



Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2024): **Agropecuária**

SEEG Setor Agropecuário 1970-2024

Versão 13 – janeiro de 2026

Coordenação Técnica

Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora)

Equipe Responsável

Renata Fragoso Potenza

Gabriel de Oliveira Quintana

Fernando Nunes da Silva

Priscila Aparecida Alves

Sofia Lasmar Lima de Oliveira

Sumário

1. INTRODUÇÃO	2
2. MÉTODO DE CÁLCULO	6
2.1 Subsetor Fermentação entérica	6
2.2 Subsetor Manejo de dejetos de animais	16
2.3 Subsetor Cultivo de arroz	26
2.4 Subsetor Queima de resíduos agrícolas	29
2.5 Subsetor Solos manejados	33
2.5.1 Fertilizantes orgânicos	33
2.5.2 Dejetos animais em solos agrícolas	37
2.5.3 Dejetos animais deixados em pastagem	39
2.5.4 Fertilizantes nitrogenados sintéticos	41
2.5.5 Resíduos agrícolas	47
2.5.6 Solos orgânicos	52
2.5.7 Mineralização de N associado à perda de carbono no solo	54
2.5.8 Emissões indiretas de N ₂ O via volatilização e posterior deposição atmosférica	56
2.5.9 Emissões indiretas de N ₂ O via lixiviação/escoamento superficial	60
2.5.10 Calagem	70
2.5.11 Aplicação de ureia	73
2.6 Emissões e remoções não contabilizadas no Inventário Nacional (NCI)	73
2.6.1 Emissões e remoções pelos solos agrícolas	74
2.6.2 Emissões provenientes da queima das áreas de pastagem	75
3. EMISSÕES EQUIVALENTES EM CO₂	78
4. QUALIDADE DE DADOS	80
4.1 Critérios de Avaliação	80
4.2 Análise da qualidade dos dados	81
5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS SEEG E 4º INVENTÁRIO NACIONAL	83
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXO: SEEG Municípios	91
Considerações gerais sobre as estimativas de emissões de GEE para municípios do Brasil	91
Dados alocados municipalmente	92
Dados não alocados municipalmente	94
Resultados SEEG Municípios	94
Qualidade das estimativas de GEE para os municípios do Brasil	95

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório compreende a descrição do cálculo e os resultados das estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Setor Agropecuário do Brasil em nível federal, estadual e municipal para o período entre 1970 e 2024. As estimativas seguem as diretrizes do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2020a), elaborado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), com base nas metodologias do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

No setor agropecuário são contabilizadas as emissões provenientes de 5 subsetores, são eles: (i) Fermentação entérica, gás metano liberado principalmente pela eructação animal – o popular “arroto” do boi; (ii) Manejo de dejetos animais, em que estão incluídas emissões provenientes dos sistemas de tratamento de dejetos animais; (iii) Cultivo de arroz em regime irrigado; (iv) Queima de resíduos agrícolas, principalmente relacionados ao cultivo de cana-de-açúcar; e (v) Solos manejados, que incluem emissões provenientes das aplicações de fertilizantes nitrogenados sintéticos e orgânicos, corretivos agrícolas, decomposição de restos culturais, deposição de dejetos em pastagens, dentre outras fontes emissoras.

É importante salientar que não estão incluídas nestas estimativas as emissões decorrentes de desmatamento, demais resíduos agroindustriais e energia relacionada ao setor agropecuário, essas emissões são contabilizadas nos respectivos setores de Mudanças de Uso do Solo, Resíduos e Energia.

Adicionalmente, a metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) no 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020a) e considerada pelo SEEG utiliza fatores de emissão adaptados para as condições brasileiras, quando possível, portanto, atendendo ao Tier 2 de acordo com a classificação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

A abrangência desta estimativa compreendeu o período entre janeiro e dezembro de 2024. Com relação aos dados de atividades utilizados nos cálculos de emissões, foram considerados predominantemente dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os quais estão disponíveis no Sistema de Recuperação de Dados do IBGE (SIDRA). Basicamente, são dados censitários sobre pecuária e agricultura como as populações de animais e as áreas e produções agrícolas. Outras fontes de dados foram consideradas para o cálculo das emissões deste setor, o detalhamento destas bases e fontes está no decorrer do relatório. Finalmente, as bases de dados e os cálculos foram efetuados por meio do software Microsoft Excel, Banco de Dados Gerenciados PostgreSQL e linguagem de programação Python.

ESTADOS DE MATO GROSSO DO SUL E TOCANTINS

É importante lembrar que durante o período de 1970 a 2024, dois novos estados foram criados por desmembramento no Brasil, o Mato Grosso do Sul (MS) em 1979 e o Tocantins (TO) em 1989, pela divisão dos estados do Mato Grosso (MT) e de Goiás (GO), respectivamente. Nos cálculos do SEEG, as séries históricas respeitam a configuração político-administrativa vigente em cada ano. Assim, quaisquer dados de atividade e emissões associados aos territórios que viriam a constituir os estados de MS e TO, em períodos anteriores às suas criações, foram integralmente alocados aos estados de origem. Dessa forma, não há registros de emissões atribuídas aos estados de MS e TO antes de suas respectivas datas de criação.

GASES DE EFEITO ESTUFA

Os principais gases relacionados ao setor agropecuário são metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2), de maneira simplificada, cada gás possui um potencial diferente para influenciar às mudanças climáticas, quando presentes na atmosfera, pois interagem com a radiação solar com intensidades diferentes.

Duas abordagens são frequentemente utilizadas para determinação do impacto desses gases na atmosfera: o GWP (*Global Warming Potential*) e o GTP (*Global Temperature Change Potential*). O primeiro considera a influência desses gases na alteração do balanço energético da Terra e, o segundo, sua influência no aumento de temperatura. Ambos consideram um horizonte de cem anos e expressam seus resultados em uma unidade comum, o CO_2 equivalente (CO_2e). É importante salientar que, o GWP é a abordagem mais utilizada, no horizonte de tempo de 100 anos.

SUBSETORES E FONTES EMISSORAS

As principais fontes emissoras de GEE associadas aos cinco subsetores supracitados e seus respectivos gases, de acordo com a metodologia do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE e compatível com o proposto pelo IPCC, são:

- **Fermentação entérica (CH_4)**, em que são considerados os animais: bovinos de corte, bovinos de leite, asininos, bubalinos, caprinos, equinos, muas, ovinos e suínos;
- **Manejo de dejetos animais (CH_4 e N_2O)**, em que são considerados os animais: bovinos de corte, bovinos de leite, asininos, aves, bubalinos, caprinos, equinos, muas, ovinos e suínos;
- **Cultivo de arroz (CH_4)**, em que são contempladas emissões do cultivo de arroz em sistema irrigado;
- **Queima de resíduos agrícolas (CH_4 , N_2O , CO e NO_x)**, em que são consideradas as emissões de CH_4 e N_2O provenientes das áreas com queima de cana-de-açúcar;

- **Solos manejados (N_2O e CO_2)**, em que estão incluídas emissões de N_2O provenientes das aplicações de resíduos orgânicos, da deposição de dejetos animais em pastagem, aplicação de fertilizantes sintéticos nitrogenados, mineralização de N associado a perda de C no solo, resíduos agrícolas e solos orgânicos e emissões de CO_2 provenientes do uso de ureia e de corretivos agrícolas

EMISSIONES E REMOÇÕES NÃO CONTABILIZADAS NO INVENTÁRIO NACIONAL - NCI

Ao longo dos anos, o SEEG tem realizado o exercício de estimar emissões e remoções de GEE que não são contempladas nos Inventários Nacionais. Esse esforço é denominado **Emissões e Remoções Não Contabilizadas no Inventário Nacional (NCI)**. O principal objetivo é evidenciar a existência de fontes de emissões e remoções de modo a refletir de forma mais fidedigna a realidade brasileira, além de fomentar a discussão sobre práticas agrícolas conservacionistas, as quais influenciam diretamente os fluxos e os estoques de carbono no solo. As NCI são classificadas como práticas de manejo e uso/cobertura do solo e, recentemente, na Coleção 12, foi incluída a estimativa de emissões provenientes de áreas com pastagem que após queima continuaram como pastagem, refletindo assim práticas de manejo com queima.

SOLOS AGRÍCOLAS

Os solos agrícolas podem emitir ou remover CO_2 da atmosfera por meio da variação nos estoques de carbono do solo. Essa variação ocorre em função do uso e manejo do solo e, até o momento, não é reportada nos Inventários Nacionais. Solos manejados sob sistemas de plantio convencional (i.e., com uso de aração e gradagem) e pastagens degradadas tendem a apresentar redução dos estoques de carbono orgânico do solo, em função da intensificação da decomposição da matéria orgânica, o que resulta em fluxos líquidos de CO_2 da superfície do solo para a atmosfera.

Ao passo que, o solo sob lavouras que adotam sistema de plantio direto, plantio direto, pastagens bem manejadas, sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta e florestas plantadas tendem a apresentar incremento nos estoques de carbono, em função do maior aporte e da menor perturbação da matéria orgânica, resultando em fluxos líquidos de CO_2 da atmosfera para o solo. Contudo, para essas fontes de emissão e remoção, é necessário considerar os aspectos de permanência do carbono, uma vez que não há garantia de que o carbono estocado no solo seja mantido no longo prazo, podendo ser novamente emitido para a atmosfera em decorrência de mudanças no sistema de manejo.

Adicionalmente, o histórico de uso e cobertura do solo e as metodologias empregadas para mensurar as variações dos estoques de carbono ao longo do tempo influenciam significativamente os resultados estimados. Esses aspectos demandam maior nível de

detalhamento metodológico e esforços adicionais de pesquisa, a fim de aprimorar a precisão e a qualidade dos dados e representar de forma fidedigna a realidade do setor agropecuário.

