

**PROJETO PARANÁ CLIMA/2020**

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA  
DO ESTADO DO ESTADO DO PARANÁ**



**RELATÓRIO DE REFERÊNCIA DO SUBSETOR SOLOS  
MANEJADOS (3.C.4) DO SETOR DE AFOLU**

Versão de março de 2023

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ  
SUBSETOR SOLOS MANEJADOS (3.C.4) DO SETOR DE AFOLU**

**Carlos Massa Ratinho Junior**

Governador do Estado do Paraná

**Valdemar Bernardo Jorge**

Secretário de Estado do Desenvolvimento Sustentável

**Louise da Costa e Silva Garnica**

Diretora Geral da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável

**Eduardo Alvim Leite**

Diretor-Presidente do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná

**Everton Luiz da Costa Souza**

Diretor-Presidente do Instituto Água e Terra

**Christiano Pires de Campos**

Coordenador do Segundo Inventário de Emissões Antrópicas Diretas e de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Estado do Paraná (SIMEPAR)

Equipe Técnica SIMEPAR:

**Eng Christiano Pires de Campos (Pesquisador, D.Sc.)**

**Eng Nayana Machado (Pesquisadora, M.Sc.)**

Instituições colaboradoras

ALCOPAR - Associação de Produtores de Alcool e Açúcar do Estado do Paraná

ESALQ - Biblioteca da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

SEAB - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento

## **Aviso**

Com base nas diretrizes metodológicas de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas este documento apresenta os cálculos aplicados para atualizar as estimativas de emissões estaduais que serviram de subsídios para elaboração do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, atendendo o artigo 13 da Política Estadual de Mudança do Clima estabelecida na lei 17.133/2012. Neste trabalho, foram consideradas, na medida do possível, informações oficiais públicas para o período de 2005 a 2019.

Todas as indicações, dados e resultados desse estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). A Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Turismo (SEDEST), o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Turismo, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodologia</b>	<b>1</b>
2.1. Cálculo das emissões	3
2.1.1. Emissões diretas	3
2.1.2. Emissões indiretas	12
2.1.2.1. Deposição atmosférica	12
2.1.2.2. Lixiviação de N	13
2.2. Dados de atividade	14
2.2.1. Fertilizantes Sintéticos (FSN)	16
2.2.2. Adubos Orgânicos (FON)	17
2.2.3. Resíduos Agrícolas (FPRP)	18
2.2.4. Dejetos em Pastagem (FCR)	19
2.3. Fatores de emissão e outros parâmetros	20
<b>3. Resultados</b>	<b>21</b>
3.1. Comparação com outras estimativas	22
3.2. Diferenças em relação ao Primeiro Inventário	24
<b>4. Referências</b>	<b>26</b>

## 1. Introdução

Este documento tem como objetivo a apresentação da metodologia de cálculo das emissões de gases de efeito estufa do subsetor **3.C.4 Solos Manejados** como parte integrante das atividades emissoras consideradas para o setor AFOLU (Agricultura Floresta e Uso do Solo) para o Segundo Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná para o período de 2005 e 2019.

Neste documento são descritas as fórmulas, dados de atividades, fatores de emissão e apresentação dos resultados. Bem como, uma breve comparação do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2INVPR) com os valores obtidos em outros documentos que também estimam as emissões estaduais no Paraná: 1º Inventário de Emissões de GEE do Paraná (2005-2012) (1INVPR, 2012), (SEMA, 2014), estimativas estaduais apresentadas no Relatório de Referência do Setor AFOLU da 4ª Comunicação Nacional (2005-2016) (MCTI, 2020) e das estimativas estaduais apresentadas na Nota Metodológica do Setor Agropecuário (versão 8) do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) (2005-2019) (SEEG, 2021).

## 2. Metodologia

As emissões estimadas foram baseadas nas diretrizes propostas nos Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2006). Referente aos dados de atividade da subcategoria **3.C.4 Solos Manejados** foram considerados os dados estaduais de mineralização de Nitrogênio no solo e solos orgânicos, e também os valores referente ao consumo de fertilizantes sintéticos, aplicação de adubos orgânicos e deposição de dejetos em pastagem. Dentre os dados municipais disponíveis foram utilizados os valores das áreas cultivadas e dos rebanhos (bovinos (corte e leite), suínos, ovinos, caprinos, asininos, muares, equinos, e bubalinos), pois são as categorias atendidas no Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados do Quarto Inventário Nacional (2020). Além também dos valores de estimados de vinhaça e torta de filtro gerados por cada município. As emissões do processo de Solos Manejados são de gás óxido nitroso ( $N_2O$ ). De acordo com o IPCC, a complexidade metodológica dos cálculos de emissões pode ser fornecida em três níveis. Tier 1, o método genérico, Tier 2 intermediário e Tier 3 o mais detalhado e específico para as condições nacionais. A **Tabela 01** traz um detalhamento da classificação do Tier e do tipo de gás considerado de acordo com cada tipo de rebanho.

**Tabela 01.** Lista dos gases de efeito estufa e Tiers utilizados para calcular as emissões do subsetor 3.C.4 Solos Manejados no Segundo Inventário de Emissões de GEE do Estado do Paraná.

Subsetor/Categoria IPCC		Gases e Tiers inventariados		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
3.C.4	Solos Manejados			
3.C.4.1	Emissões Diretas			
<b>3.C.4.1.a</b>	<b>Fertilizantes Sintéticos</b>			
3.C.4.1.a.i	Ureia	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.a.ii	Outros	N.A.	N.A.	2
<b>3.C.4.1.b</b>	<b>Adubos Orgânicos</b>			
3.C.4.1.b.i	Esterco (manejado)	N.A.	N.A.	1 e 2
3.C.4.1.b.ii	Vinhaça	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.b.iii	Torta de Filtro	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.b.iv	Lodo de Esgoto	N.A.	N.A.	N.A.
<b>3.C.4.1.c</b>	<b>Deposição de Dejetos (não manejados)</b>			
3.C.4.1.c.i	Bovinos	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.c.ii	Outros	N.A.	N.A.	1
<b>3.C.4.1.d</b>	<b>Resíduos Agrícolas</b>			
3.C.4.1.d.i	Soja	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.ii	Milho	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.iii	Cana-de-açúcar	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.iv	Arroz	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.v	Feijão	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.vi	Mandioca	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.vii	Trigo	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.viii	Pastagens	N.A.	N.A.	2
3.C.4.1.d.ix	Outras	N.A.	N.A.	2
<b>3.C.4.1.e</b>	<b>Mineralização de N associada a perda de C do solo</b>	N.A.	N.A.	2
<b>3.C.4.1.f</b>	<b>Manejo de Solos Orgânicos</b>	N.A.	N.A.	2
3.C.4.2	Emissões Indiretas			
<b>3.C.4.2.a</b>	<b>Deposição Atmosférica</b>			
3.C.4.2.a.i	Fertilizantes Sintéticos	N.A.	N.A.	2
3.C.4.2.a.ii	Adubos Orgânicos	N.A.	N.A.	2
3.C.4.2.a.iii	Deposição de Dejetos	N.A.	N.A.	1 e 2
3.C.4.2.a.iv	Resíduos Agrícolas	N.A.	N.A.	1 e 2

3.C.4.2.b	Lixiviação/Escorrimento Superficial			
3.C.4.2.b.i	Fertilizantes Sintéticos	N.A.	N.A.	2
3.C.4.2.b.ii	Aduos Orgânicos	N.A.	N.A.	1 e 2
3.C.4.2.b.iii	Deposição de Dejetos	N.A.	N.A.	1 e 2
3.C.4.2.b.iv	Resíduos Agrícolas	N.A.	N.A.	1 e 2
3.C.4.2.b.v	Mineralização de N Associada a Perda de C do Solo	N.A.	N.A.	2
3.C.4.2.b.vi	Manejo de Solos Orgânicos	N.A.	N.A.	2

N.A. - Não Aplicável; N.O. - Não Ocorre.

