, grande parte dos custos até a idade do corte estão relacionados à implantação do cultivo, com o retorno financeiro ocorrendo anos após a implantação. Embora essa característica nem sempre seja bem-vista, ela permite ao produtor alcançar diferentes mercados de produtos e flexibiliza a data da colheita, o que possibilita ao produtor definir o melhor momento para realizá-lo segundo a variação de mercado (MOREIRA, 2017).

Do ponto de vista ambiental, essa técnica permite a diminuição da pressão sobre florestas nativas, o reaproveitamento de terras degradadas, a proteção do solo e água e o sequestro de carbono (BRASIL, 2020a). Além disso, as florestas plantadas podem gerar uma renda de longo prazo ao produtor e aumentar a oferta de madeira para fins industriais (BRASIL, 2012). Dados esses benefícios, as ações definidas no Plano ABC para um aumento da área de florestas plantadas em 3 milhões de hectares foram:

- Realização de campanhas publicitárias;
- Capacitação dos técnicos e produtores rurais em florestas plantadas;
- Realização de eventos de transferência de tecnologia;

- Ampliação das Unidades de Referência Tecnológica (URT) em florestas plantadas, mantendo-as como suporte às ações de transferência tecnológica e monitoramento;
- Implantação e/ou intensificação de atividades de pesquisa em florestas plantadas, bem como o desenvolvimento de indicadores de monitoramento da redução das emissões de GEE;
- Mapeamento das áreas prioritárias, com a definição das áreas estratégicas de cada estado, baseado em critérios de sustentabilidade;
- Criação de linhas de financiamento (Linha ABC e Pronaf) (BRASIL, 2012).

Diferentemente das demais alternativas, no caso das florestas plantadas não foi avaliado o potencial de mitigação das emissões de GEE.

#### 2.5.1.6 Tratamento de Dejetos Animais

Durante a produção pecuária há uma elevada geração de dejetos dos animais, sendo responsáveis pela emissão de metano, gás de efeito estufa. Um tratamento adequado, incluindo sistema para a recuperação do metano além de mitigar as emissões de GEE possibilita o uso do composto orgânico como fertilizante, o aproveitamento energético do metano gerado, podendo ser utilizado para geração de energia elétrica e térmica, e podendo ainda gerar renda extra aos produtores (SILVA, 2020).

Para um aumento do tratamento adequado dos dejetos animais foram definidas as seguintes ações no Plano ABC:

- Realização de campanhas publicitárias;
- Capacitação dos técnicos e produtores rurais no tratamento de dejetos animais;
- Implantação e/ou intensificação de atividades de pesquisa de tratamento de dejetos animais, bem como o desenvolvimento de indicadores de monitoramento da redução das emissões de GEE;
- Adequação dos mecanismos de incentivos para indústrias que forneçam suprimentos para o setor de biogás e geração de energia, bem como a geração do fertilizante orgânico dos dejetos e efluentes (BRASIL, 2012).

Com isso, esperava-se tratar 4,4 milhões de toneladas de dejetos até o ano de 2020 e, conseqüentemente, mitigar a emissão de 6,9 toneladas de Mg CO<sub>2e</sub> (BRASIL, 2012).

### 2.5.2 Estratégias do Plano ABC+ Brasil

Dentre as estratégias apontados no Plano ABC+ está a manutenção dos sistemas agropecuários apontados no Plano ABC, como sistemas ILPF, ILP, IPF, SAF, SPD, FBN, florestas plantadas, recuperação de pastagens degradadas e tratamento de dejetos animais (BRASIL, 2021b).

O Plano ABC+ reforça ainda a importância das ações de capacitação e transferência de tecnologia e necessidade de ampliação dos instrumentos econômico-financeiros (BRASIL, 2021b).

O que temos de novo para o segundo ciclo são as ações direcionadas à melhoria da governança das ações previstas, incluindo a adoção de Mecanismos de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) (BRASIL, 2021b). Nesse sentido o Governo pretende adotar um sistema integrado para a gestão dos dados, o Sistema de Informações do Plano ABC (SINABC). O SINABC incorporará em um único sistema as informações disponibilizadas em diversos sistemas, como o Sistema de Governança do Plano ABC (SIGABC), o Sistema de Operações de Crédito Rural e do Proagro (Sicor) e da Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Emissões de GEE na Agropecuária (Plataforma ABC). Ademais, haverá dois comitês para realizar a governança do SINABC, o Comitê Técnico de Acompanhamento do Plano ABC (CTABC) e a Comissão Executiva Nacional do Plano ABC (CENABC), o primeiro com o papel de definir as diretrizes para o monitoramento das ações e o segundo de acompanhar sua implantação (BRASIL, 2021b).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, adotou-se o mesmo processo utilizado para a elaboração do Plano de Ação Climática 2050 do estado de São Paulo (PAC 2050), especificamente para a categoria de emissões e remoções do setor Agropecuário (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2022). Nele, para o cálculo de emissões e remoções de GEE, bem como coleta dos dados de atividade foi adotada a metodologia utilizada pelo SEEG, que é uma adaptação do processo de cálculo utilizado no Inventário Nacional de Emissões e Remoções do Brasil (OC, 2023b). O ano de 2050 foi selecionado por se tratar do ano indicado pelo IPCC como o ano no qual a humanidade deve alcançar a neutralidade de emissões.

Com o intuito de facilitar a gestão do processo, o trabalho foi estruturado em três grandes etapas: a etapa 1 consiste no levantamento dos dados de atividade, já a etapa 2 consiste no cálculo das emissões e remoções de GEE, enquanto a etapa 3 consiste na realização de estimativas de emissões e remoções até o ano de 2050.

#### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE ATIVIDADE

A etapa 1, de Levantamento de Dados, consiste na coleta das informações históricas e projeções futuras do setor agropecuário do estado do Paraná. Para os dados históricos foram utilizadas as informações disponibilizadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) através da PAM (Produção Agrícola Municipal), PPM (Pesquisa de Pecuária Municipal) e Censo Agropecuário. As informações utilizadas foram as seguintes:

1. Número de bovinos total, suínos total, suínos matrizes, ovinos, bubalinos, caprinos, equinos, galináceos total, galinhas e codornos no período de 1974 a 2022 extraídos da Tabela 3939 – Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (IBGE, 2023a);
2. Número de muares e asininos para o período de 1974 a 2012 extraídos da Tabela 73 – Efetivo de rebanho, por tipo de rebanho (série encerrada) (IBGE, 2023b). Para o período de 2013 a 2022 os dados foram calculados por interpolação linear, seguindo a mesma metodologia adotada pelo SEEG para a estimativa anual das emissões de GEE (OC, 2023b);

3. Número de vacas ordenhadas para o período de 1974 a 2022 extraídos da Tabela 94 – Vacas ordenhadas (IBGE, 2023c);
4. Para a definição do número de bovinos confinados foi utilizado o percentual indicado no Relatório de Referência de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b), aplicado ao número de bovinos total;
5. Produção de leite para o período de 1974 a 2022 extraída da Tabela 74 – Produção de origem animal, por tipo de produto (IBGE, 2023d);
6. Para a obtenção do número de vacas de baixa e alta produção, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b), na qual dividiu-se a produção de leite (IBGE, 2023d) pelo número de vacas ordenhadas (IBGE, 2023c) a nível municipal. Os municípios com produção inferior a 2000L/vaca/ano são classificados como baixa produção, enquanto os municípios com produção igual ou superior a 2000L/vaca/ano são enquadrados como alta produção;
7. A produção de carcaças para o período de 2018 a 2024 foi extraída da Tabela de Oferta e Demanda de Carnes publicada pelo Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) (BRASIL, 2023c);
8. O número de bovinos abatidos para o período de 1997 a 2023 foi extraído da Tabela 1092 da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais (IBGE, 2023e). Para o ano de 2023 estão disponíveis apenas os dados dos três primeiros trimestres, portanto, para o quarto trimestre foi utilizada a média dos três primeiros trimestres;
9. A área colhida e produção de lavouras temporárias para o período de 1974 a 2022 foram extraídas da Tabela 1612 da Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2023f);
10. A área do milho da primeira safra para o período de 1974 a 2022 foi extraída da Tabela 839 da Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2023g);
11. A área de pastagem para o período de 1985 a 2022 foi extraída da 8ª coleção da plataforma do MapBiomas (OC, 2023c);

12. A área de arroz irrigado para o período de 1990 a 2016 foi extraída da Tabela 5 do Relatório de Referência de Cultivo de Arroz do 4º inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (BRASIL, 2020c);
13. Para a produção de arroz irrigado foi utilizada a proporção nacional adotada no do Relatório de Referência de Cultivo de Arroz do 4º inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (BRASIL, 2020c);
14. A produção de etanol e açúcar para o período de 2000 a 2020 foi extraída do Observatório da Cana e Bioenergia da UNICA (União da Indústria da Cana-de-Açúcar e Bioenergia) (UNICA, 2023);
15. Para o consumo de fertilizante sintético houve a extrapolação do consumo de 2004 (LOUREIRO, 2009) com base no consumo de fertilizante e a emissão do Brasil com a emissão do Paraná para essa categoria (OC, 2024);
16. O consumo de calcário para o período de 1992 a 2020 foi extraído da ABRACAL (Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola) (ABRACAL, 2021);
17. Para a área de solo orgânico manejada foi utilizada a premissa adotada na Nota Metodológica do SEEG (OC, 2023b), que utiliza os dados do Relatório de Referência de Solos Manejados do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (BRASIL, 2020d) e a indicação do tipo de solos orgânicos sob algum tipo de manejo, como áreas agrícolas, de pastagens e de reflorestamento de Canto, *et. al* (2020);
18. Para a obtenção do percentual de área que pratica a queima foi utilizada a abordagem da Nota Metodológica do SEEG (OC, 2023b), que adota o percentual de área com colheita manual publicado pelo Conab para o período de 2007 a 2022 (Brasil, 2023d).

### 3.2 CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

As emissões e remoções de GEE foram calculadas seguindo a metodologia e fatores de emissão adotados no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2021c), que por sua vez está embasada na metodologia do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

Elas foram calculadas por gás de efeito estufa, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, sendo convertidas em CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub> equivalente) através do uso do Global Warming Potential (GWP) do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5, *IPCC Fifth Assessment Report*). A conversão em CO<sub>2</sub>e é necessária, pois cada gás de efeito estufa tem um diferente forçamento radioativo e tempo de permanência na atmosfera, portanto não seria possível somar as emissões de GEE sem antes convertê-las a uma mesma base. No caso, foi adotado o GWP, que é calculado como a razão do forçamento radioativo de um quilograma de GEE emitido na atmosfera por um quilograma de CO<sub>2</sub> no período de 100 anos (IPCC, 2018).

Os cálculos foram estruturados em planilha Excel e as equações utilizadas são apresentadas no Apêndice I deste documento.

### 3.3 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE PARA 2050

Foram realizadas três estimativas das emissões e remoções de GEE até 2050: a primeira denominada de Cenário 1 - *Business as Usual* (BAU), a segunda denominada Cenário 2 - ABC+ e a terceira denominada Cenário 3 - ABC+ e ações adicionais propostas neste trabalho.

Para o Cenário 1, a estimativa das emissões e remoções de GEE até o ano de 2050 foi realizada com base em uma projeção dos dados de atividade de 2023 até 2050. Para os anos de 2023 a 2033 utilizou-se a projeção de produção e área para as culturas de cana-de-açúcar, milho e soja (Brasil, 2023e). Para os demais anos e demais culturas foi aplicada a taxa de crescimento móvel dos últimos cinco anos somada ao dado do último ano. Já para os casos em que houve uma alta taxa de redução, aplicou-se a média móvel dos últimos cinco anos, de modo que a produção e área não sejam zeradas. Esses dados de atividade foram os mesmos adotados para os Cenários 2 e 3.

Para o Cenário 2 foram aplicadas as ações previstas no Plano ABC+ do estado do Paraná (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b). Como o Plano ABC+ Paraná tem como ano alvo, ou seja, será concluído em 2030, as ações foram extrapoladas até o ano 2050. Já para o Cenário 3, até o ano de 2030 foram mantidas as ações previstas no Plano ABC+ Paraná, todavia a partir de 2030 foram realizadas propostas de ampliação das ações previamente mapeadas pelo estado.

O Quadro 2 a seguir apresenta um resumo das ações de mitigação consideradas nos Cenários 2 e 3, bem como a forma de cálculo utilizada.

QUADRO 2 – RESUMO DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS E METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS CENÁRIOS DE DESCARBONIZAÇÃO 1 E 2

<b>Cenário 2) ABC+</b>	<b>Cenário 3) ABC+ e ações adicionais propostas</b>	<b>Forma de cálculo</b>
Recuperação de 351.131 ha de pastagens degradadas até 2030 e manutenção do valor até 2050	Recuperação de 351.131 ha de pastagens degradadas até 2030 e recuperação da área de pastagem degradada remanescente até 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculada a emissão de carbono decorrentes das áreas de pastagens degradadas;</li> <li>• Calculada a remoção de carbono devido à recuperação de pastagens</li> </ul>
Ampliação em 500 mil ha com sistema ILPF até 2030 e manutenção do valor até 2050	Ampliação em 500 mil ha com sistema ILPF até 2030 e ampliação para os 2,5 milhões ha até 2050	Calculada a estimativa de carbono removido pelo solo devido à ampliação de sistema ILPF
Ampliação em 30 mil ha com SAF até 2030 e manutenção do valor até 2050	Ampliação em 30 mil ha com SAF até 2030 e ampliação em 30 mil ha até 2050	Calculada a estimativa de carbono removido do solo devido à ampliação de SAF
Melhoria da qualidade de 400 mil ha de SPD de grãos até 2030 e manutenção do valor até 2050	Melhoria da qualidade de 400 mil ha de SPD de grãos até 2030 e ampliação do valor para 80% da área de grãos do estado até 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculada a emissão e carbono decorrente da adoção de PC;</li> <li>• Calculada a remoção de carbono decorrente da adoção de PD</li> </ul>
Ampliação de SPD para hortaliças até 2030 e manutenção do valor até 2050	Ampliação de SPD para hortaliças até 2030 e ampliação do valor para 80% da área de hortaliças do estado até 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculada a emissão e carbono decorrente da adoção de PC;</li> <li>• Calculada a remoção de carbono decorrente da adoção de PD</li> </ul>
Ampliação em 220 mil ha da área de FP até 2030 e manutenção do valor até 2050	Ampliação em 220 mil ha da área de FP até 2030 e manutenção do valor até 2050	Calculada a estimativa de carbono removido pelo solo devido à ampliação de FP
Adoção de FBN em 430 mil ha da área de soja até 2030 e manutenção do valor até 2050	Adoção de FBN em 430 mil ha da área de soja até 2030 e adoção de FBN para as culturas de cana-de-açúcar, milho e amendoim até 2050	Calculada a estimativa de nitrogênio removido pelo uso da técnica de FBN
Ampliação em 60 mil cabeças de animais abatidos com TI até 2030 e manutenção do valor	Ampliação em 60 mil cabeças de animais abatidos com TI até 2030 e manutenção do valor	Calculada a estimativa de carbono removido pelo solo decorrente do uso de técnica

Cenário 2) ABC+	Cenário 3) ABC+ e ações adicionais propostas	Forma de cálculo
até 2050	até 2050	de TI

FONTE: A autora, 2024

Um ponto importante a destacar é que, apesar de previsto no Plano ABC+ Paraná, não foi incluído no cálculo a redução de emissão decorrente do aumento do uso de Sistemas Irrigados. Isso porque, segundo a Embrapa (EMBRAPA, 2022) existem poucos estudos avaliando o potencial de redução de emissões de GEE de sistemas irrigados. Adicionalmente, não foi incluída a emissão evitada do aumento da produção de biogás no tratamento de dejetos animais, visto que essa emissão está associada ao uso da energia, sendo classificada pelo IPCC na categoria Energia e não Agropecuária (IPCC, 2006).