QUEIMA DE ÁREAS CONVERTIDAS PARA AGRICULTURA E PASTAGEM

Atualmente, somente as emissões de GEE das áreas com queima de cana-de-açúcar e algodão são consideradas nos Inventários Nacionais. No entanto devido ao aumento de áreas queimadas por outros tipos de uso do solo, nesta versão do SEEG, foram incluídas a contabilização das emissões de CH₄ e N₂O (CO e NO_x excluídas do somatório das emissões do setor) oriundas da queima de áreas com pastagem que continuaram como pastagem após a ocorrência da queima (não havendo distinção sobre a origem da queima, sendo acidental ou prática de manejo). No entanto, entende-se que podem refletir práticas de manejo.

2. MÉTODO DE CÁLCULO

2.1 SUBSETOR FERMENTAÇÃO ENTÉRICA

A fermentação entérica é uma das principais fontes de emissão de CH₄ no setor agropecuário, resultante do processo digestivo de ruminantes. As estimativas seguem a abordagem *Tier 2* do IPCC (2006) para os bovinos de corte e leite, conforme o Relatório de Referência do Subsetor de Fermentação Entérica do 4o Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (Brasil, 2020b), com fatores de emissão específicos por idade, sexo e adaptados às condições brasileiras.

As emissões foram calculadas pela multiplicação da população anual de cada espécie pelo respectivo fator de emissão. A equação geral (Equação 1) e os parâmetros utilizados estão apresentados abaixo:

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

Equação 1

Onde:

E_{FE} : emissão total de CH₄ proveniente da fermentação entérica [Gg CH₄]

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

EF_T : fator de emissão de CH₄ por fermentação entérica da categoria de animal T [kg CH₄/animal/ano]

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

O somatório dos resultados obtidos pelo cálculo das emissões municipais da equação 1 será equivalente ao resultado obtido com a aplicação da equação para o respectivo estado. No entanto, devido à ausência de banco de dados em parte das informações necessárias para o cálculo, em alguns casos foi necessária a adoção de processos ou uso de banco de dados diferentes para a realização do cálculo das emissões estadual e municipal, conforme apresentado a seguir.

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de CH₄ via digestão de animais ruminantes (fermentação entérica) e monogástricos incluem: bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muares, asininos e suínos. Dada a contribuição da fermentação entérica no Inventário Nacional adotou-se o *Tier 2* para o cálculo da emissão dos bovinos. Dessa forma, há uma maior caracterização animal, o que em termos práticos representa a divisão da categoria de bovinos em bovinos de corte e bovinos de leite, que por sua vez são subdivididos por idade e sexo, e produtividade de leite, respectivamente, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de CH₄ decorrentes da Fermentação Entérica

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 ano < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 L/vaca/ano)
Baixa produção (< 2000 L/vaca/ano)		
Suínos		
Ovinos		
Bubalinos		
Caprinos		
Equinos		
Muares		
Asininos		

Devido a subclassificação da população de bovinos, as etapas para obtenção dos dados de atividades foram diferentes das adotadas para a obtenção das populações das demais categorias.

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

SUÍNOS, BUBALINOS, OVINOS, CAPRINOS E EQUINOS

DADOS DE ATIVIDADES ESTADUAIS

Os dados estaduais da população de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos foram obtidos através da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024c) para o período de 1974 a 2024. Os valores estaduais correspondem ao somatório das populações municipais para cada ano.

Para os anos de 1970 a 1973, utilizou-se a porcentagem de participação de cada estado do ano de 1974, com os dados obtidos na Tabela 3939 (IBGE, 2024c), e multiplicou-se pelo valor total nacional reportado na base dados de Produtos Agrícolas e Pecuários (*Crops and livestock products*) da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a

Agricultura (FAO) (UN, 2021b) no ano correspondente. Dessa forma, foi obtida a alocação do valor nacional entre os estados de acordo com o dado mais recente e disponível para consulta.

Nos casos com valores zerados ou ausentes, foram aplicadas técnicas de interpolação linear, seguindo as seguintes etapas:

Etapa 1: calculou-se o incremento da população animal entre os anos de 1970 e 1974.

$$\text{Incremento} = \frac{(\text{n}^\circ \text{ animais } 1974 - \text{n}^\circ \text{ animais } 1970)}{\text{Anos do período}}$$

Equação 2

Etapa 2: aplicou-se esse incremento para os anos que faltam, de 1971, 1972 e 1973, sequencialmente. Por exemplo:

$$1971 = 1970 + \text{incremento} (1)$$

$$1972 = 1971 + \text{incremento} (1)$$

$$1973 = 1972 + \text{incremento} (1)$$

...

DADOS DE ATIVIDADES MUNICIPAIS

O processo de obtenção dos dados municipais das populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos foi o mesmo adotado para obtenção dos dados estaduais. As populações municipais foram extraídas da Tabela 3939 (IBGE, 2024c), e seu somatório corresponde aos valores estaduais. Para os anos anteriores a 1974, os dados municipais foram estimados com base na distribuição proporcional dos estados e interpolação, quando necessário.

MUARES E ASININOS

DADOS DE ATIVIDADES ESTADUAIS

Para o período de 1974 a 2012, as populações de muares e asininos foram obtidas por meio dos mesmos processos e base de dados que foram utilizados para a obtenção das populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos.

Como o SIDRA não atualiza os dados de muares e asininos desde 2012, para o período de 2013 a 2024, os valores da população para cada estado brasileiro foram estimados por projeção dos valores, utilizando-se linguagem de programação Python. Os valores de cada estado foram obtidos de acordo com a metodologia do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE, conforme apresentado a seguir.

A projeção anual foi realizada com base na média das variações observadas nos últimos 5 anos disponíveis para cada estado (2008 até 2012), aplicando essa média no valor do ano anterior. A equação 3 a seguir apresenta a equação para a primeira projeção, realizada para o ano de 2013.

$$N_{T(n)} = \left[\frac{(N_{T(n-1)} - N_{T(2008)})}{n - 2008} \right] + N_{T(n-1)}$$

Equação 3

Onde:

$N_{T(n)}$: número total de cabeças de cada espécie para o ano n [nº de cabeças]

n : ano desejado, sendo $n > 2008$

$N_{T(n-1)}$: número total de cabeças de cada espécie por estado para o ano $n - 1$ [nº de cabeças]

$N_{T(2008)}$: número total de cabeças de cada espécie por estado no ano de 2008 [nº de cabeças]

DADOS DE ATIVIDADES MUNICIPAIS

Os dados para o período de 1970 a 1973 estão disponíveis somente em nível estadual. Portanto, para a estimar os valores municipais nesse período, foi calculada a participação relativa da população animal de cada categoria no respectivo estado, com base no ano de 1974. Essa proporção foi então aplicada à população total estadual para os anos de 1970, 1971, 1972 e 1973.

$$PROP_{mun1974} = \frac{N_{Tmun1974}}{N_{Test1974}}$$

Equação 4

$$N_{Tmun(1970-1973)} = PROP_{mun1974} \times N_{Test(1970-1973)}$$

Equação 5

Onde:

$PROP_{mun1974}$: proporção da população animal em relação ao estado no ano de 1974 [%]

$N_{Tmun1974}$: população animal da categoria T para cada município no ano de 1974 [nº de cabeças]

$N_{Test1974}$: população animal da categoria T do estado no ano de 1974 [nº de cabeças]

$N_{Tmun(1970-1973)}$: população animal da categoria T do município para o respectivo ano (de 1970 a 1972) [nº de cabeças]

$N_{Test(1970-1973)}$: população animal da categoria T do estado para o respectivo ano (de 1970 a 1972) [nº de cabeças]

Para o período de 2013 a 2024 foram adotadas as duas etapas apresentadas a seguir.

Etapla 1: foi calculada a média dos últimos 5 anos (2008 até 2012, para o ano de 2013) da participação relativa de cada município em relação ao total do seu estado em cada ano. A equação abaixo foi utilizada para o cálculo da proporção:

$$PROP = \left[\frac{\left(\frac{N_{Tmun2008}}{N_{Test2008}} \right) + \left(\frac{N_{Tmun2009}}{N_{Test2009}} \right) + \left(\frac{N_{Tmun2010}}{N_{Test2010}} \right) + \left(\frac{N_{Tmun2011}}{N_{Test2011}} \right) + \left(\frac{N_{Tmun2012}}{N_{Test2012}} \right)}{5} \right]$$

Equação 6

Onde:

$PROP$: proporção média dos últimos cinco anos da participação da população municipal na população estadual [%];

N_{Tmun} : número total de cada espécie por município para o ano indicado [nº de cabeças];

N_{Test} : o número total de cada espécie por estado para o ano indicado [nº de cabeças]

Etapla 2: a proporção média obtida ($PROP$) foi multiplicada pela população estadual estimada para cada ano, entre 2013 a 2024. A equação a seguir é uma representação do cálculo para o ano de 2013.

$$N_{Tmun2013} = PROP \times N_{Testado2013}$$

Equação 7

Onde:

$N_{Tmun2013}$: população da categoria animal T do município para o respectivo ano [nº de cabeças]

$PROP$: proporção média dos últimos cinco anos da participação da população municipal na população estadual [%];

$N_{Testado2013}$: população da categoria animal T do estado para o respectivo ano [nº de cabeças]

BOVINOS

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

Os dados de atividade estaduais da população de bovinos para o período de 1974 a 2024 foram obtidos através do SIDRA (IBGE) e Anuário da Pecuária Brasileira (ANUALPEC). Já para o período de 1970 a 1973, o processo de obtenção dos dados foi o mesmo que o realizado para as populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos. Já a obtenção das subcategorias de bovinos foi realizada da seguinte forma:

Etapla 1: nesta etapa foram obtidas as categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2

anos e touros acima de 2 anos, bem como outros bovinos acima 2 anos + bovinos leiteiros, ambos extraídos Tabela 925 do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009).