## 2.1. Cálculo das emissões

Para calcular as emissões do subsetor **3.C.4 Solos Manejados** foi utilizado o Volume 4, Capítulo 11, da Guia Metodológica do IPCC 2006 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.4, C.10, N<sub>2</sub>O Emissions From Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions From Lime and Urea Application). As equações utilizadas estão descritas a seguir e são definidas de acordo com a tipologia da atividade desenvolvida em cada subsetor e o tipo de emissão, podendo ser direta ou indireta.

### 2.1.1. Emissões diretas

Para converter emissões de N<sub>2</sub>O–N<sub>N inputs</sub>, N<sub>2</sub>O–N<sub>OS</sub> e N<sub>2</sub>O–N<sub>PRP</sub> em emissões de N<sub>2</sub>O para fins de relatório é realizada a multiplicação dos resultados por (44/28), relativo a massa de N presente na molécula de N<sub>2</sub>O.

Emissão direta N <sub>2</sub> O–N = N <sub>2</sub> O–N <sub>N inputs</sub> + N <sub>2</sub> O–N <sub>OS</sub> + N <sub>2</sub> O–N <sub>PRP</sub>	Eq. (01)	Equação 11.1, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	---

Onde:

N<sub>2</sub>O–N = Emissões diretas anuais de N<sub>2</sub>O–N produzidas a partir de solos manejados, kg N<sub>2</sub>O–N ano<sup>-1</sup>;

N<sub>2</sub>O–N<sub>N inputs</sub> = Emissões diretas anuais de N<sub>2</sub>O–N de entradas de N para solos manejados, kg N<sub>2</sub>O–N ano<sup>-1</sup>;

N<sub>2</sub>O–N<sub>OS</sub> = Emissões diretas anuais de N<sub>2</sub>O–N de solos orgânicos manejados, kg N<sub>2</sub>O–N ano<sup>-1</sup>;

N<sub>2</sub>O–N<sub>PRP</sub> = Emissões diretas anuais de N<sub>2</sub>O–N de insumos de urina e esterco para solos pastados, kg N<sub>2</sub>O–N ano<sup>-1</sup>;

$N_2O-N_{N\text{ inputs}} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}]$	Eq. (02)	Equação 11.1, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	---

Onde:

$F_{SN}$  = Quantidade anual de fertilizante sintético N aplicado aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{ON}$  = Quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado a solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{CR}$  = Quantidade anual de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N e da renovação de forragem/pastagem, devolvidas aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{SOM}$  = Quantidade anual de N em solos minerais que são mineralizados, em associação com a perda de C do solo do solo matéria orgânica como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra, kg N ano<sup>-1</sup>;

$EF_1$  = Fator de emissão para emissões de N<sub>2</sub>O de entradas de N, kg N<sub>2</sub>O–N (kg de entrada de N)<sup>-1</sup>

$EF_{1FR}$  = Fator de emissão para as emissões de N<sub>2</sub>O das entradas de N para o arroz irrigado, kg N<sub>2</sub>O–N (kg de entrada de N)<sup>-1</sup>

Ao definir a quantidade anual de adubo orgânico aplicado ao solo, deve-se considerar o somatório das diversas atividades que compõem esses compostos, como apresentada na Eq. 03.

$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$	Eq. (03)	Equação 11.3, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
--	----------	---

Onde:

$F_{AM}$  = quantidade anual de esterco animal N aplicada aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{SEW}$  = quantidade anual de esgoto total N que é aplicado aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{COMP}$  = quantidade anual de composto total de N aplicado aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$F_{OOA}$  = quantidade anual de outros aditivos orgânicos usados como fertilizantes, kg N ano<sup>-1</sup>;

Para estimar as emissões do estado não foram contabilizados as massas de compostagem ou lodos das estações de tratamento, uma vez que estes dados não estão disponibilizados de maneira esquematizada impossibilitando a aplicação nos cálculos do inventário. Foram considerados somente o esterco anual de animais confinados e a adição de torta de filtro e vinhaça provenientes do processo produtivo do açúcar e etanol.

O termo  $F_{AM}$  é determinado ajustando a quantidade de esterco N disponível ( $NMMS_{Avb}$ ) para a proporção da quantidade de esterco empregado na alimentação de animais ( $Frac_{FEED}$ ), queimado como combustível ( $Frac_{FUEL}$ ) ou usado para construção ( $Frac_{CNST}$ ). No caso do estado do Paraná foi considerado que 100% do esterco animal é aplicado no solo, ou seja, o valor de  $F_{AM}$  é o mesmo calculado para o  $NMMS_{Avb}$  médio, sem ajuste para  $Frac_{FUEL}$ ,  $Frac_{FEED}$ ,  $Frac_{CNST}$ .

A metodologia para o cálculo do  $NMMS_{Avb}$  foi aplicada no RR de Manejo de dejetos e pode ser

verificada na Equação 10.34 do Capítulo 10 do volume 4 do IPCC. Este valor depende do tipo de rebanho, idade do animal, tipo de confinamento e manejo de dejetos.

O último termo para cálculo das emissões diretas anuais de  $N_2O-N_{N\text{ inputs}}$  (entrada de Nitrogênio para solos manejados) é a contribuição dos resíduos agrícolas. Nos cálculos foram aplicadas equações de Tier 1 e Tier 2 a depender das informações disponíveis de cada tipo de cultivo e da representatividade na área total de cultivo estadual. A metodologia de cálculo Tier 2 foi aplicada para as culturas: arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja, trigo e pastagem. Para as outras culturas foi aplicado o método de Tier 1, as quais contemplam: abacaxi, algodão, alho, aveia, batata doce, batata inglesa, cebola, cevada, ervilha, girassol, mamona, melancia, melão, rami, tomate e triticales.

Para estimar o peso em tonelada da produção de abacaxi foi adotado o peso médio de 1,6 Kg por fruto.

O cultivo de amendoim, centeio, fumo, sorgo, não foram contabilizados nas emissões devido à ausência de informações quanto aos valores de proporção de resíduos subterrâneos para biomassa acima do solo ( $R_{BG-BIO}$ ). Quanto às culturas de juta, linho, malva e fava não existe registro de cultivo no estado do Paraná para o período inventariado.

$F_{CR} \text{ (Tier 1)} = \sum x \{Crop_{(T)} \times Frac_{Renew(T)} \times (Area_{(T)} - Area_{burnt(T)} \times C_f) \times R_{AG(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{Remove(T)}) + Area_{(T)} \times R_{BG(T)} \times N_{BG(T)} \}$	Eq. (04)	Equação 11.6, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	---

Onde:

$F_{CR}$  = Quantidade anual de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N e da renovação de forragem/pastagem, devolvidas aos solos, kg N ano<sup>-1</sup>;

$Crop_{(T)}$  = Rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura T, kg d.m. ha<sup>-1</sup>;

$Frac_{Renew(T)}$  = Fração da área total sob cultivo T que é renovada anualmente. Para países onde pastagens são renovados em média a cada X anos,  $Frac_{Renew} = 1/X$ . Para culturas anuais  $Frac_{Renew} = 1$ ;

$Area_{(T)}$  = Área total anual colhida da cultura T, ha ano<sup>-1</sup>;

$Area_{burnt(T)}$  = Área anual da cultura T queimada, ha ano<sup>-1</sup>;

$C_f$  = Fator de combustão (adimensional)

$R_{AG(T)}$  = Razão de matéria seca de resíduos acima do solo, kg d.m. (kg d.m.)<sup>-1</sup>;

$N_{AG(T)}$  = Teor de N de resíduos acima do solo para cultura T, kg N (kg d.m.)<sup>-1</sup>; (Tabela 02)

$Frac_{Remove(T)}$  = Fração de resíduos acima do solo da cultura T removidos anualmente para fins como alimentação, cama e construção, kg N (kg cultura-N)<sup>-1</sup>. A pesquisa de especialistas no país é necessária para obter dados. Se os dados para  $Frac_{Remove}$  não estiverem disponíveis, não assumam nenhuma remoção.