A seguir é apresentado um detalhamento das ações de mitigação e metodologia de cálculo.

### 3.3.1 Recuperação de Pastagens Degradadas

A meta de recuperação de pastagens degradadas do estado do Paraná prevê a recuperação de 351.131 hectares até 2030. A área de pastagem degradada foi extraída do Plano ABC+ Paraná e totalizou 947,75 mil hectares (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b). Esse valor foi aplicado ao ano de 2022, para o período de 2023 a 2030 foi realizada uma interpolação da área degradada estimada para o ano de 2030 à área degradada de 2022.

Para o período de 2030 a 2050 no Cenário 2 foi mantida o valor de área degradada do ano de 2030, ou seja, não foi prevista ampliação da meta de recuperação de pastagens degradadas. Já no Cenário 3 foi considerado que até 2050 o estado do Paraná não terá pastagens degradadas, ou seja, a área de pastagem degradada será igual a zero. Entre o período de 2030 a 2050 foi realizada interpolação para estimativa de área degradada.

O cálculo da emissão da pastagem degradada e remoção de carbono devido a recuperação das pastagens degradadas são apresentados a seguir:

$$Emiss\tilde{a}o = AT_{Pastagem\ Degradada} \times FE_{Pastagem\ Degradada}$$

Equação 1 (São Paulo, 2022)

Onde:

*Emissão*: estimativa de carbono emitida pelo solo das pastagens degradadas (tCO<sub>2</sub>/ano);

*AT<sub>Pastagem Degradada</sub>*: Área total de pastagem degradada (ha);

*FE<sub>PC</sub>*: fator de emissão área de pastagem degradada (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

$$Mitigação_{Remoção} = AT_{Pastagem Recuperada} \times FR_{Pastagem Recuperada} \quad \text{Equação 2 (São Paulo, 2022)}$$

Onde:

*Mitigação<sub>Remoção</sub>*: estimativa de carbono removido pelo solo das pastagens recuperadas (tCO<sub>2</sub>/ano);

*AT<sub>Pastagem Recuperada</sub>*: área total de pastagem recuperadas (ha);

*FR<sub>Pastagem Recuperada</sub>*: fator de remoção para área de pastagem recuperada (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

O fator de remoção utilizado foi de 3,54 tCO<sub>2</sub>/ha/ano (IPCC, 2006), enquanto o fator de emissão das áreas ainda com degradação foi de 2,03 tCO<sub>2</sub>/ha/ano (IPCC, 2006).

### 3.3.2 Sistemas de Integração

Segundo o Plano ABC+ Paraná (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b), o estado possui um elevado potencial de ampliação do uso de sistema ILPF, pois há uma boa aceitação em diferentes tipos de solos, há um aumento da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes, bem-estar animal, entre outros. Sendo assim, o estado do Paraná prevê a ampliação em 500 mil hectares da área com o sistema ILPF até 2030.

Foi utilizado como dado de atividade a área do estado com sistema ILPF disponível para o ano de 2021 informada no Plano ABC+ Paraná. Para os anos de 2022 a 2029 foi realizada interpolação com base na área do ano alvo, 2030.

Para o período de 2030 a 2050, no Cenário 2, foi considerada a manutenção da área do ano alvo. Já para o Cenário 3 foi considerado que até 2050 o sistema ILPF será ampliado para 2,5 milhões de hectares, área informada no Plano ABC+ Paraná como disponível para receber esse tipo de cultivo.

O cálculo da remoção de carbono dessa ação foi realizado da seguinte forma:

$$\text{Mitigação}_{\text{Remoção}} = AT_{\text{ILPF}} \times FR_{\text{ILPF}} \quad \text{Equação 3 (São Paulo, 2022)}$$

Onde:

$\text{Mitigação}_{\text{Remoção}}$ : estimativa de carbono removido pelo solo através da adoção do sistema ILPF (tCO<sub>2</sub>/ano);

$AT_{\text{ILPF}}$ : área total com a adoção do sistema ILPF (ha);

$FR_{\text{ILPF}}$ : fator de remoção para o sistema ILPF (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

O fator de remoção utilizado foi de -6,23 tCO<sub>2</sub>/ha/ano, segundo Assad e Martins (2015).

Adicionalmente, o estado do Paraná prevê a ampliação de 30 mil hectares da área com SAF. Como dado de atividade, para o ano de 2021 foi adotada a área com o sistema indicado no Plano ABC+ PR, para o ano de 2030 foi adotado a área de 2021 acrescida da área prevista na meta. Para o período entre 2030 e 2050, no Cenário de Descarbonização 1 considerou-se a manutenção da área com SAF, e para o Cenário de Descarbonização 2 foi prevista a ampliação adicional de 30 mil hectares.

O cálculo da remoção de carbono foi realizado através da seguinte equação:

$$\text{Mitigação}_{\text{Remoção}} = AT_{\text{SAF}} \times FR_{\text{SAF}} \quad \text{Equação 4 (São Paulo, 2022)}$$

Onde:

$\text{Mitigação}_{\text{Remoção}}$ : estimativa de carbono removido pelo solo através da adoção de SAF (tCO<sub>2</sub>/ano);

$AT_{\text{SAF}}$ : área total com a adoção de SAF (ha);

$FR_{\text{SAF}}$ : fator de remoção para SAF (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

O fator de remoção utilizado foi de -7,33 tCO<sub>2</sub>/ha/ano, fator de remoção recomendado pela ferramenta de cálculo GHG Protocol Florestal (WRI, 2020).

### 3.3.3 Melhoria do Manejo do Solo

Segundo o Plano ABC+ Paraná, 80% das áreas plantadas de grãos do estado possuem a técnica de plantio direto. Todavia, devido as condições edafoclimáticas, a adoção do SPD não é suficiente para garantir a conservação do solo (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b). Deste modo, a ação prevista no plano está voltada para a

melhoria das condições física, química e biológica do solo, abrangendo uma área de 400 mil hectares até 2030.

Como as ações de SPD atualmente adotadas não são suficientes para garantir um bom manejo do solo, neste trabalho foi considerada que somente a partir das ações previstas no Plano ABC+ Paraná o estado alcançará os benefícios do uso da técnica. Em termos práticos, foi considerado que 400 mil hectares da área de grãos (soja, milho e feijão) do estado utilizará a técnica SPD em 2030. Entre os anos de 2020 e 2030 realizou-se uma interpolação do valor de 2030, considerando que em 2020 não há áreas com SPD para grãos no estado, conforme indicado acima.

Entre os anos de 2030 e 2050, no Cenário de Descarbonização 1 considerou-se a manutenção da área de 400 mil hectares de SPD. Já para o Cenário de Descarbonização 2 considerou-se a ampliação das ações de qualidade do Plano ABC+ Paraná para 80% da área de grãos do estado em 2050 e entre os anos de 2030 e 2050 realizou-se a interpolação das áreas de 2030 e 2050.

Adicionalmente, entre as ações previstas para a melhoria do manejo do solo está a ampliação do SPD para hortaliças. Como dado de atividade para o ano de 2020 foi utilizada a área colhida de olericultura de 2017 publicada pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (GOVERNO DO PARANÁ, 2018). Devido à ausência de projeções para os próximos anos esse valor de área foi extrapolado para os demais anos.

Para a informação de área com SPD, devido à ausência de informações atualizadas da área de hortaliças no estado com a técnica, foi adotado o valor de zero hectares até 2020 (primeiro ano do Plano ABC+ Paraná). Já a partir de 2020 foi considerado o início da expansão da meta para as hortaliças por meio de interpolação de dados até o ano alvo da meta, alcançando a totalidade da área de hortaliças prevista no Plano ABC+ Paraná em 2030 (4 mil hectares). Para o período de 2031 a 2050, no Cenário 2 assumiu-se a manutenção dos 4 mil hectares de área de hortaliças com plantio direto e já para o Cenário 3 considerou-se a ampliação da área com plantio direto para 80% da área de hortaliças do estado no ano de 2050, mesmo percentual informado no Plano ABC+ Paraná como a área com SPD, e para o período entre 2030 e 2050 foi realizada a interpolação entre esses dados.

Já para a área de SPC foi considerada que até 2020 a área de hortaliças era de plantio convencional, e a partir de 2020 passou a ser subtraído o valor da área de plantio direto.

Para o cálculo da emissão de carbono devido ao plantio convencional e remoção de carbono devido ao sistema de plantio direto foram utilizadas, respectivamente, as seguintes equações:

$$Emissão = AT_{PC} \times FE_{PC} \quad \text{Equação 5 (São Paulo, 2022)}$$

Onde:

*Emissão*: estimativa de carbono emitida pelo solo através da prática de PC (tCO<sub>2</sub>/ano);

*AT<sub>PC</sub>*: área total com a prática de PC (ha);

*FE<sub>PC</sub>*: fator de emissão para PC (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

$$Mitigação_{Remoção} = AT_{SPD} \times FR_{SPD} \quad \text{Equação 6 (São Paulo, 2022)}$$

Onde:

*Mitigação<sub>Remoção</sub>*: estimativa de carbono removido pelo solo através da adoção de SPD (tCO<sub>2</sub>/ano);

*AT<sub>SPD</sub>*: área total com a adoção de SPD (ha);

*FR<sub>SPD</sub>*: fator de remoção para SPD (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

O fator de emissão utilizado para plantio direto foi de 1,47 tCO<sub>2</sub>/ha/ano (COSTA JUNIOR, 2013). Já o fator de emissão utilizado para SPD foi de -1,84 tCO<sub>2</sub>/ha/ano (CERRI, 2007).

### 3.3.4 Fixação Biológica de Nitrogênio

Apesar da criação do Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) através do Decreto 10.375 de 2020, o uso da técnica de Fixação Biológica de Nitrogênio ainda é baixo. Por esse motivo, seu uso vem sendo impulsionado no país, com projeções de crescimento de quase R\$ 20 bilhões até 2030. Com este cenário, o estado do Paraná prevê adotar a FBN em 430 mil hectares até 2030 (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b).

Como no Plano ABC+ Paraná não são definidas as culturas nas quais a técnica será aplicada, para a realização da estimativa de emissões evitadas no Cenário de Descarbonização 1 foi adotada como premissa a aplicação da técnica na cultura de soja. A soja foi escolhida por ser uma cultura onde normalmente é

utilizada a técnica FBN e por ser uma cultura relevante para o estado do Paraná. Para o Cenário de Descarbonização 2 foi adotada como premissa o uso da FBN nas culturas de soja, cana-de-açúcar, milho e amendoim.

A área de soja utilizada no cálculo foi o valor da meta para o ano de 2030, ou seja, 430 mil hectares de área colhida de soja com uso da técnica FBN. Devido à ausência de dados de área atual no estado utilizando a técnica, em 2020 considerou que zero hectare a adotava e entre 2021 e 2029 realizou-se uma interpolação dos valores de 2020 e 2030.

Para o período de 2031 a 2025 no Cenário 2 considerou-se a manutenção da área de 2030. Já para o Cenário 3 considerou-se a ampliação da área de soja com FNB em 430 mil hectares, e a adoção de FBN para metade das áreas de ampliação das culturas de cana-de-açúcar, milho e amendoim. Adicionalmente, considerou-se a adoção em 1% da área já consolidada de cana-de-açúcar, milho e amendoim.

Para o cálculo da emissão evitada em razão do uso da técnica FBN utilizou a seguinte equação:

$$Emiss\tilde{a}o\ evitada = A_{FBN} \times FE_{FBN} \quad \text{Equa\c{c}o\~{e} 7 (S\~{a}o\ Paulo, 2022)}$$

Onde:

*Emiss\~{a}o\ evitada*: estimativa de emiss\~{a}o\ evitada decorrente da ado\c{c}\~{a}o\ da t\~{e}cnica\ de FBN (tCO<sub>2</sub>/ano);

$A_{FBN}$ : \~{a}rea\ total\ com\ o\ uso\ de\ t\~{e}cnicas\ de\ FBN (ha).;

$FE_{FBN}$ : fator\ de\ emiss\~{a}o\ para\ FBN (tCO<sub>2</sub>e/ha/ano);

O fator de emiss\~{a}o\ utilizado para FBN de 1,76 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano (S\~{A}, *et. al*, 2017) para a cultura de soja, e 1,80 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano (BRASIL, 2021b) para as culturas de cana-de-a\c{c}u\c{c}ar, milho e amendoim.

### 3.3.5 Florestas Plantadas

Apesar do potencial de produ\c{c}\~{a}o\ de esp\~{e}cies\ florestais\ do\ estado\ do\ Paran\~{a}, o potencial de expans\~{a}o\ de Florestas Plantadas no estado n\~{a}o\ \~{e}\ alto, visto que o estado \~{e}\ o terceiro maior produtor de esp\~{e}cies\ madeireiras\ do\ Brasil (GOVERNO DO PARAN\~{A}, 2023b). A meta do estado \~{e}\ ampliar em 220 mil hectares a \~{a}rea\ de

Floresta Plantada até 2030 com base na área de 2020 (GOVERNO DO PARANÁ, 2023b).

Os dados de atividade de 1986 a 2021 foram extraídos do MapBiomas (OC, 2023e), correspondendo a área de silvicultura. Para os anos de 2022 a 2029 foi realizada interpolação com base no valor do ano alvo. Já para o período de 2031 a 2050 foi considerada a manutenção desse valor para ambos os cenários, Cenário 2 e Cenário 3.

A seguir é apresentada a equação utilizada para o cálculo da remoção de carbono.

$$Mitigação_{Remoção} = AT_{FP} \times FR_{FP} \quad \text{Equação 8 (São Paulo)}$$

Onde:

$Mitigação_{Remoção}$ : estimativa de carbono removido pelo solo através do cultivo de FP (tCO<sub>2</sub>/ano);

$AT_{FP}$ : área total com cultivo de FP (ha);

$FR_{FP}$ : fator de remoção para o cultivo de FP (tCO<sub>2</sub>/ha/ano);

O fator de remoção utilizado foi de 0,81 tCO<sub>2</sub>/ha/ano, segundo Lima *et al.* (2006).