Adotando os mesmos critérios utilizados no 4º Inventário Nacional, foi obtida a proporção de cada categoria em relação à população total. Essa proporção foi multiplicada pela população total de bovinos da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024) para o período de 1974 a 2024, sendo obtidas assim o número de cabeças das categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos. Com esses dados foi possível realizar o cálculo da emissão de CH₄ para as respectivas categorias.

Etapa 2: a partir da população de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros, estimou-se a população de outros bovinos acima de dois anos (confinados). Para isso, foram utilizados os dados de vacas ordenhadas para o período de 1974 a 2024, disponível na Tabela 94 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024d) e os dados de bovinos confinados para o período de 1983 a 2024, disponibilizados pelo ANUALPEC (FNP, 2024).

Os dados de bovinos confinados do ANUALPEC não estão disponíveis para todos os estados de forma individualizada, sendo agrupados como “Outros estados”. Para esses casos, foi necessário aplicar a multiplicação do número de bovinos confinados do ANUALPEC pela fração de distribuição de animais confinados por Unidade de Federação (UF), conforme a metodologia do 4º Inventário Nacional. O valor obtido foi incorporado aos dados de “outros bovinos acima de 2 anos (confinados)”, da Tabela 1.

Além disso, os dados do ANUALPEC estão disponíveis somente a partir de 1983. Assim, para o período de 1970 a 1982, foi calculada a média da proporção dos últimos cinco anos (1983 a 1987), resultante da divisão do valor de bovinos confinados (ANUALPEC) pelo total de bovinos (IBGE), para cada estado no respectivo ano (equação 8).

$$PROP_{(1983-1987)} = \frac{\text{bovinos confinados}}{\text{bovinos totais}} (1983 - 1987)$$

Equação 8

Onde:

$PROP_{(1983-1987)}$: média da proporção de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [%]

bovinos confinados: média da população de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [nº de cabeças];

bovinos totais: média da população de bovinos totais para o período de 1983 a 1987 [nº de cabeças];

Após a obtenção da proporção de cada estado para cada ano de 1983 a 1987 foi obtido o percentual de participação do ano anterior no ano seguinte, pela equação 9:

$$\%PROP_n = \frac{PROP_{n-1} \times 100}{PROP_n}$$

Equação 9

Onde:

$\%PROP_n$: ano da série histórica (1983 a 1987), iniciando o cálculo para 1984.

$PROP_n$: proporção da população no ano n ;

$PROP_{n-1}$: proporção da população no ano $n - 1$

Com os quatro dados de $\%PROP_n$, foi calculada a média desses valores, o qual será multiplicado pelo valor de 1983 do estado correspondente.

$$\text{bovinos confinados}_{(1970-1982)} = \text{bovinos confinados}_{n+1} \times \text{média } \%PROP_n$$

Equação 10

Onde:

$\text{bovinos confinados}_{(1970-1982)}$: população de bovinos confinados para o respectivo ano, compreendendo o período de 1970 a 1982 [nº de cabeças]

$\text{bovinos confinados}_{n+1}$: população de bovinos confinados para o ano $n + 1$ [nº de cabeças]

$\text{média } \%PROP_n$: média do percentual de participação do ano anterior no ano [%]

Toda a série histórica composta pelos bovinos confinados é considerada na categoria outros bovinos acima de 2 anos (confinados), sendo utilizada para o cálculo da emissão de CH_4 dessa categoria.

Etapla 3: por meio da subtração do dado de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros é obtido o número de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Essa população foi então dividida entre fêmeas e machos, utilizando a fração de fêmeas de bovinos de corte acima de 2 anos não confinados. A diferença entre o total e o número de fêmeas forneceu o número de machos.

A partir do número de fêmeas acima de 2 anos, obtém-se o número de machos acima de 2 anos subtraindo-se do valor de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados).

Deste modo, é possível efetuar o cálculo da emissão de CH_4 dessas categorias.

Etapla 4: para estimar as categorias de bovinos de leite de alta e baixa produtividade, para o período de 1974 a 2024, foram utilizados os dados das Tabelas 94 e 74 (IBGE, 2024b), de Vacas Ordenhadas e Produção de leite, respectivamente. A produtividade municipal foi calculada pela equação:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção de leite (L)}}{\text{Número de vacas ordenhadas}}$$

Equação 3

Onde:

Produtividade : produtividade da produção de leite no respectivo ano [L/vaca/ano];

$\text{Produção de leite (L)}$: produção de leite [Litros];

Número de vacas ordenhadas: número de vacas ordenhadas no ano [nº de cabeças/ano]

Sendo que:

- Municípios com produtividade ≥ 2000 L/vaca/ano foram classificados como **alta produção**.
- Municípios com produtividade < 2000 L/vaca/ano foram classificados como **baixa produção**.

O resultado do número de vacas ordenhadas separado de acordo com a produtividade em nível estadual poderá ser aplicado à equação 1.

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Antes de realizarmos o cálculo das emissões de CH₄ por fermentação entérica em nível municipal, é necessário realizar um processo de normalização dos dados de vacas ordenhadas, a fim de evitar valores negativos. Essa possibilidade ocorre devido à diferença nos períodos de coleta das pesquisas do IBGE.

O primeiro passo do processo de normalização é feito através da obtenção do número de bovinos totais e vacas ordenhadas, das tabelas 3939 (IBGE, 2024c) e 94 (IBGE, 2024d), respectivamente, para cada estado e município. Para o período de 1990 a 2024, os dados de bovinos de corte (BC) para cada estado foram obtidos por meio da equação:

$$\text{Bovinos de corte (BC)} = \text{Bovinos totais (BT)} - \text{Vacas ordenhadas (VO)}$$

Equação 4

Onde:

Bovinos de corte (BC): população de bovinos de corte no ano [nº de cabeças]

Bovinos totais (BT): população de bovinos totais no ano [nº de cabeças]

Vacas ordenhadas (VO): população de vacas ordenhadas no ano [nº de cabeças]

Em seguida, calcula-se a proporção de ajuste da população de bovinos de corte por estado:

$$\text{Proporção de ajuste} = \frac{BC_{\text{estado}}}{BT_{\text{estado}}}$$

Equação 53

Onde:

Proporção de ajuste: proporção de ajuste da população de bovinos de corte por estado [%]

BC_{estado} : população de bovinos de corte por estado no ano [nº de cabeças]

BT_{estado} : população de bovinos totais por estado no ano [nº de cabeças]

Essa proporção é então aplicada ao número de bovinos totais do município, resultando na estimativa de bovinos de corte do município (BC_{mun}) para o período de 1990 a 2024. Com a população de bovino de corte ajustada para cada município e a população de vacas ordenhadas do município da Tabela 94 (IBGE, 2024d), obtém-se um novo número de bovinos totais:

$$Novo BT_{mun} = BC_{mun} + VO_{mun}$$

Equação 64

Onde:

$Novo BT_{mun}$: população de bovinos totais por município no ano [nº de cabeças]

BC_{mun} : população de bovinos de corte por município no ano [nº de cabeças]

VO_{mun} : população de vacas ordenhadas por município no ano [nº de cabeças]

O novo valor de bovino total do município será utilizado na aplicação das etapas supracitadas para obtenção dos dados de atividade em nível município.

Etapla 1: as categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos são estimadas conforme a metodologia aplicada em nível estadual, utilizando as proporções obtidas no Censo Agropecuário de 2006 (Tabela 925) (IBGE, 2009).

Etapla 2: como os dados do ANUALPEC não estão disponibilizados em nível municipal, os valores obtidos na Etapa 2, em nível estadual, foram utilizados como base para a estimativa da população de outros bovinos acima de dois anos (confinados) em nível municipal.

$$Bconfinados_{mun} = \frac{BC_{mun} \times BConfinados_{estado}}{BC_{estado}}$$

Equação 75

Onde:

$B_{confinados_{mun}}$: população de bovinos confinados por município no ano [nº de cabeças]

BC_{mun} : população de bovinos de corte por município no ano [nº de cabeças]

$B_{confinados_{estado}}$: população de bovinos confinados por estado no ano [nº de cabeças]

BC_{estado} : população de bovinos de corte por estado no ano [nº de cabeças]

Feito isso, a etapa 2 é aplicada aos municípios de forma igual a descrita anteriormente, para os estados.

Etapa 3: por meio da subtração do dado de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros é obtido o número de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Esse valor é então dividido entre fêmeas e machos, utilizando a fração de fêmeas de corte acima de 2 anos não confinadas. A diferença entre o total e o número de fêmeas fornece o número de machos. Esse dado servirá de base para a obtenção de fêmeas e machos acima de 2 anos. Deste modo, é possível efetuar o cálculo da emissão de CH₄ dessas categorias.

FATORES DE EMISSÃO DE CH₄ PELA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA (EF_T)

Os fatores de emissão utilizados para cada população animal e suas respectivas categorias foram extraídos do Relatório de Referência do Subsetor de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b). Como os fatores são apresentados por estado, para os municípios foram adotados os fatores correspondentes ao seu estado.

2.2 SUBSETOR MANEJO DE DEJETOS DE ANIMAIS

O manejo de dejetos animais é uma fonte relevante de emissões de CH₄ e N₂O. Essas emissões ocorrem em sistemas de produção animal onde os dejetos são armazenados ou tratados.