$R_{BG(T)}$  = Razão de resíduos abaixo do solo para rendimento colhido para a cultura T, kg d.m. (kg d.m.)<sup>-1</sup>.

Se dados alternativos não estiverem disponíveis,  $R_{BG(T)}$  pode ser calculado multiplicando  $R_{BG-BIO}$  na Tabela 02 pela razão de biomassa total acima do solo para o rendimento da cultura ( $= [(AG_{DM(T)}) \times 1000 + Crop_{(T)}] / Crop_{(T)}$ ), (também calculando  $AG_{DM(T)}$  a partir das informações da Tabela 02.

$N_{BG(T)}$  = Teor de N de resíduos abaixo do solo para cultura T, kg N (kg d.m.)<sup>-1</sup>, (Tabela 02)

T = Tipo de cultura ou forragem

Os valores empregados para a variável referente a matéria seca de resíduos acima do solo  $R_{AG(T)}$  foi obtida por dois métodos: i) valores obtidos no Quarto Inventário Nacional (2020) setor de solos manejados; ii) valores calculados a partir dos valores de Matéria seca residual acima do solo  $AG_{DM(T)}$  (Tabela 02).

$R_{AG(T)} = AG_{DM(T)} \times 1000 / Crop_{(T)}$	Eq. (05)	Equação 11.7A, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	-------------	---

Os valores referente a renovação de cultura ( $Frac_{Renew(T)}$ ) foram considerados igual a 1 (um) para as culturas anuais, o que inclui todas as culturas, e a renovação de pastagem foi considerado um período de 10 anos, o que representa um  $Frac_{Renew(T)}$  de 0,1 (Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional, 2016). Lembrando que os valores de produtividade ( $Crop(T)$ ) são aplicados nas equações a partir dos valores de massa seca das culturas.

$Crop_{(T)} = Yield\_Fresh_{(T)} \times DRY$	Eq. (06)	Equação 11.7A, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
--	-------------	---

Onde:

$Crop_{(T)}$  = Rendimento de matéria seca colhida para colheita T, kg d.m. ha<sup>-1</sup>;

$Yield\_Fresh_{(T)}$  = Rendimento fresco colhido para a cultura T, kg de peso fresco ha<sup>-1</sup>;

$DRY$  = Fração de matéria seca da cultura colhida T, kg d.m. (kg de peso fresco)<sup>-1</sup>;

$F_{CR} (Tier 2) = \sum x \{ Frac_{Renew(T)} \times (Area_{(T)} - Area\ burnt_{(T)} \times C_f) \times AG_{DM(T)} \times 1000 \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{Remove(T)}) + Area_{(T)} \times (AG_{DM(T)} \times 1000 + Crop_{(T)}) \times R_{BG(T)} \times N_{BG(T)} \}$	Eq. (07)	Equação 11.7A, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
--	-------------	---

Para o cultivo de cana de açúcar foram integradas as áreas de cultivo queimadas municipais para cada (valores apresentados no Relatório de Referência do Segundo Inventário do Paraná), e para o fator de combustão ( $C_f$ ) foi aplicado o valor de 0,8 para todos os anos.

A **Tabela 02** apresenta um resumo dos valores aplicados nas equações que estimam as emissões diretas de resíduos agrícolas de solos manejados.

Para estimar as emissões municipais foram calculados os valores municipais para as variáveis de matéria seca residual acima do solo ( $AgDM$ ), razão entre resíduo seco de raízes e produto seco ( $R_{gb}$ ), e razão entre resíduo seco da parte aérea e produto seco ( $R_{ag}$ ). Uma vez que esses valores dependem das informações por município da área colhida e da quantidade em toneladas de produção, cada município tem seus próprios resultados para cada ano, e deve-se seguir a metodologia apresentada anteriormente para obter os valores municipais.

Lembrando que os valores de Matéria seca residual acima do solo (AgDM), podem ser obtidos a partir dos valores da razão entre resíduo seco da parte aérea e produto seco (Rag) calculado para algumas culturas que permitem esse cálculo ou os valores de Matéria seca residual acima do solo (AgDM) devem ser calculados a partir da integração linear com aplicação dos valores apresentados na **Tabela 02** de acordo com cada cultura.

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ (2005-2019)**

**Tabela 02.** Fatores Padrão Para Estimativa de N Adicionado no Solo a Partir dos Resíduos De Culturas.

variável	descrição	unidade	arroz	cana	feijão	mandioca	milho	soja	trigo	pastagem
FracDM (DRY)	Fração de matéria seca do produto colhido comercializado	%	0,87	0,28	0,87	0,38	0,87	0,87	0,87	0,28
AgDM	Matéria seca residual acima do solo	kg/ha	anual/municipal							9,460
AgDM slope	integração regressão linear AgDM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AgDM intercept	integração regressão linear AgDM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AgDM <sup>a</sup>	Matéria seca residual acima do solo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rag	Razão entre resíduo seco da parte aérea e produto seco	%	0,990	0,192	1,490	0,490	1,492	1,977	1,740	anual/ municipal
Nag	Teor de N dos resíduos acima do solo	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,0092	0,006	0,018	0,014	0,007	0,009	0,004	0,01
Rbg-bio	Proporção de resíduos subterrâneos para biomassa acima do solo	%	0,263	0,1	0,206	0	0,208	0,11	0,21	1
Rgb	Razão entre resíduo seco de raízes e produto seco	%	anual/municipal							
Nbg	Conteúdo de N da parte subterrânea	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,0073	0,006	0,011	0	0,014	0,015	0,011	0,006

<sup>a</sup> Valores calculados a partir dos valores de apresentados pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application (2006) ( (AGDM= (Crop/1000)\* slope + intercept));

<sup>b</sup> Valor de AgDM da pastagem obtido no Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016)

Fonte: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application (2006); IPARDES, área e produção por cultura (2005-2019); Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016).

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ (2005-2019)**

**Tabela 02.** Fatores Padrão Para Estimativa de N Adicionado no Solo a Partir dos Resíduos De Culturas. (continuação)

variável	descrição	unidade	abacaxi	algodão	alho	aveia	batata doce	batata inglesa	cebola	cevada
FracDM (DRY)	Fração de matéria seca do produto colhido comercializado	%	0,13	0,92	0,62	0,85	0,17	0,15	0,2	0,087
AgDM	Matéria seca residual acima do solo	kg/ha	anual/municipal							
AgDM slope	integração regressão linear AgDM	-	-	-	-	0,91	0,1	0,1	-	0,98
AgDM intercept	integração regressão linear AgDM	-	-	-	-	0,89	1,06	1,06	-	0,59
AgDM <sup>a</sup>	Matéria seca residual acima do solo	-	-	-	-	1067,961	289,625	299,502	-	188,935
Rag	Razão entre resíduo seco da parte aérea e produto seco	%	2,750	0,025	0,310	anual/ municipal	anual/ municipal	anual/ municipal	0,230	anual/ municipal
Nag	Teor de N dos resíduos acima do solo	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,012	0,025	0,05	0,009	0,023	0,016	0,05	0,014
Rbg-bio	Proporção de resíduos subterrâneos para biomassa acima do solo	%	0,18	0,2	0,05	0,25	0,2	0,2	0,05	0,22
Rgb	Razão entre resíduo seco de raízes e produto seco	%	anual/municipal							
Nbg	Conteúdo de N da parte subterrânea	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014

<sup>a</sup> Valores calculados a partir dos valores de apresentados pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application (2006) ( (AGDM= (Crop/1000)\* slope + intercept))

Fonte: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application (2006); IPARDES, área e produção por cultura (2005-2019); Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016).