### 3.3.6 Terminação Intensiva

O estado do Paraná possui um compromisso de ampliar em 60 mil cabeças o número de animais abatidos com até 36 meses (terminação intensiva). O número de animais abatidos com a técnica de TI (Terminação Intensiva) para o ano de 2021 adotado foi o indicado no Plano ABC+ Paraná. Para a obtenção dos dados de atividade para os anos de 2022 a 2019 foi realizada uma interpolação com base no valor do ano alvo. De 2031 a 2050 para o Cenário 2 foi considerada a manutenção do valor de 2030 e para o Cenário 3 aplicou-se a taxa de crescimento entre o ano de 2021 e 2030. Já o número total de bovinos de corte nos Cenários 2 e 3 foi o mesmo adotado para o Cenário BAU.

Segundo Cardoso *et al.* (2016), a estimativa da mitigação das emissões de GEE com a adoção da terminação intensiva de 27,9% para cada kg de GEE/kg de carcaça de bovino abatido. A obtenção desse valor foi feita a partir da diferença da

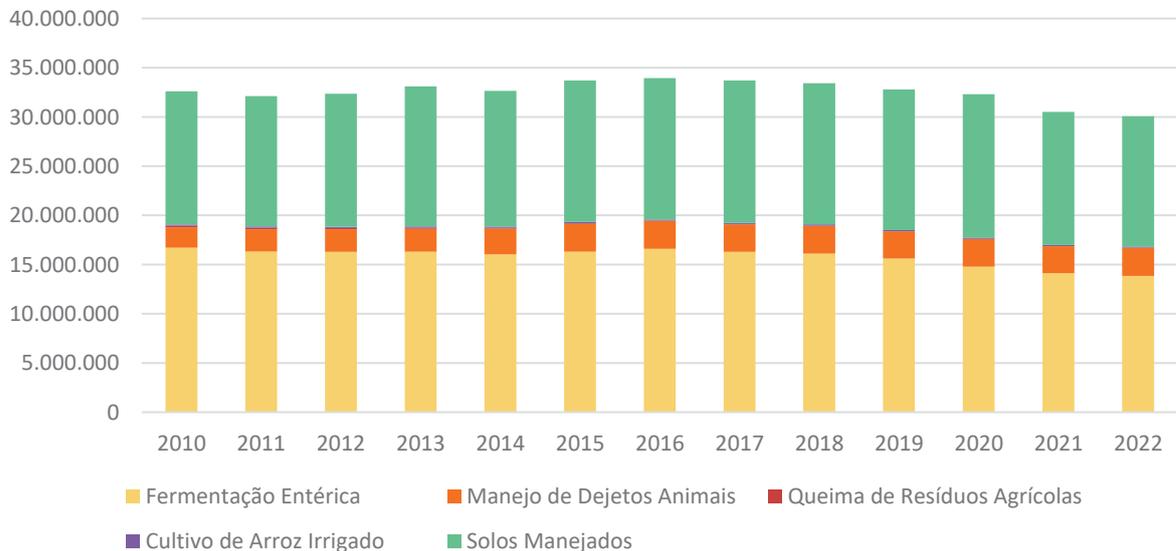
emissão de GEE de um cenário menos intensivo, que leva em consideração a produção de gado em pastagem, enquanto o cenário mais intensivo considera a produção de gado com o uso de ração e confinamento nos últimos 75 dias de engorda.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EMISSÕES DE GEE ATÉ 2022

As emissões de GEE até o ano de 2022 para os três cenários de emissões deste trabalho apresentam o mesmo resultado. As emissões de GEE do setor Agropecuário do Paraná no ano de 2022 totalizaram 30,07 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, uma redução de 1,5% em relação ao ano de 2021. A redução observada no ano de 2022 acompanha a tendência de redução de emissões dos últimos anos no estado, como pode ser observado no Gráfico 5 abaixo.

GRÁFICO 5 – ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GEE DO ESTADO DO PARANÁ POR CATEGORIA DE 2010 A 2022 (tCO<sub>2</sub>e)



FONTE: A autora, 2024.

Desde o ano de 2016 o estado vem apresentando uma redução em suas emissões totais do setor agropecuário, de 2016 a 2022 a redução foi de 11,4%. Essa redução é consequência da redução nas emissões observadas nas categorias de

Fermentação Entérica, Queima de Resíduos Agrícolas e Solos Manejados, como podemos observar na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1: DETALHAMENTO DAS EMISSÕES DO PARANÁ POR CATEGORIA DO SETOR AGROPECUÁRIO DE 2016 A 2022 (Mton CO<sub>2</sub>e)

<b>Categorias do Setor Agropecuário</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>% Variação 2016 a 2022</b>
Fermentação Entérica	16,60	16,30	16,11	15,61	14,78	14,12	13,85	16,5%
Manejo de Dejetos Animais	2,82	2,78	2,79	2,77	2,81	2,74	2,85	-1,1%
Queima de Resíduos Agrícolas	0,04	0,04	0,06	0,01	0,02	0,01	0,003	91,3%
Cultivo de Arroz Irrigado	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	-8,9%
Solos Manejados	14,37	14,47	14,35	14,29	14,58	13,53	13,24	7,8%
<b>TOTAL</b>	<b>33,94</b>	<b>33,71</b>	<b>33,43</b>	<b>32,79</b>	<b>32,31</b>	<b>30,52</b>	<b>30,07</b>	<b>11,4%</b>

FONTE: A autora, 2024.

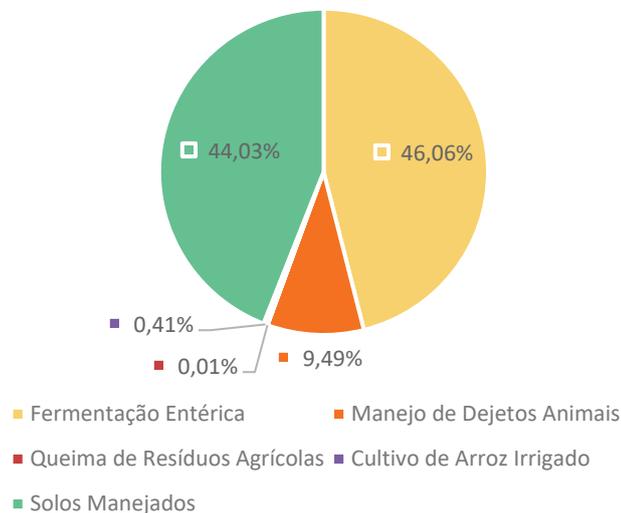
As emissões de Fermentação Entérica em 2022 foram de 13,85 Mton de CO<sub>2</sub>e, valor 1,9% menor que o emitido em 2021 e 16,5% menor que 2016. A redução de emissão nessa categoria tem como principal causa a redução do número de bovinos totais, maior população de ruminantes do estado. Já as emissões de Queima de Resíduos Agrícolas totalizaram 3.684 toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2022, 66,8% inferior ao ano anterior e 91,3% inferior ao ano de 2016. A elevada redução nessa categoria é justificada pelo desuso da prática de queima nas culturas de cana-de-açúcar e algodão. As emissões de Solos Manejados, por sua vez, somaram 13,24 Mton CO<sub>2</sub>e em 2022, 2,1% menor que 2021 e 7,8% menor que 2016. A explicação para tal redução é devido às reduções das emissões diretas e indiretas de adubo orgânico (torta de filtro e linhaça), das emissões diretas e indiretas de deposição de dejetos animais e das emissões diretas e indiretas do uso de fertilizantes sintéticos.

As emissões das categorias de Manejo de Dejetos Animais em 2022 foram de 2,85 Mton CO<sub>2</sub>e, 4,2% superior ao ano de 2021 e 1,1% superior ao ano de 2016. Apesar da redução da população de bovinos, esse aumento foi impulsionado pelo aumento da população de suínos e galináceos. Por fim, as emissões da categoria de Cultivo de Arroz Irrigado totalizaram 122,9 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2022, valor 1,4% maior que 2021 e 7,8% maior que 2016. O aumento teve como consequência

o aumento da produtividade (produção sobre área colhida) do arroz irrigado no estado.

Apesar das reduções nas emissões de Fermentação Entérica e Solos Manejados, essas continuam sendo as categorias com maior participação nas emissões de GEE do estado do Paraná, como podemos observar no Gráfico 6 a seguir. Juntas essas categorias responderam por 90,1% das emissões de GEE do setor Agropecuário do Paraná em 2022.

GRÁFICO 6: PARTICIPAÇÃO DAS EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO PARANÁ POR CATEGORIA NO ANO 2022



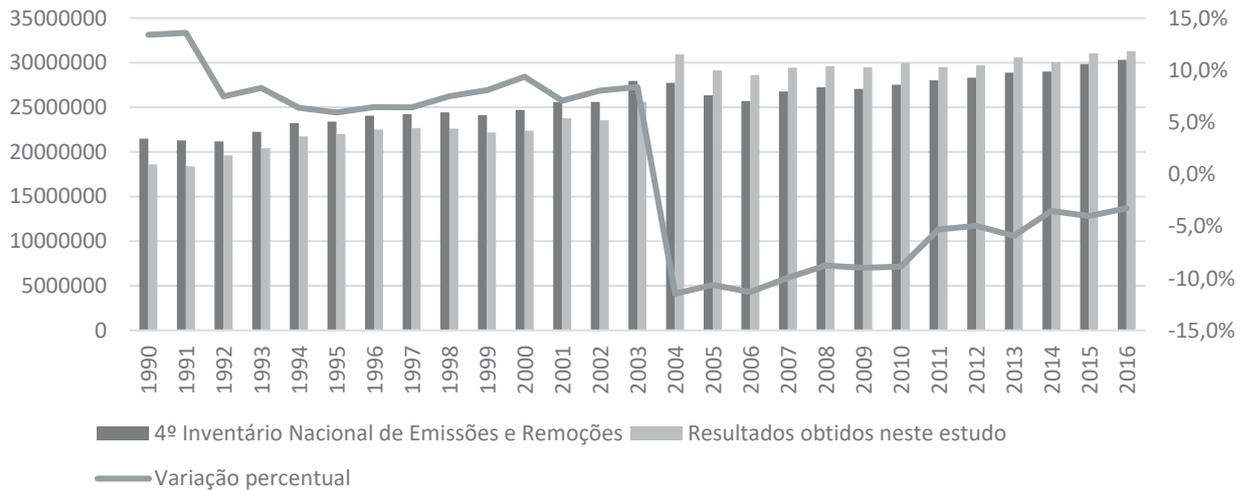
FONTE: A autora, 2024.

Como os resultados oficiais das emissões de 1990 a 2016 foram calculados no 4<sup>a</sup> Inventário Nacional de Emissões e Remoções, é válido compará-lo com os obtidos neste estudo. Todavia, para a realização da comparação foi necessário converter os resultados deste trabalho utilizando o GWP do Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR), isso porque os resultados detalhados por estado da federação estão disponíveis apenas no GWP SAR.

O Gráfico 7 abaixo apresenta a comparação dos resultados calculados no 4<sup>o</sup> Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE do setor Agropecuário do estado do Paraná com este trabalho. Podemos observar que há uma oscilação de -15% a aproximadamente +15%, com uma mediana de 5,9% e média de 0,7%.

Apesar da variação, há uma tendência de redução da diferença a partir do ano de 2006, que pode ser justificada por uma melhoria na qualidade dos dados de atividade disponíveis para o cálculo de emissões nos últimos, o que conseqüentemente, tornam as estimativas realizadas neste trabalho mais precisas.

GRÁFICO 7: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ DO 4º INVENTÁRIO NACIONAL E DESTE ESTUDO

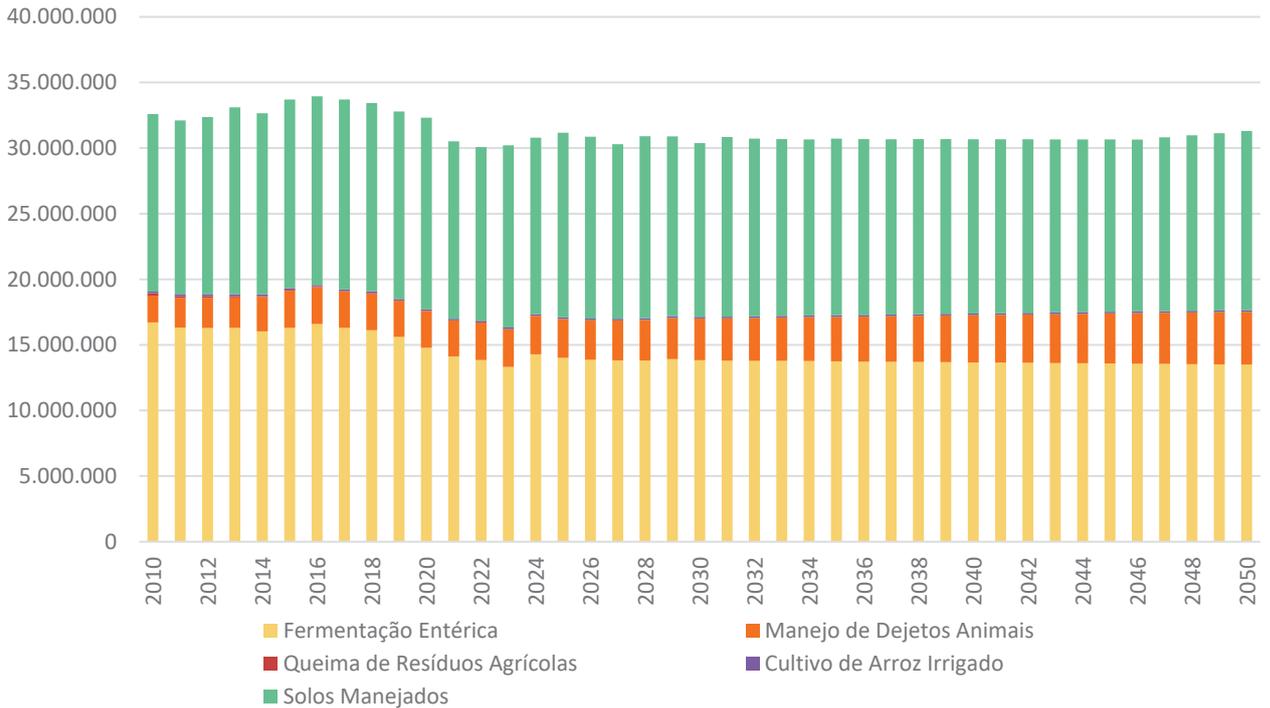


FONTE: A autora, 2024.

## 4.2 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO BAU ATÉ 2050

O Gráfico 8 a seguir apresenta o resultado das emissões do setor Agropecuário do estado do Paraná por categoria de 2010 a 2050.

GRÁFICO 8: EMISSÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO DO ESTADO DO PARANÁ POR CATEGORIA DE 2010 A 2050 – CENÁRIO BAU (ton CO<sub>2</sub>e)



FONTE: A autora, 2024.

Como foi realizada interpolação para a projeção dos dados de atividade futuros para a maioria das informações, os dados de atividade 2023 a 2050 seguem a tendência de crescimento dos últimos cinco anos do inventário com dados reais (período de 2018 a 2022), o que influencia diretamente no resultado das emissões de GEE.