2.2.1. EMISSÕES DE CH₄

O cálculo de emissões CH₄ anuais provenientes do manejo de dejetos de animais no período de 1970 a 2024 foi realizado com base na metodologia utilizada no Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE (BRASIL, 2020c), conforme a equação:

$$E_{MD_{CH_4}} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6})$$

Equação 16

Onde:

$E_{MD_{CH_4}}$: emissão total de CH₄ proveniente do manejo de dejetos animais [Gg CH₄]

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

EF_T : fator de emissão de CH₄ proveniente do manejo de dejetos, por categoria de animal T [kg/CH₄/animal/ano]

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

O somatório dos resultados obtidos pelo cálculo das emissões municipais da equação 16 será equivalente ao resultado obtido com a aplicação da equação no respectivo estado. No entanto, devido à ausência de banco de dados para parte das informações necessárias para o cálculo, em alguns casos foi necessária a adoção de processos ou uso de banco de dados diferentes para a realização do cálculo das emissões estadual e municipal, conforme apresentado a seguir.

As categorias de animais consideradas no cálculo de emissões de CH₄ por manejo de dejetos estão apresentadas na Tabela 2. Assim como em Fermentação Entérica, a categoria de bovinos recebeu maior detalhamento, devido à sua expressiva contribuição nas emissões. O mesmo se aplica às categorias de suínos e aves, que também têm relevância significativa, justificando o aprofundamento na coleta e tratamento dos dados de atividades.

Tabela 2 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de CH₄ decorrentes do Manejo de Dejetos dos Animais

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
Suínos	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 litros de leite/vaca/ano)
		Baixa produção (< 2000 litros de leite/vaca/ano)
	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência
	Engorda	Industrial
		Subsistência
Aves	Reprodutores	Industrial
		Subsistência
		Galinhas
		Galos, frangos e pintos
Ovinos		Codornas
Bubalinos		
Caprinos		
Equinos		
Muare		
Asininos		

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias emissoras de CH₄ através do manejo de dejetos incluem aquelas consideradas em fermentação entérica (vacas leiteiras, bovinos de corte, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muare, asininos e suínos) além das aves (galinhas, galos, frangos, frangas, pintos e codornas), como supracitado na tabela acima. Portanto, para o cálculo das emissões de CH₄ por meio do

manejo de dejetos, adotou-se a mesma base de dados de população animal utilizada na estimativa de fermentação entérica, com a inclusão da população de aves para cada estado. No caso de suínos, foi necessário desagregar a população em fases produtivas: aleitamento/creche, engorda e reprodutores, sendo que cada fase foi subdividida entre industrial e de subsistência, uma vez que essas possuem diferentes fatores de emissão pelo manejo de dejetos (BRASIL, 2020c).

BOVINOS, OVINOS, BUBALINOS, CAPRINOS, EQUINOS, MUARES E ASININOS

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais das populações de bovinos (bovinos de corte e de leite), ovinos, bubalinos, caprinos, equinos, muares e asininos foi o mesmo adotado para a obtenção das respectivas populações no cálculo das emissões de fermentação entérica.

SUÍNOS

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

Os dados estaduais da população de suínos foram obtidos por meio da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024c), para o período de 1970 a 2024. Sendo que:

- Entre 1970 e 2012: utilizou-se o total de suínos (ST).
- A partir de 2013: passou-se a considerar a categoria de matrizes de suínos (SM).

A população total de suínos foi desagregada em três categorias funcionais, são elas: (i) reprodutores (SR), (ii) aleitamento/creche (SC) e (iii) engorda (SE). Em seguida, cada uma dessas categorias foi classificada segundo dois sistemas produtivos, industrial e de subsistência. Essa abordagem permite representar diferenças estruturais nos sistemas de produção suinícola e baseia-se em proporções específicas por estado e ano, conforme informações do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

A seguir, estão detalhados o processo de estimativa da população de suínos reprodutores, aleitamento/creche e engorda.

Etapas 1: Primeiramente, foi obtida a população de suínos reprodutores (SR) por meio da multiplicação das frações específicas por estado, conforme o período, nas categorias ST e SM, obtidas da Tabela 15 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

- 1970 a 2012:

$$\text{Suínos Reprodutores (SR)}_{1970-2012} = ST_{1970-2012} \times FRAC_{ST}$$

Equação 17

- 1913 a 2024:

$$\text{Suínos Reprodutores (SR)}_{2013-2024} = SM_{2013-2024} \times FRAC_{SM}$$

Equação 18

Onde:

$SuínosReprodutores(SR)_{1970-2012}$: população de suínos reprodutores (SR) para o respectivo ano no período de 1970 a 2012 [nº de cabeças]

$SuínosReprodutores(SR)_{2013-2024}$: população de suínos reprodutores (SR) para o respectivo ano no período de 2013 a 2024 [nº de cabeças]

$ST_{1970-2012}$: população de suínos totais para o respectivo ano no período de 1970 a 2012 [nº de cabeças]

$ST_{2013-2024}$: 0: população de suínos – matrizes de suínos para o respectivo ano no período de 2013 a 2024 [nº de cabeças]

$FRAC_{ST}$: fração de suínos reprodutores na população de suínos totais [%]

$FRAC_{SM}$: fração de matrizes de suínos na população de suínos totais [%]

A partir da estimativa de SR, calcula-se a população de suínos de abate (SA), que corresponde ao restante da população total, ou seja:

$$SA = ST - SR$$

Equação 19

Essa população de abate (SA) é então desagregada em duas fases produtivas, com base nas proporções de duração de cada fase, adotadas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

$$\text{Suínos Aleitamento/creche}_{1970-2024} = SA_{1970-2024} \times Prop_{aleitamento}$$

Equação 20

$$\text{Suínos Engorda}_{1970-2024} = SA_{1970-2024} \times Prop_{engorda}$$

Equação 21

Onde:

$SuínosAleitamento/creche_{1970-2024}$: população de suínos em aleitamento/creche para o respectivo ano [nº de cabeças]

$SuínosEngorda_{1970-2024}$: população de suínos em fase de engorda para o respectivo ano [nº de cabeças]

$SA_{1970-2024}$: população de suínos de abate para o respectivo ano [nº de cabeças]

$Prop_{aleitamento}$: proporção de suínos de abate em fase de aleitamento-creche [37%]

$Prop_{engorda}$: proporção de suínos de abate em fase de engorda [63%]

Etapa 2: Após estimativa das populações por categoria funcional, cada grupo é dividido nas subcategorias “Industrial” e de “Subsistência”.

A segmentação é realizada por meio da aplicação de proporções específicas por estado e ano, conforme as Tabelas 16 e 17 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Como os dados dessas tabelas estão disponíveis a partir do ano de 1990, para o período de 1970 a 1989 foi adotada a proporção de 1990.

Para cada categoria funcional, aplica-se a seguinte lógica:

- Suínos Reprodutores:

$$SR_{industrial} = SR \times Prop_{industrial}$$

Equação 8

$$SR_{subsistência} = SR - SR_{industrial}$$

Equação 23

Onde:

$SR_{industrial}$: população de Suínos Reprodutores Industriais [nº de cabeças]

$PROP_{industrial}$: proporção de Suínos Reprodutores na categoria industrial para o respectivo ano [%]

$SR_{subsistência}$: população de Suínos Reprodutores de Subsistência [nº de cabeças]

- Suínos de Aleitamento/Creche:

$$SC_{industrial} = SC \times Prop_{industrial}$$

Equação 24

$$SC_{subsistência} = SC - SC_{industrial}$$

Equação 25

Onde:

$SC_{industrial}$: população de Suínos de Aleitamento/Creche Industriais [nº de cabeças]

$Prop_{industrial}$: proporção de Suínos de Aleitamento/Creche na categoria industrial para o respectivo ano.

$SC_{subsistência}$: população de Suínos de Aleitamento/Creche de Subsistência [nº de cabeças]

- Suínos de Engorda:

$$SE_{industrial} = SE \times PROP_{industrial}$$

Equação 26

$$SE_{subsistência} = SE - SE_{industrial}$$

Equação 27

Onde:

$SE_{industrial}$: população de Suínos de Engorda industriais [nº de cabeças]

$PROP_{industrial}$: proporção de Suínos de Engorda na categoria industrial para o respectivo ano [%].

$SE_{subsistência}$: população de Suínos de Engorda de subsistência [nº de cabeças]

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

O processo de estimativa dos dados municipais das populações de suínos seguiu a mesma lógica adotada para a obtenção dos dados estaduais. A partir dos dados municipais da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024c), foram calculadas as populações de suínos reprodutores (SR), suínos de abate (SA), suínos em aleitamento/creche (SC) e suínos em engorda (SE), com posterior segmentação em sistemas industrial e subsistência, conforme as proporções definidas nas Tabelas 15, 16 e 17 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). A soma dos resultados obtidos para os municípios de cada estado corresponde exatamente aos valores calculados na etapa estadual, garantindo consistência entre os níveis de agregação territorial.

AVES

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

O cálculo das emissões de CH_4 provenientes do Manejo de Dejetos para a população de aves é subdividido nas categorias: galinhas, galos, frangos e pintos, e codornas. A obtenção dos dados de atividade estaduais ocorre através das seguintes etapas:

Etapa 1: A base de dados foi obtida da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2024c) para o período de 1974 a 2024. Nela, foram selecionadas as categorias: Galináceos - total (GT), Galináceos - galinhas (GG) e Codornas (CD). Os valores estaduais correspondem ao somatório dos dados municipais, para cada ano.