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ (2005-2019)**

**Tabela 02.** Fatores Padrão Para Estimativa de N Adicionado no Solo a Partir dos Resíduos De Culturas. (continuação)

variável	descrição	unidade	ervilha	girassol	mamona	melancia	melão	rami	tomate	triticale
FracDM (DRY)	Fração de matéria seca do produto colhido comercializado	%	0,87	0,88	0,91	0,1	0,09	0,93	0,1	0,86
AgDM	Matéria seca residual acima do solo	kg/ha	anual/municipal							
AgDM slope	integração regressão linear AgDM	-	1,13	1,09	-	-	-	-	-	-
AgDM intercept	integração regressão linear AgDM	-	0,85	0,88	-	-	-	-	-	-
AgDM <sup>a</sup>	Matéria seca residual acima do solo	-	3415,829	685,862	-	-	-	-	-	-
Rag	Razão entre resíduo seco da parte aérea e produto seco	%	anual/ municipal	anual/ municipal	4,180	1,230	1,230	1,560	0,810	1,740
Nag	Teor de N dos resíduos acima do solo	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,026	0,012	0,015	0,029	0,021	0,016	0,025	0,016
Rbg-bio	Proporção de resíduos subterrâneos para biomassa acima do solo	%	0,19	0,22	0,2	0,01	0,01	0,12	0,02	0,065
Rgb	Razão entre resíduo seco de raízes e produto seco	%	anual/municipal							
Nbg	Conteúdo de N da parte subterrânea	kg N (kg d.m.) <sup>-1</sup>	0,008	0,009	0,033	0,014	0,014	0,016	0,014	0,007

<sup>a</sup> Valores calculados a partir dos valores de apresentados pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application (2006) ( AGDM= (Crop/1000)\* slope + intercept))

Fonte: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application (2006); IPARDES, área e produção por cultura (2005-2019); Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016).

Para os valores das emissões diretas anuais de solos orgânicos manejados ( $N_2O-N_{OS}$ ) e a quantidade anual de N em solos minerais que são mineralizados, em associação com a perda de C do solo matéria orgânica como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra ( $F_{SOM}$ ), foram replicados os valores estaduais calculados para o Paraná no Quarto Inventário Nacional (2020) do setor de solos manejados.

E por fim, as emissões diretas anuais de  $N_2O-N$  de insumos de urina e esterco para solos pastados são estimadas com base na quantidade anual de N de urina e esterco depositado por animais em pastagem ( $F_{PRP}$ ). É importante notar que o N do esterco animal manejado aplicado aos solos está incluído no termo  $F_{AM}$  da  $F_{ON}$ .

O termo  $F_{PRP}$  é estimado usando a Equação 8 a partir do número de animais em cada animal/categoria  $T(N_{(T)})$ , a quantidade média anual de N excretada por cada espécie animal/categoria  $T(N_{ex(T)})$ , e a fração de este N depositado em solos de pastagens, ou em piquetes por cada espécie pecuária/categoria  $T(MS_{(T,PRP)})$ . Os dados necessários para esta equação podem ser obtidos no capítulo pecuária (ver volume 4, Capítulo 10, Seção 10.5 do IPCC, 2006).

$F_{PRP} = \sum [(N_{(T)} \times Nex_{(T)}) \times MS_{(T,PRP)}]$	Eq. (08)	Equação 11.5, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	--

Após calcular a quantidade de N disposta em pastagem por cada categoria animal é necessário aplicar os fatores de emissão correspondentes a cada categoria e somar todos animais para obter o valor total de N despejado em pastagem.

$N_2O-N_{PRP} = (F_{PRP, CPP BOV} \times EF_{3PRP, CPP BOV}) + (F_{PRP, CPP} \times EF_{3PRP, CPP}) + (F_{PRP, SO} \times EF_{3PRP, SO})$	Eq. (09)	Equação 11.1, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	--

Onde:

$F_{PRP, CPP BOV}$  = Quantidade anual de N de urina e esterco do rebanho bovino depositado pelos animais em pastagem, pastagem e piquete, kg N ano<sup>-1</sup>

$F_{PRP, CPP}$  = Quantidade anual de N de urina e esterco do rebanho de galináceos, suínos e bubalinos depositado pelos animais em pastagem, pastagem e piquete, kg N ano<sup>-1</sup>

$F_{PRP, SO}$  = Quantidade anual de N de urina e esterco do rebanho de outros animais depositado pelos animais em pastagem, pastagem e piquete, kg N ano<sup>-1</sup>

$EF_{3PRP, CPP BOV}$  = Fator de emissão para rebanho bovino kg  $N_2O-N$  (kg de entrada de N)<sup>-1</sup>

$EF_{3PRP, CPP}$  = Fator de emissão para rebanho de bubalinos, galináceos e suínos kg  $N_2O-N$  (kg de entrada de N)<sup>-1</sup>

$EF_{3PRP, SO}$  = Fator de emissão para rebanho de outros animais kg  $N_2O-N$  (kg de entrada de N)<sup>-1</sup>

## 2.1.2. Emissões indiretas

Para estimar as emissões indiretas são incluídos o processo de volatilização de N ocasionando as emissões indiretas a partir da deposição atmosférica, e também o processo de lixiviação e escoamento superficial. Para converter de emissões de  $N_2O_{(ATD)}-N$  e  $N_2O_{(L)}-N$  para fins de relatório é realizada a multiplicação dos resultados por (44/28), relativo a massa de N presente na molécula de  $N_2O$ .

### 2.1.2.1. Deposição atmosférica

Para estimar as emissões indiretas de  $N_2O$  provenientes da deposição atmosférica foram consideradas as aplicações de fertilizantes sintéticos ( $F_{SN}$ ), adubação orgânica ( $F_{ON}$ ), e deposição de dejetos em pastagem ( $F_{PRP}$ ). Em relação a quantidade de N proveniente da aplicação de fertilizantes sintéticos, utiliza-se o fator de volatilização ( $Frac_{GASF}$ ), e para as quantidades de N de adubos orgânicos e dejetos não manejados aplica-se outro fator, referente a de N ( $Frac_{GASM}$ ), ambos assumem a volatilização como  $NH_3$  e  $NO_x$ . O fator default de emissão indireta de  $N_2O$  do N volatilizado que se deposita em solos e corpos d'água ( $EF_4$ ) é aplicado sobre a quantidade de N volatilizada para estimar a emissão de  $N_2O$ .

$N_2O_{(ATD)}-N = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4$	Eq. (10)	Equação 11.9, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
--	----------	--

Onde:

$N_2O_{(ATD)}-N$  = Quantidade anual de  $N_2O-N$  produzida a partir da deposição atmosférica de N volatilizado de solos manejados,  $kg N_2O-N \text{ ano}^{-1}$ ;

$F_{SN}$  = Quantidade anual de fertilizante sintético N aplicado aos solos,  $kg N \text{ ano}^{-1}$ ;

$Frac_{GASF}$  = Fração de fertilizante sintético N que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$ ,  $kg N$  volatilizado ( $kg$  de N aplicado) $^{-1}$ ;

$F_{ON}$  = Quantidade anual de estrume animal manejado, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado aos solos,  $kg N \text{ ano}^{-1}$ ;

$F_{PRPN}$  = Quantidade anual de N de urina e esterco depositado pelos animais em pastagem, pastagem e piquete,  $kg N \text{ ano}^{-1}$ ;

$Frac_{GASM}$  = Fração de materiais fertilizantes nitrogenados orgânicos aplicados ( $F_{ON}$ ) e de N de urina e esterco depositados por animais em pastejo ( $F_{PRPN}$ ) que volatilizam como  $NH_3$  e  $NO_x$ ,  $kg N$  volatilizado ( $kg$  de N aplicado ou depositado) $^{-1}$ ;

$EF_4$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  por deposição atmosférica de N em solos e superfícies de água, [ $kg N-N_2O$  ( $kg NH_3-N + NO_x-N$  volatilizado) $^{-1}$ ].