As exceções ocorreram para as informações nas quais a interpolação de dados levaria a resultados negativos, a saber: percentual de área com queima de cana-de-açúcar, produção de arroz irrigado, produção de etanol, consumo de fertilizantes sintéticos, produção de mandioca, produção de amendoim, produção de algodão, produção de fumo, produção de abacaxi, produção de melancia, produção de melão, produção de alho, rebanho bovino total, rebanho de bovino abatido e rebanho de caprinos, equinos e muares. Para essas situações foi aplicada a média dos últimos cinco anos. Optou-se por essa abordagem para não haver subestimativa de emissões.

A Tabela 2 a seguir apresenta o detalhamento das emissões por categoria de emissão incluindo os resultados de 2030 e 2050, bem como a variação percentual de 2016 a 2050. Segundo as estimativas, as emissões de GEE de 2050 para o Cenário BAU totalizarão 31,3 Mton CO<sub>2</sub>e, valor 7,8% menor que o emitido em 2016 e 4,1% superior ao emitido em 2021.

TABELA 2 - DETALHAMENTO DAS EMISSÕES DO PARANÁ POR CATEGORIA DO SETOR AGROPECUÁRIO DE 2016 A 2022 (Mton CO<sub>2e</sub>)

<b>Categorias do Setor Agropecuário</b>	<b>2016</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>% Variação 2016 a 2022</b>	<b>% Variação 2016 a 2050</b>
Fermentação Entérica	16,60	14,78	14,12	13,85	13,84	13,50	16,5%	18,6%
Manejo de Dejetos Animais	2,82	2,81	2,74	2,85	3,17	4,02	-1,1%	-42,3%
Queima de Resíduos Agrícolas	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	91,3%	67,5%
Cultivo de Arroz Irrigado	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	-8,9%	-8,5%
Solos Manejados	14,37	14,58	13,53	13,24	13,24	13,65	7,8%	5,0%
<b>TOTAL</b>	<b>33,94</b>	<b>32,31</b>	<b>30,52</b>	<b>30,07</b>	<b>30,38</b>	<b>31,30</b>	<b>11,4%</b>	<b>7,8%</b>

FONTE: A autora, 2024.

O aumento percentual de 2022 para 2050 é explicado, principalmente, pelo uso da média dos últimos cinco anos para as estimativas de áreas de queima de cana-de-açúcar e produção de arroz irrigado. Ademais, ele também é explicado pela tendência de aumento do número de galináceos que, com base na interpolação de dados dos últimos cinco anos, mais que dobrou.

#### 4.3 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO 2 ATÉ 2050

As reduções na emissão de GEE do Cenário 2 por ação mitigatória do Plano ABC+ Paraná extrapoladas para os anos de 2030 e 2050 são apresentadas na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3: REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS DO CENÁRIO 2

<b>Ações de Mitigação</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2030</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2050</b>
Recuperação de Pastagens Degradadas	- 6,51 Mton CO <sub>2e</sub>	- 3,82 Mton CO <sub>2e</sub>
Pastagens Degradadas	1,21 Mton CO <sub>2e</sub>	1,21 Mton CO <sub>2e</sub>
Sistema de Integração (ILPF)	-7,06 Mton CO <sub>2e</sub>	-7,06 Mton CO <sub>2e</sub>

<b>Ações de Mitigação</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2030</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2050</b>
Sistema de Integração (SAF)	-9,75 Mton CO <sub>2</sub> e	-9,75 Mton CO <sub>2</sub> e
Sistema de Plantio Convencional (SPC)	16,72 Mton CO <sub>2</sub> e	24,10 Mton CO <sub>2</sub> e
Sistema de Plantio Direto (SPD)	-0,74 Mton CO <sub>2</sub> e	-0,74 Mton CO <sub>2</sub> e
Florestas Plantadas	-1,12 Mton CO <sub>2</sub> e	-1,12 Mton CO <sub>2</sub> e
Fixação Biológica de Nitrogênio	-0,76 Mton CO <sub>2</sub> e	-0,76 Mton CO <sub>2</sub> e
Terminação Intensiva	-3,00 Mton CO <sub>2</sub> e	-3,35 Mton CO <sub>2</sub> e
<b>TOTAL</b>	<b>-11,01 Mton CO<sub>2</sub>e</b>	<b>-1,29 Mton CO<sub>2</sub>e</b>

FONTE: A autora, 2024.

Devido à extrapolação das metas do Plano ABC+ Paraná para o ano de 2050, os resultados de redução de emissão das ações mitigatórias de Sistemas de Integração ILPF e SAF, SPD, Florestas Plantadas e FBN foram os mesmos para os anos de 2030 e 2050. Do mesmo modo, a emissão associada à pastagem degradada nas estimativas realizadas manteve o valor de 2030 em 2050. Isso não é observado para a Recuperação de Pastagens Degradadas, Sistema de Plantio Convencional e Terminação Intensiva.

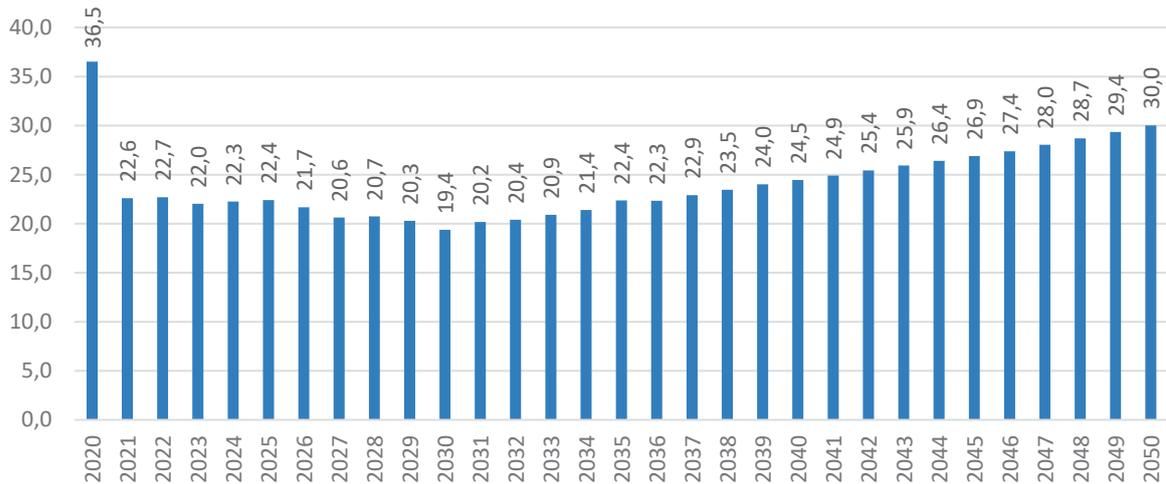
A diferença na redução de emissão entre os anos de 2030 e 2050 para a Recuperação de Pastagens Degradadas se deve à variação da área de pastagem prevista para o ano de 2050, o que também ocorreu na emissão calculada para a manutenção do Sistema de Plantio Convencional, que com a estimativa das áreas de grãos e hortaliças (culturas cobertas na meta do Plano ABC+ Paraná) para 2050, apresentou um resultado diferente entre os anos de 2030 e 2050. A situação é semelhante a de Terminação Intensiva, que utiliza como dados base para o cálculo a estimativa de número de bovinos de corte, número de animais abatidos e peso das carcaças, dados estimados para o período de 2030 a 2050.

Com as ações mitigatórias, a remoção total de GEE estimada para o ano de 2030 ficou em aproximadamente 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e e para o ano de 2050 ficou em aproximadamente 1,3 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Tais resultados mostram que, em um contexto de crescimento linear da produção agropecuária no estado, são necessárias ações mais ambiciosas para que o Paraná continue a reduzir suas emissões de GEE.

O Gráfico 9 abaixo mostra o impacto das ações mitigatórias ao longo do tempo. A redução observada de 2020 a 2021 pode ser explicada pelo período de abrangência do Plano ABC+ Paraná, que compreende os anos de 2020 a 2030.

Deste modo, foi considerado que as ações mitigatórias passaram a ser implantadas no ano de 2021. Podemos observar ainda que há uma redução gradativa até o ano de 2030, com uma tendência de aumento nas emissões de GEE a partir deste ano devido às estimativas de crescimento linear (calculados em sua maioria por interpolação linear) dos dados de atividade conforme supracitado.

GRÁFICO 9 – EMISSÕES DE GEE PARA O CENÁRIO 2 DE 2020 A 2050 (Mton CO<sub>2</sub>e)



FONTE: A autora, 2024.

Neste cenário, a menor emissão é observada no ano de 2030, com 19,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Com a tendência de aumento nos dados de atividade decorrente da expectativa de aumento da produção agropecuária, as emissões estimadas para o ano de 2050 chegarão a 30 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e.

#### 4.4 EMISSÕES DE GEE DO CENÁRIO 3 ATÉ 2050

As reduções na emissão de GEE do Cenário 3 por ação mitigatória, o qual considera uma maior ambição de 2030 a 2050 em relação ao Plano ABC+ Paraná, são apresentadas na Tabela 4 a seguir.

TABELA 4- REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS AÇÕES MITIGATÓRIAS DO CENÁRIO 3

Ações de Mitigação	Emissão (+) / Remoção (-) 2030	Emissão (+) / Remoção (-) 2050
Recuperação de Pastagens Degradadas	- 6,51 Mton CO <sub>2</sub> e	- 5,06 Mton CO <sub>2</sub> e
Pastagens Degradadas	1,21 Mton CO <sub>2</sub> e	0 Mton CO <sub>2</sub> e
Sistema de Integração (ILPF)	-7,06 Mton CO <sub>2</sub> e	-15,56 Mton CO <sub>2</sub> e

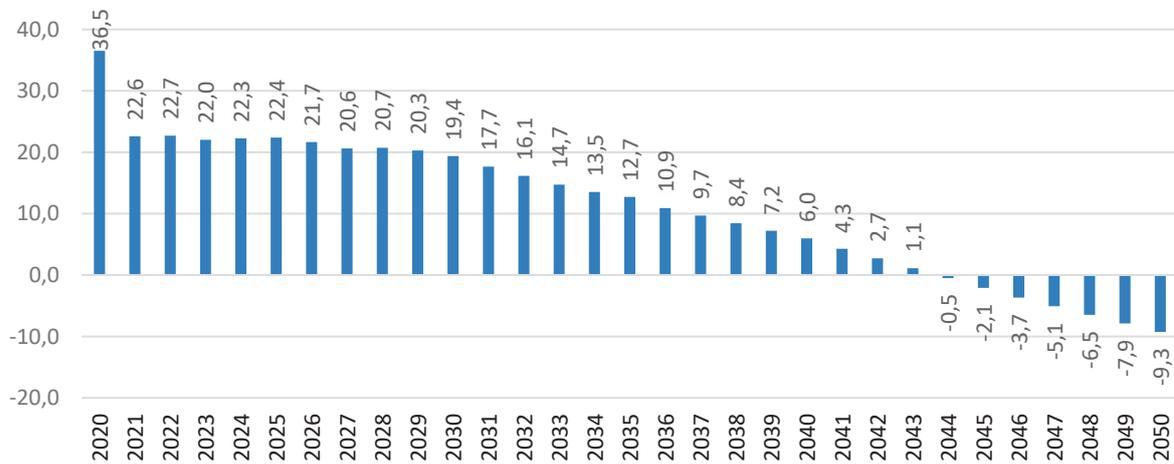
<b>Ações de Mitigação</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2030</b>	<b>Emissão (+) / Remoção (-) 2050</b>
Sistema de Integração (SAF)	-9,75 Mton CO <sub>2</sub> e	-9,97 Mton CO <sub>2</sub> e
Sistema de Plantio Convencional (SPC)	16,72 Mton CO <sub>2</sub> e	22,91 Mton CO <sub>2</sub> e
Sistema de Plantio Direto (SPD)	-0,74 Mton CO <sub>2</sub> e	-24,10 Mton CO <sub>2</sub> e
Florestas Plantadas	-1,12 Mton CO <sub>2</sub> e	-1,12 Mton CO <sub>2</sub> e
Fixação Biológica de Nitrogênio	-0,76 Mton CO <sub>2</sub> e	-3,92 Mton CO <sub>2</sub> e
Terminação Intensiva	-3,00 Mton CO <sub>2</sub> e	-3,73 Mton CO <sub>2</sub> e
<b>TOTAL</b>	<b>-11,01 Mton CO<sub>2</sub>e</b>	<b>-40,56 Mton CO<sub>2</sub>e</b>

FONTE: A autora, 2024.

Com a ampliação da ambição para a maior parte das ações mitigatórias para o setor agropecuário do estado, houve um aumento expressivo da remoção total de carbono, passando de 11,01 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e para aproximadamente 41 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Com a premissa de zerar a área de pastagem degradada no estado, não temos emissão associada para o ano de 2050 e para as ações de Sistema de ILPF, SAF, SPD, FBN e Terminação Intensiva tivemos um incremento na remoção de CO<sub>2</sub>e.

Podemos observar que apesar da ampliação da área de pastagem recuperada, a remoção de carbono estimada para o ano de 2030 ainda é maior que a estimada para o ano de 2050, devido à variação da área de pastagem para os dois anos. O que também ocorre para a emissão associada ao Sistema de Plantio Convencional. Similarmente, a ação mitigatória de Floresta Plantada manteve o valor de remoção anual de CO<sub>2</sub>e devido à informação do Plano ABC+ Paraná que esta ação tem pouca margem de ampliação, já que o estado possui uma das maiores áreas de Floresta Plantada do Brasil.

O Gráfico 10 abaixo mostra o impacto das ações mitigatórias para o Cenário 3 ao longo do tempo. Assim como para o Cenário 2, a redução observada de 2020 a 2021 pode ser explicada pelo período de abrangência do Plano ABC+ Paraná, que compreende os anos de 2020 a 2030. Deste modo, foi considerado que as ações mitigatórias passaram a ser implantadas no ano de 2021. Podemos observar ainda que há uma redução gradativa até o ano de 2030, que ficou mais acentuada a partir do ano de 2031 com a ampliação das ações mitigatórias.

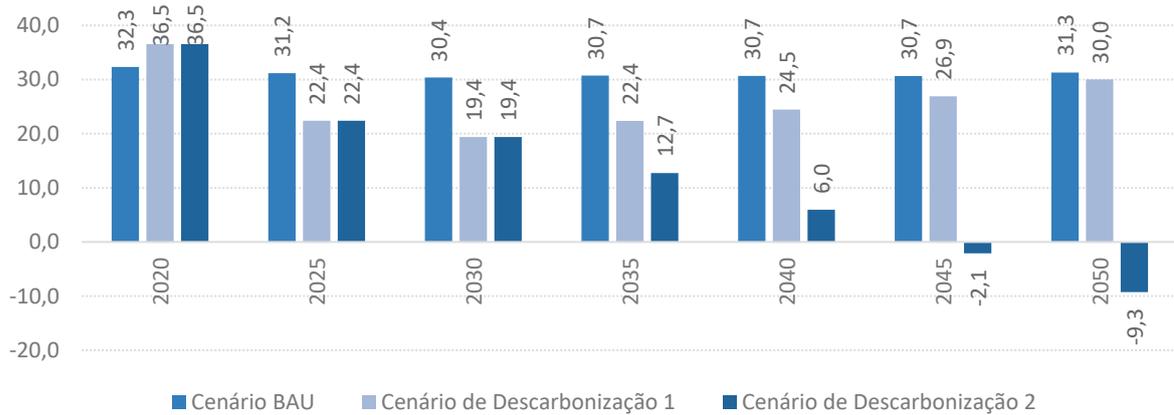
GRÁFICO 10 - EMISSÕES DE GEE PARA O CENÁRIO 3 DE 2020 A 2050 (MtonCO<sub>2</sub>e)

FONTE: A autora, 2024.