Etapa 2: a partir dos dados obtidos, foram estimadas as seguintes populações:

- Galinhas Poedeiras (GP):

$$GP = GG$$

Equação 28

- Galos, frangos e pintos (GL):

$$GL = GT - GG$$

Equação 29

- Codornas (CD):

$$CD = CD$$

Equação 30

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

O processo de obtenção dos dados municipais seguiu a mesma metodologia adotada para os dados estaduais. A classificação em galinhas poedeiras, galos, frangos e pintos, e codornas foi realizada com base nas mesmas categorias da Tabela 3939. A soma dos resultados municipais corresponde aos valores estaduais, garantindo consistência entre os níveis de agregação territorial.

FATORES DE EMISSÃO DE CH₄ (EF_T)

Os fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões de metano provenientes do manejo de dejetos estão disponíveis na seção 2.2 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Esse documento apresenta fatores de emissões anuais de metano nível *Tier 2* (IPCC, 1996; 2006) para as categorias de bovinos (corte e vacas leiteiras) e suínos (de aleitamento/creche, engorda e reprodutores) desagregados por estado, para o período de 1990 a 2016 (BRASIL, 2021d). Para os anos anteriores (1970-1990), foi adotado o fator de 1990. Para os anos posteriores (2016-2024), foi utilizado o fator de emissão de 2016.

Para as categorias (asininos, muares, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves), o Relatório de Referência (BRASIL, 2020c) apresenta fatores de emissão indicados *default*, conforme a equação *Tier 1* do IPCC (*Guidelines 1996*) para cada estado, os quais foram aplicados no período de 1970 a 2024.

2.2.2. EMISSÕES DIRETAS DE N₂O

O cálculo das emissões diretas de óxido nitroso (N₂O) provenientes do manejo de dejetos animais no período de 1970-2024, baseou-se na metodologia utilizada no Relatório de Referência do 4º Inventário Brasileiro de Emissões (BRASIL, 2020c). A equação utilizada considera a quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal, os sistemas de manejo de dejetos adotados e os respectivos fatores de emissão:

$$E_{MDd_{N_2O}} = \left\{ \sum_S \left[\sum_T (N_T \times N_{ex_T} \times MS_{T,S}) \right] \times EF_{3_S} \right\} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 9

Onde:

$E_{MDD_{N_2O}}$: emissão direta total de N_2O proveniente de dejetos tratados (não depositados diretamente em pastagem) [Gg N_2O]

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

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

$MS_{(T,S)}$: percentual de uso do sistema de manejo de dejetos S para a categoria T [%]

EF_{3_S} : fator de emissão de N_2O para o sistema S [kg N_2O -N/kg N]

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

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

A quantidade de nitrogênio (N) excretado ($N_{ex(T)}$) por animal (T) foi obtida através da equação:

$$N_{ex_T} = N_{rate(T)} \times \frac{TAM}{1000}$$

Equação 32

Onde:

$N_{ex(T)}$: quantidade de N excretado por animal da categoria T [kg N/animal/ano];

$N_{rate(T)}$: taxa de excreção de N por categoria animal T [kg N/animal/ano];

TAM: peso vivo médio da categoria animal [kg/cabeça animal]

As taxas de excreção de nitrogênio ($N_{ex(T)}$) encontram-se disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

As categorias de animais geradoras de emissões diretas de N_2O no manejo de dejetos estão apresentadas na Tabela 3 abaixo. Essa segmentação é necessária devido às diferentes taxas de excreção de nitrogênio entre as categorias (BRASIL, 2021d).

Tabela 3 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de N_2O , decorrentes do Manejo de Dejetos dos Animais

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA
Bovinos	Bovinos de corte	Outros animais > 2 anos (confinados)
	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 L/vaca/ano)
		Baixa produção (< 2000 L/vaca/ano)
Suínos	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência
	Engorda	Industrial

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA
Aves	Reprodutores	Subsistência
		Industrial
	Galinhas	Subsistência
		Galos, frangos e pintos
		Codornas

Portanto, para o cálculo das emissões de N₂O através do manejo de dejetos por estado e município, adotou-se a mesma base de dados de população animal de bovinos utilizada em fermentação entérica, acrescida da população de aves e suínos utilizadas no cálculo das emissões de CH₄ de manejo de dejetos.

A) FATORES DE EMISSÃO DE N₂O ($EF_{3(S)}$)

Os fatores de emissão de N₂O para os diferentes sistemas de manejo de dejetos variam de 0,1% a 2% do nitrogênio contido nos dejetos, conforme especificado no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Esses fatores foram aplicados por estado e categoria animal para o período de 1970 a 2024.

2.2.3. Emissões indiretas de N₂O

O cálculo das emissões indiretas de óxido nitroso (N₂O) provenientes do manejo de dejetos animais no período de 1970 a 2024 baseou-se na metodologia utilizada no Relatório de Referência do 4º Inventário Brasileiro de Emissões (BRASIL, 2020c). As emissões são estimadas a partir da quantidade de nitrogênio volatilizado durante o armazenamento e tratamento dos dejetos, conforme a equação abaixo:

$$E_{MDi_{N_2O}} = (N_{volatilizado} \times EF_4) \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 33

Onde:

$E_{MDi_{N_2O}}$: emissão indireta total de N₂O proveniente de tratamento de dejetos (não depositados diretamente em pastagem), por categoria animal T [Gg N₂O]

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

EF_4 : fator de emissão de N₂O do sistema de manejo de dejetos [para emissão indireta é adotado o valor *default* de 0,01 kg N₂O-N/kg N, independentemente do tipo de manejo utilizado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : conversão de kg para Gg

A quantidade de nitrogênio volatilizado ($N_{volatilizado}$) é estimada com base na população animal, taxa de excreção de nitrogênio, sistema de manejo de dejetos e fração de volatilização, conforme a equação:

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

Equação 34

Onde:

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

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

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

$Frac_{Gas\ MS\ T,S}$: fração de nitrogênio volatilizado para cada tipo de manejo S de categoria T [%]

A) DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

As categorias de animais geradoras de emissões indiretas de N_2O através do manejo de dejetos são as mesmas adotadas para as emissões diretas de N_2O através do manejo para os estados e municípios.

B) FATORES DE EMISSÃO E CONSTANTES

Os fatores de emissão utilizados para os cálculos das emissões diretas e indiretas foram especificados nas tabelas de suporte, N_{ext} , $MS_{T,S}$, $MS_{(T,S)}$, EF_4 e $Frac_{Gas\ MS\ T,S}$ encontram-se disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

Importante destacar que os sistemas de manejo em lagoas anaeróbicas e biodigestores não produzem N_2O devido às condições extremas de potencial de oxirredução. Além disso, os dejetos de bovinos não confinados, ovinos, bubalinos, equinos, muares e asininos são considerados como depositados diretamente em pastagens, e suas emissões de N_2O são reportadas no subsetor “3.D - Solos Manejados”.

2.3 SUBSETOR CULTIVO DE ARROZ

O cultivo de arroz irrigado é uma fonte de emissões de CH₄ na agropecuária brasileira. Isso ocorre porque o alagamento contínuo impede a entrada de oxigênio no solo, cria condições ideais para a produção de metano por microrganismos anaeróbicos, que liberam CH₄ nesse processo. A estimativa dessas emissões foi realizada de acordo com a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020d), por meio da seguinte equação:

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

Equação 35

Onde:

E_{CA} : emissões de CH₄ do cultivo de arroz [Gg de CH₄/ano]

$EF_{j,i,k}$: fator de emissão diário para as condições j, i, k [kg CH₄/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 : diferentes condições de cultivo (ecossistemas, regimes de manejo da água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar as emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz)

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA DE ARROZ COLHIDA ($A_{j,i,k}$)

Para estimar a área colhida de arroz a cada ano, foram adotados dois métodos distintos: um específico para o estado do Rio Grande do Sul, que responde por cerca 80% da produção nacional, e outro para os demais estados. Essa separação foi aplicada tanto na coleta dos dados estaduais, quanto municipais. A disponibilidade e o nível de detalhamento das informações variam conforme a região e o período analisado. O arroz irrigado pode ser cultivado sob três tipos de regime: alagamento contínuo, intermitente com aeração única e intermitente com aeração múltipla. No entanto, como não há dados completos sobre os regimes intermitentes para toda a série histórica, o cálculo das emissões de CH₄ decorrentes do cultivo de arroz considera somente o regime permanente (contínuo).

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

Rio Grande do Sul

A área e a produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foram obtidas a partir de diferentes fontes, conforme o período:

- 1970 a 1989: dados do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2024);

- 1990 a 2016: informações do 4º Inventário Nacional, com detalhamento por tipo de irrigação (BRASIL, 2020d);
- 2017 a 2024: novamente, dados do IRGA (2024).

Demais estados

Para os demais estados, as fontes variam de acordo com a disponibilidade por período:

- 1970 a 1973: a área e produção nacional de arroz irrigado, disponibilizados pela FAO (UN, 2021b), foram alocadas proporcionalmente entre os estados, com base na participação de cada um em 1974, segundo dados do IBGE.
- 1974 a 1985: dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), Tabela 5457 do IBGE (2024a);
- 1986 a 1989: dados da Embrapa Arroz e Feijão (2024);
- 1990 a 2016: informações do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d), com áreas por tipo de irrigação;
- 2017 a 2024: novamente, dados da Embrapa Arroz e Feijão (2024).