### 2.1.2.2. Lixiviação de N

Para estimar esta emissão, além das atividades incluídas nas emissões indiretas de deposição atmosférica também é considerado o N disponível nos resíduos agrícolas ( $F_{CR}$ ), mineralização do N decorrente da perda de C do solo com mudança de uso e manejo de solos minerais ( $F_{SOM}$ ). Sobre essas quantidades de N se aplica um fator de lixiviação, denominado  $Frac_{LEACH-(H)}$ , para se calcular a quantidade de N lixiviado. O fator default de emissão indireta de  $N_2O$  do N lixiviado ( $EF_5$ ) foi aplicado sobre a quantidade de N volatilizada para se estimar a emissão de  $N_2O$ .

$N_2O_{(L)}-N = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times Frac_{LEACH-(H)}] \times EF_5$	Eq. (11)	Equação 11.10, Cap.11, Volume 4.(IPCC, 2006)
---	----------	--

Onde:

$N_2O_{(L)}-N$  = quantidade anual de  $N_2O-N$  produzida por lixiviação e escoamento de adições de N a solos manejados em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N_2O-N\ ano^{-1}$ ;

$F_{SN}$  = quantidade anual de fertilizante sintético N aplicado aos solos em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N\ ano^{-1}$ ;

$F_{ON}$  = quantidade anual de esterco animal manejado, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado aos solos em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N\ ano^{-1}$ ;

$F_{PRP}$  = quantidade anual de N de urina e esterco depositado por animais em pastejo em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N\ ano^{-1}$ ;

$F_{CR}$  = quantidade de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N, e da renovação de forragem/pastagem, devolvidos aos solos anualmente em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N\ ano^{-1}$ ;

$F_{SOM}$  = quantidade anual de N mineralizado em solos minerais associada à perda de C do solo da matéria orgânica do solo como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra em regiões onde ocorre lixiviação/escorrimento,  $kg\ N\ ano^{-1}$ ;

$Frac_{LEACH-(H)}$  = fração de todo o N adicionado/mineralizado em solos manejados em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento que é perdido por lixiviação e escoamento,  $kg\ N\ (kg\ de\ adições\ de\ N)^{-1}$ ;

$EF_5$  = fator de emissão para emissões de  $N_2O$  por lixiviação e escoamento de N,  $kg\ N_2O-N\ (kg\ N\ lixiviado\ e\ escoamento)^{-1}$ .

## 2.2. Dados de atividade

Os principais dados de atividade utilizados na estimativa das emissões do subsetor **3.C.4 Solos Manejados** estão relacionados com o cultivo de culturas agrícolas, como por exemplo, quais métodos de adubação do solo são realizados, qual a área de cultivo e a produtividade anual de cada cultura. Também são importantes os dados referente a população animal, considerando inclusive, tipo de confinamento, tipo de manejo de dejetos e idade/porte dos animais.

Uma vez que para cada subatividade são considerados dados específicos que permitem a quantificação das emissões de  $N_2O$ , neste item do relatório de referência serão apresentados as informações necessárias respectivas a cada atividade emissora.

A **Tabela 03** apresenta um resumo de todas as fontes de dados utilizados no subsetor **3.C.4 Solos Manejados**.

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ (2005-2019)**

**Tabela 03.** Resumo dos dados das atividades e referências de acordo com o tipo de emissão.

Atividade	Dados	Referência
F <sub>SN</sub>	Quantidade anual estadual de fertilizante sintético	Anuário Estatístico da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). Disponível biblioteca ESALQ/SP.
	Quantidade anual estadual e municipal de área colhida, e quantidade produzida por cultura	Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, da Produção da Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2019) através do link <a href="http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php">http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php</a>
	Distribuição percentual nacional das diferentes fontes sintéticas de N utilizadas, diferenciando Ureia de outras fontes	Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016) (Tabela 74). através do link <a href="https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial">https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial</a>
F <sub>ON</sub>	Rebanhos anuais municipais	Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, da Produção da Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2019) através do link <a href="http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php">http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php</a>
	Quantidade produzida de álcool, açúcar e cana hidratada; Fatores de geração de torta de filtro e vinhaça; Fatores de geração de Nitrogênio	Produção anual de cana <a href="https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=4">https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=4</a> ; Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016) (Tabela 15). através do link <a href="https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial">https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial</a>
F <sub>PRP</sub>	Área anual municipal por tipo de cultura; Quantidade anual municipal produzida por tipo de cultura;	Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, da Produção da Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2019) através do link <a href="http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php">http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php</a>
	Área anual estadual de pastagem	Uso do solo mapbiomas v 6.0 através do link <a href="https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/">https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/</a>
F <sub>CR</sub>	Rebanhos anuais municipais	Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, da Produção da Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2019) através do link <a href="http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php">http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php</a>
	Proporção rebanho não confinado	Anuário da Pecuária Brasileira (ANUALPEC). Disponível biblioteca ESALQ/SP.

Fonte: Relatório de Referência do Subsetor Fermentação Entérica do Quarto Inventário Nacional (2020).

### 2.2.1. Fertilizantes Sintéticos ( $F_{SN}$ )

Os dados necessários para identificar a quantidade de Nitrogênio que é aplicada no solo a partir do uso de fertilizantes sintéticos foi determinada com base nos dados brutos de quantidade de fertilizantes consumidos anualmente no estado do Paraná (ANDA, 2005 - 2019) e dos dados da área total colhida no estado (a partir do somatório anual das culturas de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo em todos os municípios), desta forma foi possível o cálculo do valor anual médio de aplicação de nitrogênio-N por hectare apresentado na **Tabela 04**.

**Tabela 04.** Aplicações médias anuais de fertilizante sintético no Estado do Paraná entre 2005-2019.

Ano	Quantidade de Nitrogênio-N sintético consumido no Paraná <sup>a</sup> (Kg)	Quantidade de Nitrogênio-N Proveniente Da Uréia <sup>b</sup> (Kg)	Quantidade de Nitrogênio-N Proveniente de outras fontes <sup>b</sup> (Kg)	Área Colhida no Paraná <sup>c</sup> (ha)	Quantidade Média de Nitrogênio-N aplicada no Paraná (Kg/ha)
2005	305.786.000	159.926.078	145.859.922	9.329.311,52	32,777
2006	280.920.000	142.145.520	138.774.480	9.016.639,39	31,156
2007	367.546.000	184.875.638	182.670.362	9.317.571,62	39,447
2008	355.566.000	185.961.018	169.604.982	9.707.463,98	36,628
2009	347.233.000	179.172.228	168.060.772	9.975.550,58	34,808
2010	333.212.000	167.605.636	165.606.364	9.690.813,38	34,384
2011	410.354.000	212.153.018	198.200.982	9.799.327,51	41,876
2012	423.820.000	206.400.340	217.419.660	9.993.266,92	42,411
2013	427.717.000	224.123.708	203.593.292	10.289.997,80	41,566
2014	425.958.000	230.017.320	195.940.680	10.688.755,82	39,851
2015	415.956.000	211.721.604	204.234.396	10.603.276,78	39,229
2016	517.483.000	282.545.718	234.937.282	10.689.285,02	48,411
2017	469.179.000	256.171.734 <sup>d</sup>	213.007.266 <sup>d</sup>	10.598.765,01	44,267
2018	529.840.000	289.292.640 <sup>d</sup>	240.547.360 <sup>d</sup>	10.433.601,33	50,782
2019	473.841.000	258.717.186 <sup>d</sup>	215.123.814 <sup>d</sup>	10.623.475,42	44,603

<sup>a</sup> Proporções anuais obtidas do Anuário Estatístico da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2005-2019) disponíveis na ESALQ.

<sup>b</sup> Proporções obtidas do Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016), Tabela 74 - Distribuição percentual das diferentes fontes sintéticas de N utilizadas no Brasil.

<sup>c</sup> Valores obtidos da Pesquisa do IBGE (2020) coletados no banco de dados do IPARDES.

<sup>d</sup> Proporções replicadas do ano de 2016 nos anos de 2017, 2018 e 2019.

Fonte: Anuário Estatístico da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2005-2019); Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2020); IBGE (2020); ANUALPEC (2021).