Com as ações mais ambiciosas do Cenário 3, o setor Agropecuário do Paraná atingiria a emissão zero entre os anos de 2043 e 2044, chegando a uma remoção estimada de 9,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2050, o que indica que o setor Agropecuário pode atuar de forma positiva na redução das emissões de GEE do estado do Paraná.

#### 4.5 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3

O Gráfico 11 apresentado a seguir mostra a variação das emissões dos Cenários 1, 2 e 3 ao longo do tempo. Com o intuito de facilitar a visualização dos resultados dos três cenários, as emissões são apresentadas com um intervalo de cinco anos.

GRÁFICO 11 - EMISSÕES DE GEE PARA OS TRÊS CENÁRIOS DE 2020 A 2050 (MtonCO<sub>2</sub>e)

FONTE: A autora, 2024.

A emissão superior em 2020 observada para os Cenários 2 e 3 em comparação ao Cenário BAU se deve à inclusão das emissões associadas às pastagens recuperadas e sistema de plantio convencional. Essas emissões atualmente não estão incluídas nos cálculos do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções.

Para o ano de 2030, que nos Cenários 2 e 3 contam com as ações do Plano ABC+ Paraná, identificamos uma redução de 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em relação ao Cenário BAU, o que representa uma diminuição de 36,2%. Esse resultado é positivo e mostra o esforço do setor Agropecuário do Paraná em reduzir seu impacto negativo frente à mudança climática. Ao mesmo tempo ele mostra, que o Setor ainda será um importante contribuinte nas emissões do estado, especialmente na conjuntura atual, em que diversos setores econômicos estão se mobilizando para reduzir as emissões de GEE.

Conforme apresentado nas seções anteriores, a emissão de CO<sub>2</sub>e para o Cenário 2 apresenta uma tendência de crescimento a partir do ano de 2030, que leva a uma emissão de 30 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2050. Apesar da tendência de aumento, ao compararmos a emissão Cenário 2 e o Cenário BAU, que totalizou 31,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2050, podemos observar uma redução de 1,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, o que representa uma redução de 4,1%. Ao compararmos as emissões de 2050 entre os Cenários BAU e 3, a redução foi mais expressiva, totalizando 40,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e ou 130% de redução. Deste modo, podemos concluir que, apesar da boa redução observada no

Cenário 2, ele não é suficiente em um contexto de descarbonização do setor agropecuário.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado, foi possível entender a temática da mudança climática, seu impacto e sua relação com o setor Agropecuário. De um lado temos o setor Agropecuário como um dos maiores emissores de GEE, quando comparado aos setores de emissão do IPCC, e por outro lado vemos que o setor será fortemente afetado pelos impactos da mudança climática dada a dependência de fatores como temperatura, precipitação, evapotranspiração, entre outros.

Ademais, foram mapeadas as ações mitigatórias a nível nacional e estadual previstas nos respectivos Planos de ABC+. A partir dessas ações, foram estabelecidos cenários para avaliar as emissões de GEE do setor sem a adoção das ações previstas e com a adoção das ações previstas no Plano ABC+ Estadual. Foi ainda elaborado um terceiro cenário com o propósito de avaliar o esforço adicional para que o estado do Paraná zere suas emissões de GEE.

O exercício de avaliar o potencial de redução de emissões das ações previstas em planos nacionais e estaduais é essencial para se entender o real impacto das medidas. Apesar do Plano ABC+ Brasil apresentar uma estimativa do potencial de redução, não vemos essa mesma transparência no Plano ABC+ Paraná. Ademais, o exercício de avaliar o esforço adicional para zerar as emissões estaduais é de extrema importância tendo em vista que nas últimas COPs têm ficado evidente que os esforços atuais realizados pelos países e regiões não têm sido o suficiente para combater a mudança climática antropogênica.

Como resultado deste estudo, identificou-se que até o ano de 2030 as ações previstas no Plano ABC+ do Paraná levarão a uma redução de 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e das emissões de GEE em relação ao cenário de não adoção das ações. Todavia, na conjuntura atual em que diversos setores da economia têm atuado em planos para redução de emissões de GEE, há um potencial do setor Agropecuário continuar como um dos maiores emissores.

Na análise de longo prazo (até 2050), e considerando a premissa de crescimento linear da produção agrícola do estado, chegou-se a resultados que mostram que apenas a manutenção das ações do Plano ABC+ Estadual (Cenário 2) não são suficientes para manter a mesma taxa de redução de emissão - os resultados obtidos mostram uma diferença aproximada de 1 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>e entre o cenário sem as ações do Plano ABC+ e com as ações do Plano AB+,

ou seja, o setor Agropecuário do estado do Paraná precisa definir ações mais ambiciosas caso queira manter a redução de emissões de GEE o mesmo nível ou ampliá-las.

Com relação ao cenário de ampliação das ações definidas no Plano ABC+ (Cenário 3) chegou-se a um resultado de emissão zero entre os anos de 2043 e 2044 e a um resultado negativo de emissão de GEE em 2050, ou seja, haveria remoção de carbono. Tal resultado mostra que este estudo pode auxiliar na construção de políticas públicas que visem a descarbonização do estado do Paraná, pois o déficit gerado poderia compensar a emissão de setores econômicos que não conseguem zerar suas emissões de GEE, o que reforça, por sua vez, o potencial de protagonismo do setor Agropecuário paranaense quando falamos em enfrentamento da crise climática. Isso é observado, por exemplo, no Plano de Ação Climática do estado de São Paulo, no qual as reduções previstas para as medidas do setor Agropecuário equilibra outros setores que não conseguirão zerar suas emissões, colaborando assim para o atendimento do compromisso deste estado junto à UNFCCC.

Para estudos futuros recomenda-se que se avalie junto a instituições do setor agropecuário do estado do Paraná a disponibilidade de projeção de produção agrícola e pecuária. Devido à indisponibilidade dessas informações a nível nacional, para a maior parte das culturas foi realizada uma projeção baseada na taxa de crescimento histórico. Além disso, o engajamento de tais instituições podem trazer mais assertividade para medidas mitigatórias do Cenário 3.

## REFERÊNCIAS

- ABRACAL. Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. Calcário Agrícola Brasil – Consumo aparente por estado. 2021. Disponível em:< <https://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2021/06/CONSUMO-APARENTE-BR-1992-A-2020.pdf>> Acesso em janeiro/2024.
- ASSAD, Eduardo Delgado; MARTINS, Susian. A Evolução de um Novo Paradigma. *AgroANALYSIS*, v. 35, n. 3, p. 32-34, 2015.
- ASSENG, S. *et al.* Rising temperatures reduce global wheat production. **Nat. Climate Change** 5, 143-147, 2015.
- BANCO MUNDIAL. **Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP)**. World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. World Bank Group, 2019. Disponível em: < [https://data.worldbank.org/indicator/nv.agr.totl.zs?year\\_high\\_desc=true](https://data.worldbank.org/indicator/nv.agr.totl.zs?year_high_desc=true).> Acesso em: 05 jul.2021
- BAILEY, R. *et al.* **Extreme Weather and Resilience of the Global Food System**. Final Project Report from the UK-US Taskforce on Extreme Weather and Global Food System Resilience. Global Food Security Programme, UK, 17p, 2015. Disponível em: < <https://www.foodsecurity.ac.uk/>> Acesso em: 05 jul.2021
- BATTISTI, D.S., NAYLOR, R.L. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. **Science**. Vol 323, 5911, 240-244, 2009. DOI: 10.1126/science.1164363
- BEG, N. *et al.* **Linkages between climate change and sustainable development**. *Climate Policy* 2, 129-144, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.3763/cpol.2002.0216>> Acesso em: 02 out.2021.
- BOYCE, D. G., LEWIS, M.R., WORM, B. Global Phytoplankton decline over the past century. **Nature** Vol. 446. 591-596, 2010
- BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Decreto nº 6.263 de 21 de novembro de 2007, 2008. Disponível em: <[https://antigo.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/\\_arquivos/plano\\_nacional\\_mudanca\\_clima.pdf](https://antigo.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf)> Acesso em 06 dez.2023
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, 2012. Disponível em:< <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/download.pdf/view>> Acesso em: 01.jan.2024
- BRASIL. Presidência da República. Brasil 2040 – Resumo Executivo. Secretaria de Assuntos Estratégicos. Estudos do Projeto Brasil 2040, 62p. Brasília, 2015.

Disponível em:

<[https://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013\\_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf](https://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf)> Acesso em: 05 dez.2023

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume III: Estratégias Setoriais e Temáticas. Portaria MMA n° 150 de 10 de maio de 2016. 297p. Brasília, 2016a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume I: Estratégia Geral. Portaria MMA n° 150 de 10 de maio de 2016. 44p. Brasília, 2016b.

BRASIL. Florestas Plantadas. Sistema Florestal Brasileiro. **Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF)**. 2020a. Disponível em:<  
<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas>> Acesso em: 05.jan.2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Setor Agropecuária – Subsetor Fermentação Entérica. 143p. 2020b. Disponível em:<  
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>> Acesso em: jan/2024

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Setor Agropecuária – Subsetor Cultivo de Arroz. 105p. 2020c. Disponível em:<  
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>> Acesso em: jan/2024

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Setor Agropecuária – Subsetor Solos Manejados. 148p. 2020d. Disponível em:<  
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>> Acesso em: jan/2024

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Setor Agropecuária – Subsetor Manejo de Dejetos. 142p. 2020e. Disponível em:<  
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>> Acesso em: jan/2024

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Emissões de GEE por Setor**. 2021a. Disponível em:< <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>> Acesso em 15 out.2023

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020 -2030)** : visão estratégica para o novo ciclo. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília : MAPA, 2021b. Disponível em:< <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/abc-portugues.pdf>> Acesso em 05.jan.2024

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bial de Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. 2021c. Disponível em:< <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>> Acesso em: jan/2024

BRASIL. Paris Agreement. Nationally Determined Contribution (NDC). 2022. Disponível em:< <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>> Acesso em 06 dez.2023.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Emissões de GEE por Subsetor. 2023a. Disponível em:< <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/participacao-de-emissoes-de-gee-por-subsetor>> Acesso em 06 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação. 2023b. Disponível em:< <https://antigo.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao.html>> Acesso em 06 dez.2023

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Oferta e Demanda de Carnes (outubro de 2023). 2023c. Disponível em:< <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/oferta-e-demanda-de-carnes>> Acesso em jan/2024

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Cana-de-Açúcar – Área Total. 2023d. Disponível:< <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/892-cana-de-acucar-area-total>> Acesso em jan/2024

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Tabelas Gerais – Projeções do Agronegócio 2022-2023 a 2032-2033. 2023e. Disponível em:< <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/tabelas-gerais-projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.xlsx/view>> Acesso em jan/2024

BRASIL. Especialistas avaliam que COP 29 será marcada por discutir recursos. Agência Senado. 15/10/2024. Acesso em:< 20 out.2024.

CABANÊZ, P.A., FASSARELLA, K.M., SILVA, T.M.T., FERRARI, J.L. O Sistema de Plantio direto como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. v.7, n.1, p.16-28, 2012.

CAMPAGNOLO, L. e DAVIDE, M. **Can the Paris Agreement deal boost SDGs achievement? An assessment of climate mitigation co-benefits or side-effects on poverty and inequality**. *World Development* 122, 96-109, 2019. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X19301299>> Acesso em: 02 out.2021

CAMPBELL, B.M., *et. al.* **Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems**. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2018, 34:13-20, 2018. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.005>> Acesso em 20 set.2021

CANTO, A.C.B., FONTANA, A., CESÁRIO, F.V., FIGUEIREDO, L.G.E. de, CHEAUZU, H. Embrapa Solos. Organossolos e outros solos com horizontes orgânicos no Brasil: abrangência e área manejada entre os anos de 1994 a 2020. 2020. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122074/organossolos-e-outros-solos-com-horizontes-organicos-no-brasil-abrangencia-e-area-manejada-entre-os-anos-de-1994-a-2020>> Acesso em janeiro/2024.

CASAROLI, D., *et al.* Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja – uma revisão. **Revista da FVZA**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Vol. 14, n. 2, 102-120, 2007.

CASELLI, F. e MALHOTRA, P. **Natural disasters and growth: From thought experiment to natural experiment**. International Monetary Fund, Washington, D.C., 2004.

CASTRO, C. N. A **Agropecuária na Região Centro-Oeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Rio de Janeiro, 2014a.

CASTRO, C. N. A **Agropecuária na Região Sudeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Rio de Janeiro, 2014b.

CASTRO, C. N. A **Agropecuária na Região Sul: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Rio de Janeiro, 2014c.

CENTRE FOR RESERCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). EM-DAT. 2022 Disasters in Numbers.**The international disaster database**. Université Catholique de Louvain (UCLouvain). Disponível em <

[https://www.cred.be/sites/default/files/2022\\_EMDAT\\_report.pdf](https://www.cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf) >. Acesso em: 19 out.2024

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil, 2021. Disponível em <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>> Acesso em 10 jul.2021

CHEN, G. et. al. **Abundant and rare species may invoke different assembly processes in response to climate extremes: Implications for biodiversity conservation**. Ecological Indicators, vol. 117, 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106716>> Acesso em 05 out.2021

COSTA JUNIOR, C. et al. **Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: comparing the synchronic and diachronic approaches**. Soil And Tillage Research, [S.L.], v. 134, p. 207-212, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.08.010>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). VII Plano Diretor da Embrapa: 2020-2030. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 31p, Brasília, 2020. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>> Acesso em: 10 nov.2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Lineu Neiva Rodrigues, Alexsandra Duarte de Oliveira, Gabrielle Ferreira Pires. Recursos Naturais, Segurança Alimentar, Nutrição e Saúde. Agricultura de Baixo Carbono. Manejo de Recursos Hídricos. **Qual o papel da agricultura irrigada no contexto de mitigação/adaptação das mudanças climáticas?** 2022. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/68100870/artigo---qual-o-papel-da-agricultura-irrigada-no-contexto-de-mitigacaoadaptacao-das-mudancas-climaticas>> Acesso em mar/24

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO (FEBRAPDP). Evolução do Sistema Plantio Direto no Paraná. 2014. Disponível em:< [https://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO\\_DO\\_SPD\\_NO\\_PARANA\\_2014.pdf](https://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf)> Acesso em fev/2024

FERRI, G. A evolução e implementação dos ODS 13 (Ações contra a Mudança Global do Clima) e o papel do Ministério Público. **A Política Nacional de Mudanças Climáticas em ação: a atuação do ministério público**. 1ª edição. Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente (ABRAMPA). Belo Horizonte, Brasil. 50-72, 2021.