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

A estimativa da área cultivada e da produção de arroz irrigado a nível municipal foi realizada por meio da alocação proporcional dos dados estaduais obtidos nas fontes descritas anteriormente. Essa alocação considerou a participação da área cultivada de cada município em relação à área total do estado, com base nos dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), Tabela 5457 do IBGE (2024a), conforme equação 36.

$$\text{Área}_{mun} = \frac{\text{Área total}_{estado (FAO, IBGE, 4^\circ IN, IRGA)} \times \text{Área total}_{município (IBGE)}}{\text{Área total}_{estado (IBGE)}}$$

Equação 36

Nos períodos em que os dados estaduais estavam disponíveis por tipo de regime de irrigação, como no caso do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d), a alocação municipal foi realizada separadamente para cada regime, mantendo a consistência metodológica e permitindo maior detalhamento espacial das emissões.

FATOR DE EMISSÃO ($EF_{j,i,k}$)

O fator de emissão diário de metano ($EF_{j,i,k}$) para o cultivo de arroz irrigado foi obtido através da equação 37, conforme o Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d). Essa equação considera o fator base para áreas com alagamento contínuo, ajustado por

escalas relacionadas ao manejo hídrico e ao uso de matéria orgânica. As constantes utilizadas no cálculo do fator de emissão foram extraídas do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d).

$$EF_{j,i,k} = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o$$

Equação 37

Onde:

$EF_{j,i,k}$: fator de emissão diário para as condições j, i, k [kg CH₄/ha/dia];

EF_c : fator de emissão da linha de base para áreas com inundação contínua e sem aporte de matéria-orgânica [1,3 kg CH₄/ha/dia];

SF_w : fator de escala de regime hídrico antes do cultivo [1,0 para regime contínuo, 0,6 para regime intermitente por aeração única e 0,52 para regime intermitente por aeração múltipla, adimensional]

SF_p : fator de escala de regime hídrico na entressafra [0,68, adimensional]

SF_o : fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo [calculado, adimensional]

O fator SF_o é calculado com base na dose de material orgânico (ROA) e no fator de conversão (CFOA), conforme a equação do 4º Inventário (BRASIL, 2020d):

$$SF_o = [1 + (ROA \times CFOA)]^{0,59}$$

Equação 38

Onde:

SF_o : fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo [adimensional]

ROA: dose de material orgânico aplicado (palha de arroz e demais resíduos) [ton/ha];

CFOA: fator de conversão para aporte de material orgânico (aplicação de palha de arroz imediatamente antes do cultivo) [1,0 adimensional]

A dose de material orgânico aplicada (ROA) é estimada a partir da produtividade média do arroz irrigado, considerando que 80% da produção corresponde à palha disponível:

$$ROA = P \times 0,8$$

Equação 10

Onde:

P: produtividade média do regime, calculado através da divisão da produção pela área de arroz irrigado colhido [ton/ha];

0,8: considerado 80% de produtividade do regime

2.4 SUBSETOR QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Emissões de CH₄, N₂O, NO_x e CO

Para a estimativa das emissões de gases de CH₄, CO, N₂O e NO_x na queima de resíduos de algodão foi replicada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2021c) de acordo com a seguinte equação:

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

Equação 93

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s}$: emissão do tipo de gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) [Gg de gás];

Aq : 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 (N₂O, NO_x, CO, CH₄) de matéria seca queimada [g/kg];

DADOS DE ATIVIDADE

ÁREA QUEIMADA (Aq)

A área queimada foi obtida através da equação:

$$Aq = Ac \times \%Cm$$

Equação 94

Onde:

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

Ac : área colhida [ha];

$\%Cm$: porcentagem de colheita manual [%]

Para o período de 1974 a 2024 tanto para estados quanto para municípios, a área colhida (Ac) foi obtida a partir dos dados da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2024a). Como a queima ocorre para as culturas de algodão e cana-de-açúcar, somente essas foram consideradas no cálculo. Para o período de 1970 a 1973 os dados foram alocados pela multiplicação da área nacional do respectivo ano no banco de dados da FAO (UN, 2021b) com a proporção da área colhida do estado e município no total nacional da Tabela 5457 (IBGE, 2024a).

Já o percentual de colheita manual (% C_m) para o período de 1970 a 2024 foi extraído da série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (BRASIL, 2024d). Como esses dados são disponibilizados numa base estadual, para o cálculo da área queimada por município foi adotado o valor do estado correspondente.

Biomassa para combustão (BC)

A quantidade de biomassa disponível para combustão foi obtida através da equação a seguir.

$$BC = P \times R_{\text{palhico/colmo}}$$

Equação 95

Onde:

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

P : produtividade [ton/ha];

$R_{\text{palhico/colmo}}$: relação entre palhico e colmo da cultura [0,187 para cana-de-açúcar]

A produtividade é obtida através da divisão da produção [ton] pela área plantada [ha]. Ambos dados foram extraídos da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2024a).

As emissões provenientes da queima dos resíduos do algodão seguiram a metodologia do 3º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE, a mesma utilizada no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE. O cálculo é detalhado no item a seguir.

FATORES DE EMISSÃO

Os fatores de emissão utilizados correspondem aos mesmos adotados no Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2021c).

Queima de Resíduos Agrícolas (algodão): as emissões, por ano e por Unidade da Federação, foram calculadas de acordo com a metodologia *Tier 2*, segundo o BRASIL (2016), dada pela seguinte equação:

$$E_{\text{emissão}}_{\text{Gás}} = R \times R_{cp} \times F_{qc} \times F_c \times EF \times 10^{-6}$$

Equação 96

Onde:

$Emissão_{Gás}$: emissão do tipo de gás (N_2O , NO_x , CO , CH_4) [Gg de gás];
 R : produção agrícola de algodão [ton];
 Rcp : relação palhico/colmos da cultura de algodão [adimensional];
 Fqc : percentual da área de produção da cultura agrícola de algodão [%];
 Fc : fator de combustão do algodão [adimensional];
 EF : fator de emissão específico de cada gás (N_2O , NO_x , CO , CH_4) de matéria seca queimada [g/kg];

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO AGRÍCOLA (P), RELAÇÃO PALHIÇO/COLMOS (RPC) E PERCENTUAL DA ÁREA DE PRODUÇÃO COM QUEIMA (FQC)

Os dados sobre a produção agrícola dos municípios são obtidos através do SIDRA (IBGE), por meio do eixo de Produção Agrícola Municipal (PAM). Obtendo-se a quantidade produzida algodão em toneladas, para o período de 1970 a 2024.

A relação palhico/colmos das culturas agrícolas e o fator de combustão dos resíduos de algodão estão disponíveis no Terceiro Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016).

O percentual da área de produção de algodão em que ocorre a queima dos resíduos foi obtido a partir do Terceiro Inventário Nacional (BRASIL, 2016), com base em dados estaduais. Historicamente, a prática da queima foi incentivada por legislação federal (Decreto nº 24.114, de 12 de abril de 1934), que exigia a destruição dos resíduos do algodão como medida fitossanitária para controle de pragas. Contudo, a partir da década de 1990, houve uma transição gradual para técnicas alternativas de manejo (mecânicas e químicas), levando à eliminação da prática de queima por volta de 1995. Para refletir essa transição, o 3º Inventário adotou a seguinte abordagem:

- Em 1990, considerou-se que 50% da área colhida era queimada.
- De 1990 a 1995, aplicou-se uma redução anual de 10%, até atingir 0% em 1995.

Para o SEEG, adotou-se o raciocínio inverso para os anos anteriores a 1990, conforme os seguintes passos:

- De 1985 a 1989, aplicou-se uma redução de 10% ao ano, partindo de 100% em 1985 até 50% em 1990.
- De 1970 a 1984, considerou-se que 100% da área colhida era queimada.

Essa abordagem permite estimar com maior precisão a área efetivamente sujeita à queima de resíduos de algodão ao longo da série histórica. Após 1994, as emissões por queima de resíduos agrícolas consideram apenas a cultura da cana-de-açúcar, dado o abandono da prática na cultura do algodão.

FATOR DE COMBUSTÃO (F_c) E FATOR DE EMISSÃO (EF)

Já os fatores de emissão de GEE e CO e NOx estão disponíveis no Terceiro Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2015).

Tabela 1 – Fatores utilizados no cálculo da queima de algodão

Fator de Combustão (F_c)	
Algodão	0,9
Fator de Emissão (EF) (kg de gás /kg biomassa seca queimada)	
CH ₄	0,0027
CO	0,0920
N ₂ O	0,00007
NOx	0,0025

2.5 SUBSETOR SOLOS MANEJADOS

2.5.1 FERTILIZANTES ORGÂNICOS

APLICAÇÃO DE VINHAÇA COMO ADUBO ORGÂNICO

A estimativa das emissões diretas de N_2O pela aplicação de vinhaça ao solo como adubo orgânico segue a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020d). A equação utilizada considera a quantidade de vinhaça gerada a partir da produção de etanol, o teor de nitrogênio presente na vinhaça e os fatores de emissão e conversão aplicáveis:

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

Equação 40

Onde:

E_V : emissões de N_2O diretas pela aplicação de vinhaça [Gg de N_2O]

P_E : produção de etanol [mil 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/ m^3 de vinhaça]

FE_v : fator de emissão direta de N_2O pela aplicação de vinhaça ao campo [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 m^3 para L

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO DE VINHAÇA

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

A quantidade de vinhaça, um subproduto do processo de fabricação de etanol a partir da cana-de-açúcar que é aplicado ao solo como adubo orgânico, foi estimada com base na produção de etanol por estado, para o período de 1970 a 2024. A abordagem metodológica variou conforme a disponibilidade de dados em cada intervalo:

1970 a 1980

Neste período, os dados da produção de etanol estão disponíveis apenas em nível nacional, conforme o Balanço Energético Nacional (BEN) (BRASIL, 2021). Para estimar a produção estadual, foram adotadas duas etapas:

- **Etapla 1:** calculou-se a proporção média da produção de etanol por estado entre 1981 e 1990 em relação à quantidade total consumida no Brasil. A média foi utilizada

para minimizar o efeito de anos atípicos ou diferentes condições específicas de produção.