Para calcular os consumos anuais de cada município as taxas médias de aplicação estadual de cada ano foram multiplicadas pelas áreas colhidas municipais em hectares, com valores obtidos no IPARDES, a partir de pesquisa do IBGE. Para determinar a área colhida total em cada município foram somadas as áreas anuais das respectivas culturas: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo em todos os municípios anualmente entre 2005 e 2019.

Ainda para estimar as emissões da aplicação de fertilizante sintético, deve-se identificar as frações de Nitrogênio proveniente da ureia e de outras fontes (Relatório de Referência Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional, 2016). Para isso foi aplicada a proporção nacional destas frações já apresentadas na **Tabela 04**. Isso é necessário pois os dois tipos de fonte de nitrogênio apresentam fatores de emissão variados para o cálculo de emissões indiretas como é apresentado na **Tabela 05** que apresenta todos os fatores de emissão deste subsetor.

Em relação a aplicação de fertilizantes sintéticos no cultivo de arroz irrigado e sequeiro, considerando que a quantidade aplicada é mais intensa no cultivo irrigado, apenas este tipo de cultivo foi considerado nesta etapa. Os valores anuais relativos a área e produtividade do cultivo municipal de arroz irrigado foram obtidos com a Secretaria Estadual de Abastecimento (SEAB) para o período entre 2005 e 2019.

### 2.2.2. Adubos Orgânicos ( $F_{ON}$ )

Para calcular as emissões do manejo do solo a partir da aplicação de adubos orgânicos deve-se determinar quais os adubos que são aplicados naquela região e em quais proporções eles estão disponíveis (dejetos de animais confinados, compostagem, lodos de efluentes doméstico, torta de filtro e vinhaça). No estado do Paraná foram consideradas as aplicações de dejetos manejados provenientes de estabelecimentos que mantêm os rebanhos confinados e também da aplicação da vinhaça e da torta de filtro proveniente da produção sucoalcooleira.

Para determinar a quantidade de animais confinados por município foram analisados os dados de população animal de todos os rebanhos. A obtenção dos dados populacionais foi realizada com as informações disponíveis no Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, da Produção da Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2019) através do link <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. São disponibilizadas informações estatísticas anuais sobre efetivos de rebanhos municipais no estado do Paraná e produtos de origem animal. Em seguida foram observados a proporção entre tipos de rebanhos e quais suas proporções de confinamento.

Desta forma os valores de confinamento para o bovinos foi obtido do Anuário da Pecuária Brasileira - ANUALPEC para o período de 2005 a 2019. A metodologia para determinar a quantidade de nitrogênio gerada por tipo, porte e condição de confinamento de cada animal foi apresentada no Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos do Segundo Inventário do Estado do Paraná, seção 2.2 (2022).

Para determinar as quantidades de torta de filtro e vinhaça municipais, foi considerada a fração municipal da produção total de cana no Paraná, as frações de produção de cana foram replicadas para a proporção da quantidade de torta de filtro e vinhaça produzida em cada município. A partir das conversões propostas no Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016) foi possível estimar a geração de torta de filtro e vinhaça a partir dos valores de produção de álcool, açúcar e cana, bem como seus respectivos teores de Nitrogênio. A **Tabela 05** resume os valores assumidos para as produções estaduais.

**Tabela 05.** Produções anuais de insumos e quantidade de Nitrogênio no Estado do Paraná entre 2005-2019.

Ano	Produção de álcool (m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Cana de açúcar filtrada (ton) <sup>a</sup>	Geração estimada de torta de filtro (ton) <sup>b</sup>	Geração estimada de Vinhaça (m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>
2005	1.209.668	32.717.405	1.308.696	13.911.182
2006	1.039.832	27.648.676	1.105.947	11.958.068
2007	1.318.904	37.373.982	1.494.959	15.167.396
2008	1.859.346	47.928.297	1.917.132	21.382.479
2009	2.048.752	50.203.006	2.008.120	23.560.648
2010	1.884.596	47.610.605	1.904.424	21.672.854
2011	1.619.339	48.844.304	1.953.772	18.622.399
2012	1.402.053	45.617.281	1.824.691	16.123.610
2013	1.299.344	44.812.792	1.792.512	14.942.456
2014	1.487.641	47.086.151	1.883.446	17.107.872
2015	1.610.832	47.883.160	1.915.326	18.524.568
2016	1.573.743	46.363.506	1.854.540	18.098.045
2017	1.353.712	45.366.892	1.814.676	15.567.688
2018	1.268.948	42.971.753	1.718.870	14.592.902
2019	1.614.727	41.125.624	1.645.025	18.569.361

<sup>a</sup> Produções obtidas no banco de dados do observatório da cana (2005-2019).

<sup>b</sup> Fatores de geração obtidos do Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2016), ( 1 tonelada de cana filtrada gera 0,04 toneladas de torta de filtro / 1 litro de etanol produzido gera uma média de 11,5 litros de vinhaça)

Fonte: Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2020); IBGE (2020).

### 2.2.3. Resíduos Agrícolas ( $F_{PRP}$ )

Para calcular as emissões do manejo do solo a partir dos resíduos agrícolas disponíveis no solo, foi necessário identificar as informações municipais referente a área colhida e qual a quantidade comercializada em tonelada pra cada tipo de cultura. Estas informações foram obtidas no no Banco de Dados do Estado (BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES (IBGE, 2019) através do link <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>.

Outras informações referentes às quantidades de Nitrogênio presente nas partes aéreas e subterrâneas de cada cultura, bem como a razão entre estas proporções foram obtidas no Guia do IPCC (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application, 2006).

#### 2.2.4. Dejetos em Pastagem ( $F_{CR}$ )

Para calcular as emissões do manejo do solo a partir dos dejetos em pastagem, foram utilizadas as informações referente às proporções de animais confinados, quais as categorias dos animais e também o porte dos animais. Nesta atividade são incluídos somente os animais que não estão confinados. As fontes de dados são as mesmas utilizadas para estimar as emissões de adubos orgânicos.

Vale ressaltar que nesta atividade é necessário segregar os bovinos, dos suínos, aves e bubalinos e também os outros animais, pois os fatores de emissão são distintos para estas categorias. Como é apresentado na **Tabela 06** que apresenta todos os fatores de emissão deste subsetor.

As emissões referente aos subitens de mineralização de N e solos orgânicos não foram estimadas a nível municipal ou estadual para o período analisado devido a falta de dados geoespaciais utilizados para proceder com os cálculos.

### 2.3. Fatores de emissão e outros parâmetros

O IPCC fornece um guia metodológico (IPCC, 2006) com recomendações para a estimativa das quantidades de N nas diferentes fontes de N<sub>2</sub>O de solos agrícolas. A metodologia é baseada no produto do dado de atividade, multiplicado por um fator de emissão de N<sub>2</sub>O. Os dados de atividade referem-se a informações da agropecuária, como produtividade, área plantada/colhida, população de rebanhos, entre outras, que combinadas com determinados parâmetros permitem estimar a quantidade de N associada a ela, que é passível de se transformar em N<sub>2</sub>O. O fator de emissão se refere à proporção do N de determinada fonte que se converte em N<sub>2</sub>O ao longo de 1 ano. O guia do IPCC traz fatores de emissão com valores padrões obtidos a partir de trabalhos científicos (IPCC, 2006), se por acaso o valor de determinado fator de emissão não estiver disponível no país inventariante. Além do guia do IPCC também é possível obter os valores de fatores de emissão no relatório de referência do Quarto Inventário Nacional (2016), que traz valores nacionais e também regionalizados de acordo com as características de cada unidade federativa quando possível. Nesta seção serão apresentados os fatores de emissão respectivos de cada tipo de atividade. **A Tabela 06** apresenta um resumo de todos os fatores de emissão aplicáveis no subsetor de solos manejados incluindo as emissões diretas e indiretas.

Os fatores de emissão referente às estimativas em solos orgânicos não foram utilizados uma vez que estas emissões não foram calculadas.