FORSTER, P., STORELVMO, T., et al. Chapter 7: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. **Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Working Group I. World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP), 2021. Disponível em:

<[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_07.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_07.pdf)> Acesso em 15 out.2021.

FUNK, C. C., BROWN, M.E. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. **Food Secur.** 1:271-89, 2009. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-009-0026-y>> Acesso em 02 nov.2023.

G1. Agropecuária cresce 5,2% no 1º trimestre e é destaque no PIB. 01/06/2021. Disponível em < <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/06/01/agropecuaria-cresce-52percent-no-1o-trimestre-de-2021-e-e-destaque-no-pib.ghtml>> Acesso em: 10 out.2021a.

G1. Brasil é o 4º maior produtor de grãos, atrás da China, EUA e Índia, diz estudo. 01/06/2021. Disponível em < <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/06/01/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-graos-atras-da-china-eua-e-india-diz-estudo.ghtml>> Acesso em: 10 out.2021b.

GOVERNO DO PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). Olericultura – Análise da Conjuntura Agropecuária. 21p. 2018. Disponível em:< [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2019-09/olericultura\\_2019\\_v1.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/olericultura_2019_v1.pdf): Acesso em fev/2024.

GOVERNO DO PARANÁ. PIB do Paraná cresce 9,16% no 1º trimestre de 2023. 2023a. Disponível em: < <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/PIB-do-Parana-cresce-916-no-1o-trimestre-de-2023>> Acesso em 15 out.2023

GOVERNO DO PARANÁ. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Superintendência de Agricultura e Pecuária (MAPA – SFA/PR) ABC+ (2020-2030) – Plano Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável. 2023b. Disponível em:< [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-06/seab\\_planoestadual\\_20230605\\_comlinks\\_1.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-06/seab_planoestadual_20230605_comlinks_1.pdf)> Acesso em jan/2024

GOVERNO DE SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Plano de Ação Climática e Desenvolvimento Sustentável para São Paulo (PAC 2050). 99p. 2022. Disponível em:< [https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-coorigidoformato\\_23\\_1\\_12.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-coorigidoformato_23_1_12.pdf)> Acesso em jan/2024

GHINOI, S., VITA, R., e SILVESTRI, F. Local policymakers' attitudes towards climate change: A multi-method case study. **Social Networks**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2021.09.001>

GUIS, H. et al. Modelling the effects of past and future climate on the risk of bluetongue emergency in Europe. **J. R. Soc. Interface.** Vol. 9, 67, 339-350, 2012. DOI: 10.1098/rsif.2011.0255

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Tabela 3939 – Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. 2023a. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: jan/2024.

\_\_\_\_\_. Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Tabela 59 – Efetivo de rebanhos, por tipo de rebanho (série encerrada). 2023b. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/73>> Acesso em jan/2024

\_\_\_\_\_. Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Tabela 94 – Vacas Ordenhadas. 2023c. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94>> Acesso em jan/2024.

\_\_\_\_\_. Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Tabela 74 – Produção de origem animal, por tipo de produto. 2023d. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74>: Acesso em jan/2024

\_\_\_\_\_. Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Tabela 925 – Efetivo de bovinos nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças em 31/12, por composição do efetivo, condição do produtor em relação às terras, finalidade da criação, grupos de atividade econômica, grupos de área de pastagem e grupos de área total. 2023e. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/925> : Acesso em abr/2024

\_\_\_\_\_. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais. Tabela 1092 – Número de informantes, quantidade e peso total das carcaças dos bovinos abatidos, no mês e no trimestre, por tipo de rebanho e tipo de inspeção. 2023e. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1092> Acesso em jan/2024

\_\_\_\_\_. Produção Agrícola Municipal (PAM). Tabela 1612 – Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias. 2023f. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612> Acesso em jan/2024

\_\_\_\_\_. Produção Agrícola Municipal (PAM). Tabela 839 – Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras. 2023g. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839#resultado>> Acesso em jan/2024

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Annex I: Glossary**. In: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP). p.539- 562, 2018. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_AnnexI\\_Glossary.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf)> Acesso em: 30 jul2021

\_\_\_\_\_. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J.

Romero (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023 doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Acesso em 15 out.2024

\_\_\_\_\_. **IPCC Factsheet: Timeline – Highlights of IPCC History**. Disponível em: < [http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_timeline.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_timeline.pdf)>. Acesso em 29 jul.2021, 2021.

IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Editora: IGES, Japão. Disponível em:< <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>> Acesso em jan/2024.

KAMBEZIDIS, H.D., *et al.*, Multi-decadal variation of the net downward shortwave radiation over South Asia: The solar dimming effect. **Atmospheric Environment**. Vol. 50, 360-372, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.008>

LIMA, M. A. e ALVES, B. J. R. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuários e solos agrícolas. *Parcerias Estratégicas*. N°27. 39p. Brasília, 2008. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150434/1/2008AP-33.pdf>> Acesso em: 05. Dez.2023

LIMA, A. M.N. et al. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. *Forest Ecology And Management*, [S.L.], v. 235, n. 1-3, p. 219-231, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.331>.

LOAYSA, N.V., OLABERRÍA, E., RIGOLINI, J. e CHRISTIAESEN, L. Natural Disasters and Growth: Going Beyond the Averages. **World Development** Vol. 40, n° 7, 1371-1336, 2012.

LOUREIRO, F.E.L., MELAMED, R.G., FIGUEIREDO NETO, J.. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). *Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade*. 880p. 2009. Disponível em:< <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>> Acesso em jan/2024.

MAKINEN, H., et al. Sensitivity of European wheat to extreme weather. **Field Crops Research**. Vol. 222, 209-217, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.008>

MARCELINO, A.D. **Precificação de Carbono no Brasil: uma análise a partir do sistema colombiano**. Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 47p. 2020.

MEYER, M.C., BUENO, A.F., MAZARO, S.M., SILVA, J.C. **Bioinsumos na cultura de soja**. Embrapa. 550p. Brasília, 2022. Disponível em:< <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147044/1/cap-8-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>>. Acesso em> 04.jan.2024

MOREIRA, J.M.M.A.P., SIMIONI, F.J., OLIVEIRA, E.B. Importância e Desempenho das Florestas Plantadas no Contexto do Agronegócio Brasileiro. *Floresta*, v.47, n.1, p.85-94. 2017. ISSN eletrônico 1982-4688 DOI: 10.5380/ufv.v47i1.47687

NAKAI, A. M., *et al.* **Análise de vulnerabilidades econômicas das principais culturas brasileiras (produto 6)**. Relatório Final Adaptação à Mudança do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura. Projeto Brasil 2040 SAE/PR. Embrapa, 2015.

NELSON, G. C., *et. Al.* Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. **Int. Food**, Policy Res, Inst., 2009.

NILSSON, M. *et. al.* **Map the interactions between Sustainable Development Goals**. *Nature*. Vol 534, 320-322, 2016a.

\_\_\_\_\_. **A draft framework for understanding SDG interactions**. International Council for Science (ICSU) Working Paper. Paris, 2016b. Disponível em: < <https://co-galapagos.org/wp-content/uploads/2021/06/ICSU-SDG-interactions-working-paper.pdf>> Acesso em 30 set.2021

NOBRE, C. A. **Mudanças Climáticas e o Brasil – Contextualização**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Parcerias Estratégicas. Brasília, 2008.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Emissões Totais. 2023a**. Disponível em:< [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission)> Acesso em 15 out.2023.

\_\_\_\_\_. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLOA). **Nota Metodológica Setor Agropecuário.2023b** Disponível em:< <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-NM-AGRO.pdf> > Acesso em dez/2023

\_\_\_\_\_. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). MapBiomass. Coleção 8. Cobertura e Uso da Terra. 2023c. Disponível em:< [\\_\\_\\_\\_\\_. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa \(SEEG\). MapBiomass. Coleção 8. Pastagem. 2023d. Disponível em:< <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/pastagem?activeBaseMap=1&layersOpacity>](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2022&mapPosition=-23.216107%2C-51.575251%2C7&timelineLimitsRange=1985%2C2022&baseParams[territoryType]=3&baseParams[territory]=28&baseParams[territories]=28%3BParaná%3A1%3B3%3BEstado%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams[activeClassTreeOptionValue]=default&baseParams[activeClassTreeNodeIds]=7%2C8%2C9%2C10%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C17%2C18%2C19%2C20%2C21%2C22%2C23%2C24%2C25%2C26%2C27%2C1%2C2%2C3%2C4%2C5%2C6&baseParams[activeModule]=coverage_main&baseParams[yearRange]=1985-2022> Acesso em jan/2024</p>
</div>
<div data-bbox=)

[https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/regeneracao?activeBaseMap=1&layersOpacity=100&activeModule=quality of pasture data&activeModuleContent=quality of pasture data%3Aquality of pasture data main&activeYear=2000%2C2022&mapPosition=-24.634360%2C-51.321875%2C7&timelineLimitsRange=2000%2C2022&activeLayers=estados&baseParams\[territoryType\]=3&baseParams\[territoryValueType\]=multiple&baseParams\[territories\]=28%3BParan%C3%A1%3B3%3BEstado%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams\[activeClassTreeOptionValue\]=quality of pasture main&baseParams\[activeClassTreeNodeIds\]=136%2C137%2C138&baseParams\[activeSubmodule\]=quality of pasture data main&baseParams\[yearRange\]=1985-2022](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/regeneracao?activeBaseMap=1&layersOpacity=100&activeModule=quality%20of%20pasture%20data&activeModuleContent=quality%20of%20pasture%20data%3Aquality%20of%20pasture%20data%20main&activeYear=2000%2C2022&mapPosition=-24.634360%2C-51.321875%2C7&timelineLimitsRange=2000%2C2022&activeLayers=estados&baseParams[territoryType]=3&baseParams[territoryValueType]=multiple&baseParams[territories]=28%3BParan%C3%A1%3B3%3BEstado%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams[activeClassTreeOptionValue]=quality%20of%20pasture%20main&baseParams[activeClassTreeNodeIds]=136%2C137%2C138&baseParams[activeSubmodule]=quality%20of%20pasture%20data%20main&baseParams[yearRange]=1985-2022)> Acesso em fev/2024

\_\_\_\_\_. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). MapBiomias. Coleção 8. Vegetação Secundária. 2023e. Disponível em:<

[https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/regeneracao?activeBaseMap=1&layersOpacity=100&activeModule=regeneration&activeModuleContent=regeneration%3Aregeneration\\_annual&activeYear=1986%2C2021&mapPosition=-24.632038%2C-51.322632%2C7&timelineLimitsRange=1986%2C2021&baseParams\[territoryType\]=3&baseParams\[territoryValueType\]=multiple&baseParams\[territories\]=28%3BParan%C3%A1%3B3%3BEstado%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams\[activeClassTreeOptionValue\]=regeneration\\_annual\\_by\\_class&baseParams\[activeClassTreeNodeIds\]=364%2C369%2C385%2C386%2C387%2C388%2C389%2C370%2C390%2C391%2C392%2C393%2C394%2C395%2C365%2C371%2C396%2C397%2C400%2C402%2C403%2C404%2C405%2C406%2C401%2C407%2C408%2C409%2C410%2C398%2C399%2C366%2C372%2C373&baseParams\[activeSubmodule\]=regeneration\\_annual&baseParams\[activeTransitionsClassesListItems\]=non\\_vegetated\\_areas\\_to\\_vegetated%2Cincrease\\_of\\_water\\_surface%2Creduction\\_of\\_water\\_surface%2Cgain\\_of\\_forest\\_plantations%2Cvegetated\\_areas\\_to\\_non\\_vegetated%2Careas\\_without\\_transitions\\_or\\_unobserved&baseParams\[yearRange\]=1985-2022](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/regeneracao?activeBaseMap=1&layersOpacity=100&activeModule=regeneration&activeModuleContent=regeneration%3Aregeneration%20annual&activeYear=1986%2C2021&mapPosition=-24.632038%2C-51.322632%2C7&timelineLimitsRange=1986%2C2021&baseParams[territoryType]=3&baseParams[territoryValueType]=multiple&baseParams[territories]=28%3BParan%C3%A1%3B3%3BEstado%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams[activeClassTreeOptionValue]=regeneration%20annual%20by%20class&baseParams[activeClassTreeNodeIds]=364%2C369%2C385%2C386%2C387%2C388%2C389%2C370%2C390%2C391%2C392%2C393%2C394%2C395%2C365%2C371%2C396%2C397%2C400%2C402%2C403%2C404%2C405%2C406%2C401%2C407%2C408%2C409%2C410%2C398%2C399%2C366%2C372%2C373&baseParams[activeSubmodule]=regeneration%20annual&baseParams[activeTransitionsClassesListItems]=non%20vegetated%20areas%20to%20vegetated%2Cincrease%20of%20water%20surface%2Creduction%20of%20water%20surface%2Cgain%20of%20forest%20plantations%2Cvegetated%20areas%20to%20non%20vegetated%2Careas%20without%20transitions%20or%20unobserved&baseParams[yearRange]=1985-2022). Acesso em fev/2024

\_\_\_\_\_. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Paraná. 2024. Disponível em:<

<https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/parana>> Acesso em jan/2024

PEQUENO, D, N. L., *et al.* Production vulnerability to wheat blast disease under climate change. *Nature Climate Change*. 14, 178 – 183, 2024.

<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01902-2>. Acesso em:< 15 out.2024

PIRES, M. J. S. **O grau de heterogeneidade da Estrutura Agrícola da Região Centro-Oeste segundo os censos agropecuários 1995, 2006 e 2017**. Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Ministério da Economia. Rio de Janeiro, 2020.

PORTER, J.R., *et. al.* Chapter 7: Security and Food Production Systems. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II para o Fifth Assessment Report (AR5) do IPCC. 49p, 2014. Disponível em: < [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf)> Acesso em 05 out.2021.

PROLO, C. et al. **Guia do CEO para a COP 26**. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e a Latin American Climate Lawyers Initiative for Mobilizing Action (LACLIMA). 30p, 2021.

SÁ, J.C.M., LAL, R., CERRI, C.C., LORENZ, K., HUNGRIA, M., CARVALHO, P.C.F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International** 98, 102 – 112, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>> Acesso em fev.2024.