- **Etapa 2:** multiplicou-se a média obtida de cada estado pela quantidade total de etanol produzido no Brasil, disponibilizado pelo BEN, obtendo-se assim a produção estadual de etanol.

1981 a 2024

A produção estadual de etanol foi obtida diretamente do banco de dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2024), que disponibiliza os dados em nível estadual.

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Como os dados do BEN e da UNICA estão disponíveis apenas em nível estadual, a produção de etanol por município foi estimada com base na produção de cana-de-açúcar, conforme Tabela 6957 do Censo Agropecuário (IBGE, 2017b). A alocação seguiu a proporção entre a produção municipal e estadual de cana, conforme equação 41, a seguir:

$$P_{Emunicipal} = \frac{P_{Cmunicipal} \times P_{Estadual}}{P_{Cestadual}}$$

Equação 41

Onde:

$P_{Emunicipal}$: produção de etanol municipal [mil m³]

$P_{Cmunicipal}$: produção de cana-de-açúcar municipal [toneladas]

$P_{Estadual}$: produção de etanol estadual [mil m³]

$P_{Cestadual}$: produção de cana-de-açúcar estadual [toneladas]

Além disso, para o cálculo da quantidade de vinhaça e do nitrogênio aplicado ao solo, foram utilizados os seguintes parâmetros, conforme o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e):

- P_{EV} - Proporção de vinhaça por litro de etanol produzido: 11,5 L/L
- N_V - Concentração de nitrogênio na vinhaça: 0,433 kg N/m³

FATOR DE EMISSÃO DE N₂O (FE_v)

As emissões diretas de N₂O foram estimadas com base em um fator de emissão de N₂O (FE_v) de 0,52% por kg de nitrogênio aplicado via vinhaça, de acordo com o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Segundo o mesmo relatório, não há perdas significativas por volatilização do nitrogênio contido na vinhaça e aplicado ao campo. As perdas ocorrem principalmente por lixiviação e escoamento superficial, sendo essas formas de perda consideradas nas estimativas de emissões indiretas, tratadas em seção específica.

APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO COMO ADUBO ORGÂNICO

A torta de filtro é um subproduto gerado no processo de clarificação do caldo da cana-de-açúcar durante a produção de açúcar e etanol. Rica em matéria orgânica e nutrientes, entre eles o nitrogênio, ela é amplamente utilizada como fertilizante orgânico em áreas de cultivo de cana.

Na estimativa das emissões diretas de N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo como adubo orgânico, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), que utiliza a seguinte equação:

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

Equação 42

Onde:

E_{Tf} : emissões diretas de N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

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 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ 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 N₂O pela aplicação de vinhaça ao campo [kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO DE TORTA DE FILTRO

A quantidade de torta de filtro aplicada ao solo foi estimada com base na produção de açúcar (P_A) e etanol (P_E) de cada estado, para o período de 1970 a 2024.

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

A produção estadual de etanol foi obtida conforme descrito na subseção anterior, referente à aplicação de vinhaça. Já os dados estaduais de produção de açúcar, a obtenção se deu de acordo com o período:

- 1970 a 1980: os dados foram extraídos do Balanço Nacional da Cana-de-Açúcar e Agroenergia (BRASIL, 2007).
- 1981 a 2024: as informações foram obtidas diretamente do banco de dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2024).

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

A produção municipal de etanol foi obtida conforme estimativa para aplicação de vinhaça. Já no processo de obtenção da produção de açúcar em nível municipal, foi realizada uma estimativa com base na produção de cana-de-açúcar disponibilizada na Tabela 6957 do Censo Agropecuário (IBGE, 2017b), conforme equação:

$$P_{A_{municipal}} = \frac{P_{C_{municipal}} \times P_{A_{estadual}}}{P_{C_{estadual}}}$$

Equação 43

Onde:

$P_{A_{municipal}}$: produção de açúcar municipal [mil toneladas]

$P_{C_{municipal}}$: produção de cana-de-açúcar municipal [toneladas]

$P_{A_{estadual}}$: produção de açúcar estadual [mil toneladas]

$P_{C_{estadual}}$: produção de cana-de-açúcar estadual [toneladas]

FATOR DE EMISSÃO E CONVERSÃO

Os fatores de emissão e conversão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.5.2 DEJETOS ANIMAIS EM SOLOS AGRÍCOLAS

As emissões diretas de N₂O decorrentes da aplicação de esterco no campo como adubo orgânico foram estimadas de acordo com a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e). A equação utilizada considera a população animal por categoria, a quantidade de nitrogênio excretado, os sistemas de manejo de dejetos, as perdas de nitrogênio ao longo do processo e os fatores de conversão aplicáveis:

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

Equação 44

Onde:

E_E : emissão direta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

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} : percentual de uso do sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal T [%]

$Frac_{loss\ ms}$: 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 N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T ·)

As categorias animais consideradas para estimativa estão listadas na Tabela 4. A segmentação por categoria permite capturar as diferenças nas taxas de excreção de nitrogênio e nos sistemas de manejo adotados, garantindo maior precisão nos cálculos.

Tabela 4 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões diretas de N₂O decorrentes da aplicação de esterco como adubo orgânico

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
	Bovinos de leite	Alta produção (\geq 2000 litros de leite/vaca/ano) Baixa produção (< 2000 litros de leite/vaca/ano)
Suínos	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência
	Engorda	Industrial
		Subsistência
	Reprodutores	Industrial
		Subsistência
Aves	Galinhas	
	Galos, frangos e pintos	
	Codornas	

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais seguiu a mesma abordagem adotada para os cálculos de fermentação entérica e manejo de dejetos, conforme descrito nas respectivas seções da nota metodológica.

FATORES DE EMISSÃO E VARIÁVEIS

Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram extraídos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões, especificamente dos subse-
tores Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

2.5.3 DEJETOS ANIMAIS DEIXADOS EM PASTAGEM

As emissões diretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais em áreas de pastagem foram estimadas com base na metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e). A equação considera a população animal por categoria, a quantidade de nitrogênio excretado, a fração desse nitrogênio que é depositada diretamente em pastagens e o fator de emissão específico para cada categoria animal:

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

Equação 45

Onde:

E_{DP} : emissões diretas de N₂O pela deposição de dejetos animais em pastagens [Gg de N₂O];

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 [%];

EF_{3PRP} : fator de emissão direta de N₂O por dejetos de animais depositados diretamente em pastagens por categoria animal T [kg N-N₂O/kg de N aplicado];

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

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

DADOS DE ATIVIDADE DA POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

Nos dados para a estimativa de emissões diretas de N₂O pelos dejetos de animais depositados diretamente em pastagem foram consideradas as categorias inclui a população dos rebanhos de vacas leiteiras, bovinos de corte (touro, jovens, bezerros, machos > 2 anos não confinados e fêmeas > 2 anos não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muare e asininos, conforme Tabela 5 apresentada a seguir.

Tabela 2 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais diretamente no solo

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Suínos	Subsistência	1 ano < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
		Aleitamento/Creche
		Engorda
		Reprodutores
	Ovinos	
	Bubalinos	
	Caprinos	
	Equinos	
	Muares	
	Asininos	

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais seguiu a mesma abordagem adotada para os cálculos de fermentação entérica e manejo de dejetos, conforme descrito nas respectivas seções da nota metodológica.

N EXCRETADO (N_{exT}) E FRAÇÃO DEPOSITADA EM PASTAGENS (MS_T)

A quantidade de N excretada por animal (kg N/animal/ano) e a fração depositada diretamente em pastagens foram as mesmas adotados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

FATOR DE EMISSÃO DE N_2O (EF_{3PRP})

O fator de emissão direta de N_2O (EF_{3PRP}) adotado varia de 1,0% até 1,5% do nitrogênio contido no dejetos depositado, conforme especificado para cada espécie animal no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Esse fator representa a fração do nitrogênio excretado que é convertido em N_2O após a deposição direta em pastagens, já considerando as perdas por volatilização.