**Tabela 06.** Fatores de emissão médio para o bovino de corte.

fator	descrição	valor	subsetor
EF <sub>1</sub>	aplicável para todas as culturas exceto arroz	0,01	3.C.4.1.a Fertilizantes sintéticos
EF <sub>1FR</sub>	aplicável exclusivamente para cultura de arroz	0,0003	
EF <sub>3PRP_BOV</sub>	aplicável para rebanho de bovinos	0.015	3.C.4.1.c Deposição de dejetos
EF <sub>3_PRP_CPP</sub>	aplicável para rebanho de suínos, bubalinos e aves	0.02	
EF <sub>3_PRP_SO</sub>	aplicável para outras espécies	0.01	
EF <sub>vinhaça</sub>	Teor de Nitrogênio na vinhaça	0,433	3.C.4.1.b.ii Vinhaça
EF <sub>torta de filtro</sub>	Teor de Nitrogênio na torta de filtro	0,015	3.C.4.1.b.iii Torta de Filtro

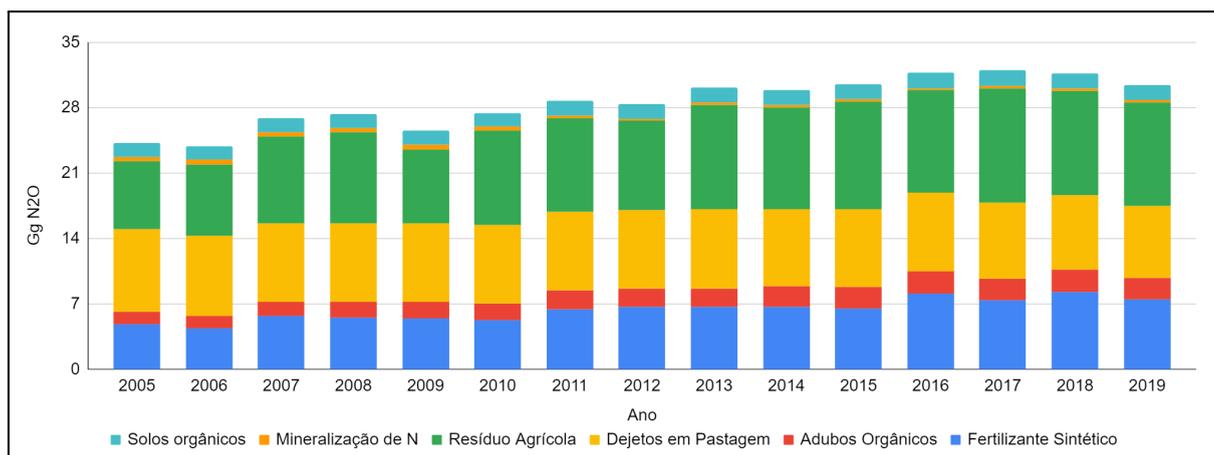
Fonte: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC; V.4, C.11, N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application (2006); Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia do Quarto Inventário Nacional (2020);

### 3. Resultados

Em 2019, as emissões estaduais do subsetor **3.C.4 Solos Manejados** totalizaram 38,75 Gg N<sub>2</sub>O, com um acréscimo de cerca de 23,26% na variação entre os anos de 2005 e 2012 e de 3,11% entre 2012 a 2019. Este acréscimo de emissões está diretamente relacionado com o aumento da aplicação de fertilizantes sintéticos, aumento nos rebanhos de animais confinados e aumento das áreas cultivadas.

Em termos de emissão pelas categorias de manejos de solo, a partir do **Gráfico 01**, é possível observar que a categoria que mais contribui para as emissões de N<sub>2</sub>O durante todos o período foram os resíduos agrícolas, com emissão diretas de 11,07 Gg N<sub>2</sub>O em 2019 e um aumento de 31,13% e 16,28%, se comparado com os anos de 2005 e 2012, respectivamente. A segunda categoria que mais contribuiu foram os dejetos em pastagem, com emissão de 7,72 Gg N<sub>2</sub>O em 2019, seguido pelas outras categorias de manejo que têm menos representatividade nas emissões. A **Tabela 07** resume as emissões por tipo de manejo de solo ao longo do período e também segrega as emissões diretas das indiretas.

**Gráfico 01.** Resultados das Emissões Estaduais do subsetor 3.C.4 Solos Manejados de acordo com o tipo de atividade e o ano.



Fonte: Relatório de Referência do subsetor 3.C.4 Solos Manejados do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

**Tabela 07.** Resultados das Emissões Estaduais (Gg N<sub>2</sub>O) do subsetor 3.C.4 Solos Manejados de acordo com o tipo do animal e o ano.

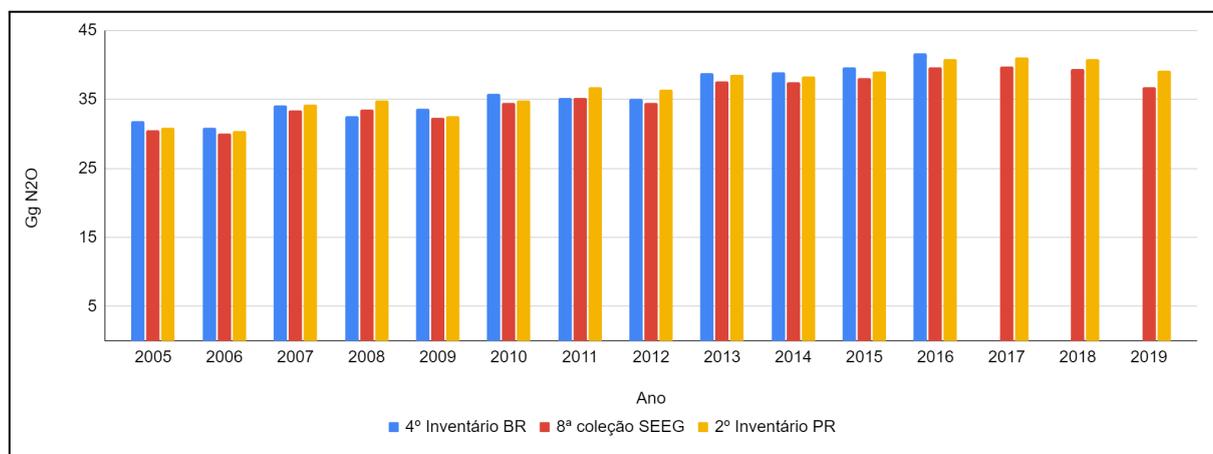
Ano	Fertilizante Sintético	Adbos Orgânicos	Dejetos em pastagem	Resíduos agrícolas	Mineralização de N	Solos Orgânicos	Deposição atmosférica	Lixiviação	Total PR
2005	4,78	0,97	8,88	7,26	0,45	1,47	2,38	4,29	30,49
2006	4,39	0,99	8,58	7,68	0,45	1,49	2,25	4,26	30,10
2007	5,75	1,10	8,35	9,28	0,45	1,50	2,51	4,91	33,85
2008	5,57	1,14	8,36	9,79	0,45	1,51	2,51	4,99	32,41
2009	5,44	1,23	8,43	7,89	0,45	1,53	2,50	4,57	34,23
2010	5,22	1,26	8,43	10,09	0,45	1,46	2,44	5,02	34,33
2011	6,43	1,45	8,44	10,05	0,25	1,55	2,75	5,33	35,72
2012	6,65	1,48	8,43	9,52	0,25	1,57	2,75	5,26	37,58
2013	6,71	1,49	8,45	11,19	0,25	1,58	2,82	5,65	37,87
2014	6,69	1,67	8,26	10,92	0,25	1,59	2,84	5,60	38,39
2015	6,53	1,81	8,31	11,49	0,25	1,61	2,80	5,72	37,98
2016	8,12	1,84	8,43	10,95	0,25	1,62	3,21	5,99	41,70
2017	7,37	1,85	8,17	12,24	0,25	1,62	3,01	6,07	39,43
2018	8,32	1,90	8,00	11,10	0,25	1,62	3,20	6,01	40,37
2019	7,44	1,90	7,72	11,07	0,25	1,62	2,98	5,77	38,75

Fonte: Relatório de Referência do subsetor 3.C.4 Solos Manejados do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

### 3.1. Comparação com outras estimativas

Os resultados de emissão foram comparados com as estimativas nacionais apresentadas no Relatório de Referência do Subsetor Solos Manejados do Quarto Inventário Nacional (2020) e na Nota Metodológica do Setor Agropecuário 8ª Coleção do Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2020). O **Gráfico 02** apresenta a comparação gráfica entre os resultados estimados das emissões de Gg N<sub>2</sub>O.