TAUB, D. R., MILLER, B., ALLEN, H. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. **Global Change Biology**. Vol. 14, 3. 565-575, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01511.x>

TIRADO, M.C., CLARKE, R., JAYKUS, L.A., MCQUITTERS-GOLLOP, A., et al. **Climate change and food safety: A review**. Food and Agriculture Organization of the United States Vol. 43, 7, 1745-1765, 2013

UNICA. União da Indústria da Cana-de-Açúcar e Bioenergia. UNICAdata – Observatório da Cana de Açúcar e Bioenergia. Histórico de Moagem e Produção. 2023. Disponível em: <<https://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=4>> Acesso em janeiro/2024

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change**. 1992. Disponível em: <[https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)> Acesso em: 30 jul.2021

\_\_\_\_\_. **The 17 Goals: History**. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>> Acesso em: 01.ago.2021a

\_\_\_\_\_. **13 – Take urgent action to combat climate change and its impacts**. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals/goal13>> Acesso em: 30 jul.2021b

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) Summary of the Paris Agreement. Disponível em: <UNFCCC eHandbook – Startpage> . Acesso em 30.jul.2021a

\_\_\_\_\_. **The Paris Agreement**. Disponível em <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em 15 set.2021b.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Fact Sheet: Climate Change science – the status of climate change science today**, 2011. Disponível em: <[https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press\\_factsh\\_science.pdf](https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf)> Acesso em: 30 ago.2021

RASMUSSEN, T.N. **Macroeconomic implications of natural disasters in the Caribbean**. IMF Working Paper WP/04/224. International Monetary Fund. Washington, D.C., 2004.

ROSON, R. e MENSBRUGGHE, D. **Climate Change and Economic Growth: Impacts and Interactions**. Departamento de Ciência Econômica. Universidade Ca'Foscari, Cannaregio. Veneza, Itália, 2010.

SENEVIRATNE, S. I. *et. al.* Chapter 11: Weather and climate extreme events in a changing climate. **Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Working Group I. World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP). 366p, 2021. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_11.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_11.pdf)> Acesso em: 05.out.2021.

SILVA, J.A.R, TERRA, A.B.T, ASSIS, C., FLORENTINO, L.A., PUTTI, F.F. Tratamento de dejetos no Brasil: Comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. V.13, n.2, p. 797-817, 2020. e-ISSN 2176-9168 DOI:10.17765/2176-9168.2020v13n2p797-817

SKIDMORE, M. e TOYA, H. Do natural disasters promote long-run growth? **Economic Inquiry**. 40(4), 664-687, 2002.

TEDESCHI, R. G., CAVALCANTI, I. A. F. e GRIMM, A. M. **Influences of two types of ENSO on South American Precipitation**. International Journal of Climatology Climatology 33. 1382-1400, 2013. doi: [10.1002/joc.3519](https://doi.org/10.1002/joc.3519).

WANDER, A. E. e CUNHA, C. A. Locais de concentração de atividades agropecuárias na região Centro-Oeste. **Revista Tecnologia e Sociedade**. v.12 n.25, 129-144, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The Global Risks: Report 2020**. Insight Report, 15° edição, 102p, 2020. Disponível em: <[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risk\\_Report\\_2020.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf)> Acesso em 07 set.2021

\_\_\_\_\_. The Global Risks Report 2024. 19<sup>th</sup> Edition, Insight Report. 124p, 2024. Disponível em: <[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2024.pdf?\\_gl=1\\*1h4q6us\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPUDqpf9Ng32KpP1HjwOC6jZ5VeKsFqnuUdovzxGDjbd3lZYZo6-Yz-xoCa0UQAvD\\_BwE](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf?_gl=1*1h4q6us*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPUDqpf9Ng32KpP1HjwOC6jZ5VeKsFqnuUdovzxGDjbd3lZYZo6-Yz-xoCa0UQAvD_BwE)> Acesso em 20 out.2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Low-Carbon Growth is a \$26 trillion opportunity. Here are 4 ways to seize it**. 2018. Disponível em: <Low-Carbon Growth Is a \$26 Trillion Opportunity. Here Are 4 Ways to Seize It. | World Resources Institute (wri.org)> Acesso em: 15.jul.2021.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas Protocol Calculation Tool for Forestry in Brazil. São Paulo: WRI, 2020. 32 p. Disponível em:

[https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/ghg\\_protocolo-florestas-technicalnote.pdf](https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/ghg_protocolo-florestas-technicalnote.pdf). Acesso em: dez/2023

\_\_\_\_\_. **Historical GHG Emissions**. ClimateWatch. 2023. Disponível em: <[https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&end\\_year=2020&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&end_year=2020&start_year=1990)> Acesso em 15 out.2023

VERMEULEN, S. J., CAMPBELL, B.M, e INGRAM, S. I. Climate Change and Food Systems. **Annual Review of Environment and Resources**. 195 – 228, 2012. Disponível em <[www.annualreview.org](http://www.annualreview.org)> Acesso em 05 out.2021.

## ANEXO 1 – METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

### Fermentação Entérica

O cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da fermentação entérica dos animais utilizou a equação apresentada a seguir, seguindo o Relatório de Referência do Subsetor Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b):

$$E_{FE} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6})$$

Onde:

$E_{FE}$ : emissão total de CH<sub>4</sub> proveniente da fermentação entérica [Gg CH<sub>4</sub>]

$N_T$ : número total de cabeças por espécie e categoria animal T [nº de cabeças]

$EF_T$ : fator de emissão de CH<sub>4</sub> por fermentação entérica da categoria de animal T [kg CH<sub>4</sub>/animal/ano]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

As categorias animais contemplam as populações de bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos.

Os fatores de emissão utilizados e suas respectivas categorias foram obtidos do Relatório de Referência do Subsetor Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b). Esses fatores foram extrapolados para o período de 2021 a 2050 para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### Manejo de Dejetos Animais

O cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes do manejo de dejetos animais utilizou a equação apresentada a seguir, seguindo o Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos Animais do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e):

$$E_{MDCH_4} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6})$$

Onde:

$E_{MDCH_4}$ : emissão total de CH<sub>4</sub> proveniente do manejo de dejetos animais [Gg CH<sub>4</sub>]

$N_T$ : número total de cabeças por espécie e categoria animal T [n° de cabeças]  
 $EF_T$ : fator de emissão de CH<sub>4</sub> proveniente do manejo de dejetos, por categoria de animal T [kg/CH<sub>4</sub>/animal/ano]  
 $10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

A emissão direta de N<sub>2</sub>O também foi calculada de acordo com o Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos Animais do 4° Inventário Nacional (BRASIL, 2020e):

$$E_{MDdN_2O} = \left\{ \sum_S \left[ \sum_T (N_T \times N_{exT} \times MS_{T,S}) \right] \times EF_{3S} \right\} \times F_C \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{MDdN_2O}$  : emissão direta total de N<sub>2</sub>O proveniente dos dejetos de animais submetidos a tratamento (não depositados diretamente em pastagem) [Gg N<sub>2</sub>O]

$N_T$  : é a população da categoria animal T [número de cabeças]

$N_{exT}$  : quantidade de nitrogênio excretado da categoria animal T [kg N/animal/ano]

$MS_{(T,S)}$  : sistema de manejo de dejetos S para cada categoria T [%]

$EF_{3S}$  : fator de emissão específico do sistema de manejo de dejetos S utilizado [kg N<sub>2</sub>O-N/kg N]

$F_C$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : é o fator de conversão de kg para Gg

Assim como a emissão indireta de N<sub>2</sub>O:

$$E_{MDiN_2O} = (N_{volatilizado} \times EF_4) \times F_C \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{MDiN_2O}$  : emissão indireta total de N<sub>2</sub>O proveniente dos dejetos de animais submetidos a tratamento (não depositados diretamente em pastagem), por categoria animal T [Gg N<sub>2</sub>O]

$N_{volatilizado}$  : quantidade de nitrogênio (N) volatilizada [kg]

$EF_4$  : fator de emissão específico do sistema de manejo de dejetos [para emissão indireta é adotado o valor *default* de 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N, independentemente do tipo de manejo utilizado]

$F_c$  é o fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

Sendo a quantidade de nitrogênio volatilizada ( $N_{volatilizado}$ ) dada por:

$$N_{volatilizado} = \left\{ \sum_S \left[ \sum_T (N_T \times N_{exT} \times MS_{T,S}) \right] \times \frac{Frac_{GasMS_{T,S}}}{100} \right\}$$

Onde:

$N_{volatilizado}$ : quantidade de nitrogênio volatilizado [kg N]

$N_T$  :população da categoria animal T [n° de cabeças]

$N_{exT}$  : quantidade de nitrogênio excretado da categoria animal T [kg

N/animal/ano]

$MS_{T,S}$  :sistema de manejo de dejetos S para cada categoria T [%]

$Frac_{GasMS}$  :fração de nitrogênio do dejetos manejado que volatiliza para cada tipo de manejo S de categoria T;

$MS_{(T,S)}$  :sistema de manejo de dejetos específico para cada espécie e categoria [%]

Os fatores de emissão utilizados e suas respectivas categorias foram obtidos do Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos Animais do 4° Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

## Cultivo de Arroz

O cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> decorrente do cultivo de arroz seguiu o Relatório de Referência do 4° Inventário Nacional de Emissões (BRASIL, 2020e), conforme a equação:

$$E_{CA} = \sum_{j,i,k} (EF_{j,i,k} \times t_{j,i,k} \times A_{j,i,k} \times 10^{-6})$$

Onde:

$E_{CA}$  : emissão de metano pelo cultivo de arroz [Gg de CH<sub>4</sub>/ano]

$EF_{j,i,k}$  : fator de emissão diário para as condições j, i, k [kg CH<sub>4</sub>/ha/dia]

$t_{j,i,k}$  : período de cultivo do arroz para as condições i, j, e k [dia]

$A_{j,i,k}$  :área de arroz colhida anualmente, para as condições i, j, e k [ha/ano]

$10^{-6}$  : fator de conversão de [kg para Gg]

$i, j$  e  $k$ : representam os diferentes ecossistemas, regimes de manejo da água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar as emissões de  $\text{CH}_4$  provenientes do cultivo de arroz

Os fatores de emissão utilizados e suas respectivas categorias foram obtidos do Relatório de Referência do Subsetor Cultivo de Arroz do 4° Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### Solos Manejados

Os cálculos das emissões diretas e indiretas do subsetor Solos Manejados seguiu o Relatório de Referência do 4° Inventário Nacional de Emissões (BRASIL, 2020d).

#### *Aplicação de vinhaça como adubo orgânico*

O cálculo da emissão direta de  $\text{N}_2\text{O}$  decorrente da aplicação de vinhaça, subproduto da produção de etanol, no solo como adubo orgânico foi realizado conforme a equação:

$$E_V = \sum (P_E \times P_{EV} \times N_V \times 10^3) \times FE_v \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_V$  : emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  diretas pela aplicação de vinhaça ao campo [Gg de  $\text{N}_2\text{O}$ ]

$P_E$ : produção de etanol [mil  $\text{m}^3$ ]

$P_{EV}$ : proporção da produção de vinhaça e etanol [L de vinhaça/L de etanol]

$N_V$  : quantidade de nitrogênio contida na vinhaça [kg N/ $\text{m}^3$  de vinhaça]

$10^3$ : fator de conversão de  $\text{m}^3$  para L

$FE_v$  : fator de emissão direta de  $\text{N}_2\text{O}$  pela aplicação de vinhaça ao campo [kg N- $\text{N}_2\text{O}$  por kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em  $\text{N}_2\text{O}$  [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

#### *Aplicação de torta de filtro como adubo orgânico*

O cálculo da emissão direta de N<sub>2</sub>O decorrente da aplicação de torta de filtro, subproduto da fabricação de etanol e açúcar, no solo como adubo orgânico foi realizado conforme a equação:

$$E_{Tf} = \sum \left( (P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TfG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CfE} \times T_{TfG}) \right. \\ \left. + (P_E \times 10^3 \times T_{CfE} \times T_{TfG}) \right) \\ \times TN_{Tf} \times 10^3 \times FE_v \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{Tf}$  : emissões de N<sub>2</sub>O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$P_A$  : produção de açúcar [mil toneladas]

$P_E$  : produção de etanol [mil m<sup>3</sup>]

$T_{CF}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

$T_{TfG}$  : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

$V_{ER}$  : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m<sup>3</sup>/ton açúcar]

$T_{CfE}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m<sup>3</sup> etanol]

$TN_{Tf}$  : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

$FE_v$  : fator de emissão direta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de vinhaça ao campo [kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : Fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

O cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O é dada pela seguinte equação:

$$E_{Tfin} = \sum \left( (P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TFG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CFE} \times T_{TFG}) \right. \\ \left. + (P_E \times 10^3 \times T_{CFE} \times T_{TFG}) \right) \\ \times TN_{Tf} \times 10^3 \times Frac_{gasm} \times EF_4 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{Tf}$  : emissões de N<sub>2</sub>O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$P_A$  : produção de açúcar [mil toneladas]

$P_E$  : produção de etanol [mil m<sup>3</sup>]

$T_{CF}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

$T_{TFG}$  : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

$V_{ER}$  : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m<sup>3</sup>/ton açúcar]

$T_{CFE}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m<sup>3</sup> etanol]

$TN_{Tf}$  : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

$Frac_{gasm}$  : Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

$EF_4$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,01 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : Fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

#### *Aplicação de esterco como adubo orgânico*

O cálculo da emissão direta de N<sub>2</sub>O da aplicação de esterco como adubo orgânico no solo foi realizada de acordo com a seguinte equação:

$$E_E = N_T \times Nex_T \times \sum_S (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss\ ms}) \times F_c \times 10^{-6})$$

Onde:

$E_E$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$N_T$ : população animal por categoria animal T [n° de cabeças]

$Nex_T$ : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg

N/categoria animal]

$MS_{TS}$ : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$Frac_{loss\ ms}$ : fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Já o cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O da aplicação de esterco como adubo orgânico é dada por:

$$E_{Ein} = N_T \times Nex_T \times \sum_S (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss\ ms}) \times F_c \times 10^{-6}) \times Frac_{gasm} \times EF_4$$

Onde:

$E_E$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$N_T$ : população animal por categoria animal T [n° de cabeças]

$Nex_T$ : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg

N/categoria animal]

$MS_{TS}$ : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$Frac_{loss\ ms}$ : fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

$Frac_{gasm}$ : Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

$EF_4$ : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco como adubo no campo [0,01 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4° Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### Deposição de Dejetos

O cálculo da emissão de N<sub>2</sub>O decorrente da deposição de dejetos como adubo orgânico foi realizada de acordo com a equação:

$$E_{DP} = \sum(N_T \times N_{exT} \times MS_T \times EF_{3PRP}) \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{DP}$ : emissões diretas de N<sub>2</sub>O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N<sub>2</sub>O];

$N_T$ : população da categoria animal T [n° de cabeças];

$N_{exT}$ : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

$MS_T$ : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

$EF_{3PRP}$ : fator de emissão direta de N<sub>2</sub>O por dejetos de animais depositados diretamente em pastagens por categoria animal T [kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado];

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28];

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Já a emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela deposição de dejetos no solo é dada por:

$$E_{DP} = \sum(N_T \times N_{exT} \times MS_T) \times Frac_{gasm} \times EF_4 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{DP}$ : emissões diretas de N<sub>2</sub>O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N<sub>2</sub>O];

$N_T$ : população da categoria animal T [n° de cabeças];

$N_{exT}$ : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

$MS_T$ : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

$Frac_{gasm}$ : Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

$EF_4$ : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela deposição de dejetos no campo [0,01 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28];

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### *Fertilizantes Sintéticos*