**Gráfico 02.** Comparação entre estimativas do Quarto Inventário Nacional, SEEG, e Segundo Inventário Estadual do Paraná.



Fonte: Relatório de Referência do subsetor 3.C.4 Solos Manejados do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

Observa-se que os valores estimados pela metodologia proposta pertencem a mesma magnitude que as outras estimativas, ainda que superestimam as emissões do SEEG nos últimos 3 anos. A tendência de aumento e redução das emissões ao longo do período analisado apresenta as mesmas características nas três estimativas, o que sugere que os fatores de emissões aplicados nos cálculos são os mesmos, com exceção do período entre 2007 e 2009, onde o Quarto Inventário apresenta tendências inversas.

### 3.2. Diferenças em relação ao Primeiro Inventário

Os resultados do Primeiro Inventário Estadual do Paraná apresentam as emissões do subsetor **3.C.4 Solos Manejados** utilizando o “Potencial de Aquecimento Global” (PAG), ou do inglês “Global Warming Potential” (GWP). Este índice compara a força radiativa de uma unidade de gás de efeito estufa ao longo de um período de 100 anos à de uma unidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Desta forma as emissões de qualquer gás podem ser convertidas em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). As conversões das emissões dos gases aplicadas têm sido atualizadas ao longo dos anos de acordo com as variações das concentrações dos gases na atmosfera, as modificações publicadas pelo IPCC desde o primeiro assessment report estão apresentados na **Tabela 08**.

**Tabela 08.** Potenciais de Aquecimento Global (GWP) para diferentes gases ao longo do tempo.

Substância	FAR <sup>a</sup> (1990)	SAR <sup>a</sup> (1995)	TAR <sup>a</sup> (2001)	AR4 <sup>a</sup> (2007)	AR5 <sup>a</sup> (2014)	AR6 <sup>b</sup> (2021)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1
Metano, fóssil (CH <sub>4</sub> )	21	21	23	25	28	29,8 <sup>c</sup> 27,2 <sup>d</sup>
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	290	310	296	298	265	273

<sup>a</sup> Fonte: PONSIOEN, T. 2014;

<sup>b</sup> Fonte: SMITH, C. et al. 2021;

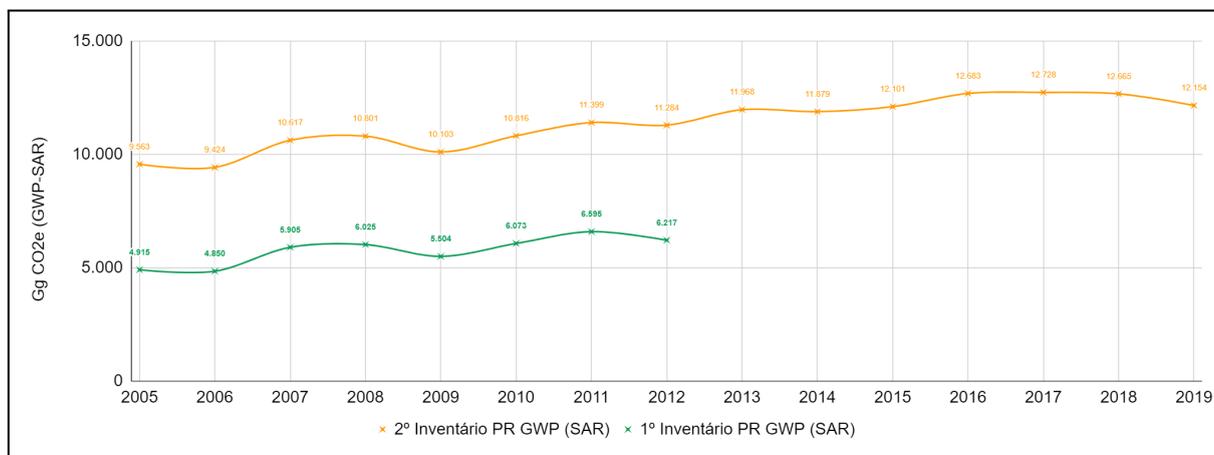
<sup>c</sup> Metano de origem fóssil;

<sup>d</sup> Metano de origem não fóssil.

Os fatores de conversão aplicados no primeiro inventário de emissões estaduais são provenientes do IPCC *Second Assessment Report* (SAR) e foram utilizados a fim de comparar os resultados das emissões estimadas no segundo inventário.

O **Gráfico 03** apresenta um comparativo entre os resultados estimados no Primeiro e no Segundo Inventário Estadual. A fim de auxiliar na comparação dos resultados são apresentados graficamente as estimativas das emissões do Segundo Inventário estadual para ambas conversões do Potencial de Aquecimento Global para o gás metano.

**Gráfico 03.** Comparação entre estimativas do 1º Inventário Estadual e do 2º Inventário Estadual do Paraná.



Fonte: Relatório de Referência do subsetor 3.C.4 Solos Manejados do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

Não foi possível realizar um comparativo entre os fatores de emissão considerados para a estimativa do metano entérico entre o Primeiro Inventário Estadual e o Segundo Inventário Estadual do Paraná, pois o primeiro documento não apresentou claramente os valores utilizados, ainda que esteja claro que as duas metodologias seguiram as diretrizes do IPCC para cálculo de emissão de N<sub>2</sub>O para o subsetor **3.C.4 Solos Manejados**.

#### 4. Referências

ANDA, ANUÁRIOS ESTATÍSTICOS de 2005 a 2019. Disponíveis na biblioteca da ESALQ.

IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, 112 Tanabe K, editors, Japan: IGES; 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 12 dez. 2020.

IPARDES. Pesquisa Pecuária Municipal (2019). Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MCTI, 2020a. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência – Setor Agropecuária – Fermentação Entérica. Brasília: MCTI, 2020. 150 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MCTI, 2020b. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência – Setor Agropecuária – Manejo de Dejetos de Animais. Brasília: MCTI, 2020. 143 p. Disponível em: [https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/textoGeral/2018/10/11/RR\\_do\\_Inventario\\_Brasileiro\\_de\\_Emissoes\\_e\\_Remocoes\\_Antropicas\\_de\\_GEE.html](https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/textoGeral/2018/10/11/RR_do_Inventario_Brasileiro_de_Emissoes_e_Remocoes_Antropicas_de_GEE.html): 10 jan. 2021.

PONSIOEN, T. 2014. Updated carbon footprint calculation factors. Disponível em: <https://pre-sustainability.com/articles/updated-carbon-footprint-calculation-factors/>. Acesso em: 24 fev. 2023.

SEEG, 2021. Nota Metodológica Setor Agropecuário do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (versão 8). Disponível em: <http://seeg.eco.br/notas-metodologicas>. Acesso em: 10 fev. 2021.

SEMA, 2014. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Inventário de Emissões Antrópicas Diretas e de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná. 2014. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/11/resumoexecutivo\\_gee\\_0512\\_pr.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/11/resumoexecutivo_gee_0512_pr.pdf). Acesso em: 24 fev. 2023.

SMITH, C. et al. 2021. The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity supplementary material. Climate change. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter07\\_SM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07_SM.pdf). Acesso em: 24 fev. 2023.