O cálculo da emissão direta de N<sub>2</sub>O decorrente do uso de fertilizantes sintéticos no solo é dada pela seguinte equação:

$$E_{FSN} = (N_{fert} - ((N_{ureia} \times FRAC_{3GASF(ureia)}) + (N_{outros} \times FRAC_{3GASF(outros)})) \times EF_1 \times F_c \times 10^{-3}$$

Onde:

$E_{FSN}$ : emissões diretas de N<sub>2</sub>O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$N_{fert}$ : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

$N_{ureia}$ : quantidade de ureia em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de ureia]

$N_{outros}$ : quantidade de Outros Fertilizantes em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de outros fertilizantes]

$FRAC_{3GASF(ureia)}$ : fração do N aplicado que volatiliza na forma de Ureia [0,3]

$FRAC_{3GASF(outros)}$ : fração do N aplicado que volatiliza na forma de Outros Fertilizantes [0,1]

$EF_1$ : fator de emissão direta de N<sub>2</sub>O por fertilizantes sintéticos [0,01 kg N-N<sub>2</sub>O por kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-3}$ : fator de conversão de kg para Gg

Já o cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O pelo uso de fertilizantes sintéticos é dado por:

$$E_{FSN} = (N_{fert} - ((N_{ureia} \times FRAC_{3GASF(ureia)}) + (N_{outros} \times FRAC_{3GASF(outros)})) \times EF_4 \times F_c \times 10^{-3}$$

Onde:

$E_{FSN}$ : emissões diretas de  $N_2O$  por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de  $N_2O$ ]

$N_{fert}$ : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

$N_{ureia}$ : quantidade de ureia em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de ureia]

$N_{outros}$ : quantidade de Outros Fertilizantes em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de outros fertilizantes]

$FRAC_{3GASF(ureia)}$ : fração do N aplicado que volatiliza na forma de Ureia [0,3]

$FRAC_{3GASF(outros)}$ : fração do N aplicado que volatiliza na forma de Outros Fertilizantes [0,1]

$EF_4$ : fator de emissão direta de  $N_2O$  por fertilizantes sintéticos [0,01 kg N- $N_2O$  por kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em  $N_2O$  [44/28]

$10^{-3}$ : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### *Resíduos Agrícolas*

O cálculo da emissão direta de  $N_2O$  decorrente dos resíduos agrícolas possui diferentes equações de acordo com o tipo de cultura. Elas foram separadas em dois grupos, de acordo com o tipo de dado disponível e características das culturas. No Grupo 1 foram incluídas as culturas de soja, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, algodão, fumo, mamona, tomate, abacaxi, melancia, melão, alho, cebola, juta, linho, malva, rami, triticale. Já no Grupo 2 foram incluídas as culturas de amendoim, aveia, centeio, cevada, sorgo, ervilha, fava, batata-doce, batata-inglesa, girassol.

Além da aplicação de diferentes equações para os Grupos 1 e 2 foram utilizadas equações específicas para a cultura da cana-de-açúcar e pastagens.

Sendo assim, a emissão direta total de  $N_2O$  por resíduos agrícolas será a soma das emissões das categorias supracitadas.

$$ET_{N_2O} = \text{Emissão}_{FCR1(N_2O)} + \text{Emissão}_{FCR2(N_2O)} + \text{Emissão}_{Cana_{N_2O}} \\ + \text{Emissão}_{F_{cr} \text{ Pastagens}}$$

Onde:

$ET_{N_2O}$ : emissão direta total de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas [Gg de  $N_2O$ ]

$\text{Emissão}_{FCR1(N_2O)}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de  $N_2O$ ]

$\text{Emissão}_{FCR2(N_2O)}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de  $N_2O$ ]

$\text{Emissão}_{Cana_{N_2O}}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de  $N_2O$ ]

$\text{Emissão}_{F_{cr} \text{ Pastagens}}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de  $N_2O$ ]

As emissões por categoria são dadas por:

Para o Grupo 1:

$$\text{Emissão}_{FCR1(N_2O)} = F_{CR1} \times EF_1 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$\text{Emissão}_{FCR1(N_2O)}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de  $N_2O$ ]

$F_{CR1}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1 [kg N]

$F_c$ : fator de conversão de N em  $N_2O$  [44/28]

$EF_1$ : fator de emissão de  $N_2O$  [kg N- $N_2O$ /kg N no resíduo cultura]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Para o Grupo 2:

$$\text{Emissão}_{FCR2(N_2O)} = F_{CR2} \times EF_2 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$\text{Emissão}_{FCR1(N_2O)}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de  $N_2O$ ]

$F_{CR2}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 2 [kg N]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$EF_1$  : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [kg N-N<sub>2</sub>O/kg N no resíduo cultura]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Para cana-de-açúcar:

$$\text{Emissão } F_{CR1} = F_{CR1} \times F_c \times 10^{-6}$$

$$\text{Emissão } F_{CR2} = F_{CR2} \times F_c \times 10^{-6}$$

$$\text{Emissão } \text{Cana}_{N_2O} = \text{Emissão } F_{cr1} + \text{Emissão } F_{cr2}$$

Onde:

$\text{Emissão } \text{Cana}_{N_2O}$ : emissão direta total de N<sub>2</sub>O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N<sub>2</sub>O]

$\text{Emissão } F_{CR1}$  e  $\text{Emissão } F_{CR2}$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N<sub>2</sub>O]

$F_{CR1}$  e  $F_{CR2}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos [kg N]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Para pastagens:

$$\text{Emissão } F_{CR \text{ Pastagens}} = EF_{py} \times A_{Mun \text{ Pastagens}} \times EF_1 \times F_c \times 0,000001$$

Onde:

$\text{Emissão } F_{CR \text{ Pastagens}}$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O da renovação das pastagens [Gg de N<sub>2</sub>O];

$EF_{py}$ : fator de emissão proxy [ton N/ha];

$A_{Mun \text{ Pastagens}}$ : área de pastagens no nível municipal [ha];

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28];

$EF_1$  : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [kg N- N<sub>2</sub>O por kg N no resíduo da cultura];

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

*Solos Orgânicos*

O cálculo da emissão direta de N<sub>2</sub>O por solos orgânicos cultivados é dada pela seguinte equação:

$$E_{SO} = A_{SC} \times EF_2 \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{SO}$  : emissões de solos orgânicos [Gg de N<sub>2</sub>O]

$A_{SC}$  : área de solos orgânicos cultivados (manejada) [ha]

$EF_2$ : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [9,41 kg de N<sub>2</sub>O/ha cultivado]

$EF_{py}$ : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [kg de N<sub>2</sub>O/ha cultivado]

$F_C$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

#### *Mineralização de N associado à perda de carbono no solo*

O cálculo da emissão direta de N<sub>2</sub>O devido à mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo é dada pela seguinte equação:

$$E_{Mi} = A \times EF_1 \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{Mi}$  : emissões de solos orgânicos [Gg de N<sub>2</sub>O]

$A$  : área [ha]

$EF_1$ : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [0,01 kg de N<sub>2</sub>O/ha]

$EF_{py}$ : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [kg de N<sub>2</sub>O/ha]

$F_C$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

#### *Lixiviação*

O cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O decorrente da lixiviação de vinhaça aplicada como adubo orgânico é dado por:

$$E_V = \sum (P_E \times P_{EV} \times N_V \times 10^3) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_V$  : emissões de N<sub>2</sub>O indiretas pela aplicação de vinhaça ao campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$P_E$ : produção de etanol [mil m<sup>3</sup>]

$P_{EV}$ : proporção da produção de vinhaça e etanol [L de vinhaça/L de etanol]

$N_V$  : quantidade de nitrogênio contida na vinhaça [kg N/m<sup>3</sup> de vinhaça]

10<sup>3</sup>: fator de conversão de m<sup>3</sup> para L

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de vinhaça ao campo [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

10<sup>-6</sup> : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

Já o cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de torta de filtro no solo como adubo orgânico é dada pela seguinte equação:

$$E_{Tfin} = \sum ((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TFG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CFE} \times T_{TFG})) \\ + (P_E \times 10^3 \times T_{CFE} \times T_{TFG}) \\ \times TN_{Tf} \times 10^3 \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{Tf}$  : emissões de N<sub>2</sub>O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$P_A$  : produção de açúcar [mil toneladas]

$P_E$  : produção de etanol [mil m<sup>3</sup>]

$T_{CF}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

$T_{TfG}$  : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

$V_{ER}$  : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m<sup>3</sup>/ton açúcar]

$T_{CfE}$  : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m<sup>3</sup> etanol]

$TN_{Tf}$  : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : Fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

O cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco como adubo orgânico, por sua vez, é dado por:

$$E_{Ein} = N_T \times Nex_T \times \sum_S (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss\ ms}) \times F_c \times 10^{-6}) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5$$

Onde:

$E_E$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$N_T$ : população animal por categoria animal T [nº de cabeças]

$Nex_T$  : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg N/categoria animal]

$MS_{TS}$ : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$Frac_{loss\ ms}$ : fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela aplicação de esterco no campo [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

O cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O da lixiviação decorrente da deposição de dejetos é dado pela equação:

$$E_{DP} = \sum(N_T \times N_{exT} \times MS_T) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{DP}$ : emissões diretas de N<sub>2</sub>O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N<sub>2</sub>O];

$N_T$ : população da categoria animal T [nº de cabeças];

$N_{exT}$ : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

$MS_T$ : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$ : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O pela deposição de dejetos [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28];

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

O cálculo da emissão indireta de N<sub>2</sub>O da lixiviação de fertilizantes sintéticos é dada pela equação:

$$E_{FSNin} = N_{fert} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-3}$$

Onde:

$E_{FSN}$ : emissões diretas de N<sub>2</sub>O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N<sub>2</sub>O]

$N_{fert}$  : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de  $N_2O$  pelo uso de fertilizantes sintéticos [0,0075 kg N- $N_2O$ /kg de N aplicado]

$F_c$ : fator de conversão de N em  $N_2O$  [44/28]

$10^{-3}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

Assim como a emissão direta de  $N_2O$  por resíduos agrícolas, a emissão indireta de  $N_2O$  por resíduos se dividi conforme o tipo de cultura, conforme equações apresentadas a seguir:

$$ETin_{N_2O} = Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR2(N_2O)} \\ + Emiss\tilde{a}o\ indireta\ Cana_{N_2O} + Emiss\tilde{a}o\ indireta\ F_{cr\ Pastagens}$$

Onde:

$ETin_{N_2O}$ : emissão indireta total de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas [Gg de  $N_2O$ ]

$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N_2O)}$ : emissão indireta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de  $N_2O$ ]

$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR2(N_2O)}$ : emissão indireta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de  $N_2O$ ]

$Emiss\tilde{a}o\ indireta\ Cana_{N_2O}$ : emissão indireta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de  $N_2O$ ]

$Emiss\tilde{a}o\ indireta\ F_{cr\ Pastagens}$ : emissão indireta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de  $N_2O$ ]

Para o Grupo 1:

$$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N_2O)} = F_{CR1} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N_2O)}$ : emissão direta de  $N_2O$  dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de  $N_2O$ ]

$F_{CR1}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1  
[kg N]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Para o Grupo 2:

$$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR2(N2O)} = F_{CR2} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N2O)}$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N<sub>2</sub>O]

$F_{CR2}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 2  
[kg N]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Para cana-de-açúcar:

$$Emiss\tilde{a}o\ F_{CR1} = F_{CR1} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

$$Emiss\tilde{a}o\ F_{CR2} = F_{CR2} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

$$Emiss\tilde{a}o\ indireta\ Cana_{N2O} = Emiss\tilde{a}o\ F_{cr1} + Emiss\tilde{a}o\ F_{cr2}$$

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\ indireta\ Cana_{N2O}$ : emissão direta total de N<sub>2</sub>O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N<sub>2</sub>O]

$Emiss\tilde{a}o\ F_{CR1}$  e  $Emiss\tilde{a}o\ F_{CR2}$ : emissão direta de N<sub>2</sub>O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N<sub>2</sub>O]

$F_{CR1}$  e  $F_{CR2}$ : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos [kg N]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Para pastagens:

*Emissão indireta  $F_{CR\ Pastagens}$*

$$= EF_{py} \times A_{Mun\ Pastagens} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 0,000001$$

Onde:

*Emissão indireta  $F_{CR\ Pastagens}$* : emissão direta de N<sub>2</sub>O da renovação das pastagens [Gg de N<sub>2</sub>O];

$EF_{py}$ : fator de emissão proxy de 1970 até 2020 [ton N/ha];

$A_{Mun\ Pastagens}$ : área de pastagens no nível municipal [ha];

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28];

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

Já a emissão indireta de N<sub>2</sub>O da mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo é dada por:

$$E_{Mi} = A \times EF_{py-lix} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{Mi}$  : emissões de solos orgânicos [Gg de N<sub>2</sub>O]

$A$  : área [ha]

$EF_{py-lix}$ : fator de emissão de N<sub>2</sub>O [kg de N<sub>2</sub>O/ha]

$Frac_{leach-(h)}$ : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

$EF_5$  : fator de emissão indireta de N<sub>2</sub>O por mineralização de N associado à perda de carbono no solo [0,0075 kg N-N<sub>2</sub>O/kg de N aplicado]

$F_c$  : fator de conversão de N em N<sub>2</sub>O [44/28]

$10^{-6}$  : fator de conversão de kg para Gg

Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### *Calagem*

O cálculo da emissão direta de CO<sub>2</sub> pelo uso de calcário é dada pela equação:

$$E_{UC} = U_c \times EF$$

Onde:

$E_{UC}$ : emissão de CO<sub>2</sub> de uso de calcário [Gg de CO<sub>2</sub>]

$U_c$  : quantidade de calcário utilizado [10<sup>3</sup> toneladas]

$EF$  : fator de emissão [0,477 t CO<sub>2</sub>/t calcário dolomítico]

O fator de emissão utilizado foi obtido do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### *Aplicação de ureia*

O cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> pela aplicação de ureia é dada pela equação:

$$E_{AU} = A_u \times EF \times 10^{-3}$$

Onde:

$E_{AU}$ : emissão de CO<sub>2</sub> de aplicação de ureia [Gg de CO<sub>2</sub>]

$A_u$  : quantidade de ureia aplicada [toneladas]

$EF$  : fator de emissão [1,63 tCO<sub>2</sub>/t ureia aplicada]

$10^{-3}$ : fator de conversão de ton para Gg.

O fator de emissão utilizado foi obtido do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Esses fatores foram extrapolados para o cálculo da trajetória de emissões de GEE do estado do Paraná.

### **Queima de Resíduos Agrícolas**

O cálculo das emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO e NO<sub>x</sub> na queima de resíduos de algodão e cana-de-açúcar é dada pela equação:

$$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s} = Aq \times BC \times Cf \times EF \times 10^{-6}$$

Onde:

$E_{\text{emissão}_{\text{Gás}}}$ : emissão do tipo de gás ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) [Gg de gás];

$A_q$ : área em que ocorre a queima de resíduos agrícola [ha];

$BC$ : biomassa disponível para combustão da cultura [ton/ha];

$Cf$ : fator de combustão [0,8, adimensional];

$EF$ : fator de emissão específico de cada gás ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) de matéria seca queimada [g/kg];