2.5.4 FERTILIZANTES NITROGENADOS SINTÉTICOS

As emissões diretas de N₂O decorrentes da aplicação de fertilizantes sintéticos aplicados ao solo foram estimadas com base na metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e). A equação considera a quantidade total de nitrogênio aplicado, descontando as frações que se perdem por volatilização e aplica os fatores de emissão e conversão correspondentes:

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

Equação 46

Onde:

E_{FSN} : emissões diretas de N₂O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N₂O]

N_{fert} : quantidade de nitrogênio em fertilizantes aplicados [tonelada de N]

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

N_{outros} : quantidade de outros fertilizantes nitrogenados 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 N₂O por fertilizantes sintéticos [0,01 kg N-N₂O por kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

FERTILIZANTES SINTÉTICOS APLICADOS AO CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO

A metodologia atual do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e) também contempla uma equação específica para estimar as emissões de N₂O associadas ao uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo de arroz inundado ($E_{FSNArroz}$). A estimativa é realizada em três etapas:

- **Etapla 1:** cálculo da quantidade de N aplicada

$$N_{FertmunArroz} = A_{arroz irrigado mun} \times N_{ha} \times 0,001$$

Equação 47

- **Etapla 2:** estimativa das emissões por tipo de fertilizante

$$E_{UreiaArroz} = \left(N_{Fertmunarroz} \times (1 - FRAC_{GASF(Ureia)}) \right) \times EF_{1FR} \times F_c \times 0,001 \times EF_{pyUreia}$$

Equação 48

$$E_{OutrosArroz} = \left(N_{Fert\ mun\ arroz} \times (1 - FRAC_{GASP(Outros)}) \right) \times EF_{1FR} \times F_c \times 0,001 \\ \times EF_{pyOutros}$$

Equação 49

- **Etapa 3:** Emissão total para arroz irrigado

$$E_{FSNArroz} = E_{UreiaArroz} + E_{OutrosArroz}$$

Equação 11

Onde:

$E_{FSNArroz}$: emissão de N₂O do uso de fertilizantes nitrogenados da cultura de Arroz Irrigado, resultante das emissões de Ureia e Outros [Gg de N₂O];

$A_{arrozirrigadomun}$: área de arroz sob regime inundado [ha];

N_{ha} : quantidade de nitrogênio aplicado por área [70 kg N/ha];

$N_{Fert\ mun\ Arroz}$: quantidade de fertilizante nitrogenado da cultura de Arroz Irrigados [ton];

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

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

EF_{1FR} : fator de emissão direta de N₂O por fertilizantes sintéticos [0,003 kg N-N₂O por kg de N aplicado]

$EF_{pyUreia}$: valor constante para ureia

$EF_{pyOutros}$: valor constate para outros

EMIÇÃO TOTAL POR FERTILIZANTES SINTÉTICOS

A emissão total de N₂O proveniente do uso de fertilizantes sintéticos é dada pela soma das emissões gerais e das emissões específicas para o cultivo de arroz irrigado:

$$E_{FSN\ Total} = E_{FSN} + E_{FSN\ Arroz}$$

Equação 51

Onde:

$E_{FSN\ Total}$: emissão de total de N₂O do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados e de fertilizantes nitrogenados da cultura de Arroz Irrigados (Gg de N₂O);

QUANTIDADE DE N APLICADA VIA FERTILIZANTES SINTÉTICOS (N_{FERT})

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

A estimativa das emissões diretas de N_2O por fertilizantes sintéticos baseia-se na quantidade de nitrogênio (N) aplicada ao solo por estado.

A principal fonte de dados utilizada foi o Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, publicado pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), que reúne informações o volume de fertilizantes entregues ao consumidor no Brasil. Como esses dados não são de acesso público, foram consultadas as versões impressas disponíveis na Biblioteca de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, abrangendo o período de 1986 a 2024.

Para os anos anteriores a 1986, os dados estaduais não estão disponíveis nos anuários da ANDA. Por isso, foi utilizada como referência a quantidade aparente de N consumido via fertilizantes agrícolas no Brasil, conforme apresentada na página 250 do livro Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade (LOUREIRO et al., 2009), que cobre o período de 1980 a 2004. A estimativa seguiu duas etapas:

- **Etapla 1:** Cálculo da proporção média de consumo de fertilizantes nitrogenados por estado, com base nos dados disponíveis entre 1986 e 1989. Esse intervalo foi escolhido por representar os primeiros anos da década de 1980 com dados estaduais disponíveis, e a média foi utilizada para minimizar distorções causadas por anos atípicos ou variações conjunturais na produção agrícola.
- **Etapla 2:** Multiplicação da proporção de cada estado pela quantidade total de fertilizantes nitrogenados consumidos pelo Brasil em LOUREIRO, *et.al*/(2009).

Para o período de 1986 a 2004, os anuários da ANDA apresentam os dados da região Norte de forma agregada. Para desagregar esses valores por estado, foram adotadas as seguintes etapas:

- **Etapla 1:** Cálculo da proporção média de utilização de fertilizantes nitrogenados de cada estado (Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá) em relação ao total da região, no período 2005 a 2010.
- **Etapla 2:** Aplicação da proporção obtida de cada estado ao valor total da região Norte para cada ano de 1986 a 2004, estimando-se, assim, o consumo anual de fertilizantes nitrogenados nesse período.

Uma vez que o estado do Mato Grosso do Sul (MS) passou a existir a partir de 1979, os valores anuais estimados para os estados de MT e MS no período de 1970 a 1978 foram alocados ao MT.

Após a estimativa da quantidade anual de fertilizantes sintéticos nitrogenados de cada estado, os dados foram divididos em dois grupos: ureia e “outros” fertilizantes

nitrogenados (i.e: sulfato de amônio e nitrato de amônio). Essa divisão foi feita com base nas proporções descritas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), considerando as diferentes taxas de volatilização de NH₃ e NO_x associadas a cada tipo de fertilizante.

No caso de cultivo de arroz irrigado, para estimar as emissões estaduais de N₂O associadas ao uso de fertilizantes sintéticos, foi utilizada a área ocupada por essa cultura, conforme dados empregados para estimar as emissões de CH₄. A quantidade de nitrogênio aplicada foi obtida multiplicando-se a área de arroz inundado por 70 kg de N por hectare (kg N/ha), valor médio recomendado para os tipos de solos incluídos no cálculo do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Os dados disponibilizados pela ANDA estão disponíveis apenas em uma base estadual. Portanto, para o levantamento da quantidade de fertilizante sintético utilizado por município foi realizada uma estimativa com base nas etapas apresentadas a seguir:

Etapas 1: estimativa das quantidades produzidas de cana-de-açúcar, milho e algodão. Essas são culturas representativas em termos de produção e uso de fertilizantes sintéticos.

$$N_{fertmun} = \frac{[(Cana_{mun} + Milho_{mun} + Algodão_{mun}) \times N_{fertest}]}{(Cana_{est} + Milho_{est} + Algodão_{est})}$$

Equação 52

Onde:

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$N_{fertest}$: quantidade de fertilizante sintético usado por estado [tonelada de fertilizante]

$Cana_{mun}$ e $Cana_{est}$: quantidade produzida de cana-de-açúcar por município e estado, respectivamente [ton]

$Milho_{mun}$ e $Milho_{est}$: quantidade produzida de milho por município e estado, respectivamente [ton]

$Algodão_{mun}$ e $Algodão_{est}$: quantidade produzida de algodão por município e estado, respectivamente [ton]

Os dados da produção de cana-de-açúcar, milho e algodão municipais e estaduais foram extraídos da Tabela 5457 do SIDRA (IBGE, 2024a).

Etapas 2: Estimativa da quantidade de ureia por município por meio da equação:

$$Ureia_{mun} = N_{fertmun} \times PROP_{ureia}$$

Equação 53

Onde:

$Ureia_{mun}$: quantidade de ureia utilizada por município [ton]

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$PROP_{ureia}$: é a proporção de ureia em relação ao total de fertilizante sintético [%]

A proporção de ureia em relação ao total de fertilizante sintético $PROP_{ureia}$ utilizado no cálculo é a mesma do estado correspondente.

Etapa 3: estimativa da quantidade de outros fertilizantes por município, através da equação:

$$Outros_{mun} = N_{fertmun} \times PROP_{outros}$$

Equação 54

Onde:

$Outros_{mun}$: quantidade de outros fertilizantes utilizados por município [ton]

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$PROP_{outros}$: é a proporção de outros fertilizantes em relação ao total de fertilizante sintético [%]

A proporção de outros fertilizantes em relação ao total de fertilizante sintético $PROP_{ureia}$ utilizado no cálculo é a mesma do estado correspondente.

Para o cálculo das emissões de N_2O municipais devido ao consumo de fertilizantes sintéticos para o cultivo de arroz irrigado foi utilizada a área ocupada de acordo com os dados levantados para o cálculo das emissões de CH_4 provenientes do cultivo de arroz. Na sequência, assim como para os dados estaduais, o valor da área de arroz inundado por município foi multiplicado por 70 kg de N por hectare (kg N/ha), valor médio considerado como recomendado para os tipos de solos incluídos no cálculo do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

FATORES DE PERDA DE N POR VOLATILIZAÇÃO

No cálculo das emissões diretas de N_2O por fertilizantes sintéticos, foram considerados os seguintes fatores de perda de nitrogênio por volatilização: 30% por kg de ureia aplicada ao solo e de 10% por kg de outros fertilizantes nitrogenados, de acordo com o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

FATOR DE EMISSÃO DE N_2O (EF_1)

O fator de emissão de N_2O adotado foi de 1% por kg de ureia e outros fertilizantes aplicados ao solo, ou seja 0,01 kg $N-N_2O$ /kg de N aplicado, após descontar o N perdido por volatilização de NH_3 e NO_x , como mostra a fórmula acima (BRASIL, 2020e).

É importante mencionar que o fator de emissão de N_2O adotado pela metodologia empregada pelo (BRASIL, 2020e), de 1%, é menor que o fator proposto pelo IPCC (1996), de 1,25%. Segundo o Relatório de Referência (BRASIL, 2020e), esse fato se deve ao desenvolvimento de pesquisas sob condições nacionais que sugerem emissões de N_2O pela aplicação de fertilizantes nitrogenados menores que o proposto pelo IPCC.

Já os fatores de emissão específicos de ureia ($EF_{pyUreia}$) e outros fertilizantes ($EF_{pyOutros}$) para a estimativa das emissões provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo de arroz sob regime inundado são fatores agregados de emissão, estimados com base nos valores finais de emissão reportados no 4º Inventário Nacional e nos dados de atividades especificados para uso no cálculo.

2.5.5 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

As emissões diretas de N₂O por resíduos de culturas agrícolas por ano, estado e município foram estimadas com base na metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

Dada a diversidade de culturas e disponibilidade de dados específicos, as culturas foram agrupadas em grupos:

- Grupo 1: soja, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, algodão, fumo, mamona, tomate, abacaxi, melancia, melão, alho, cebola, juta, linho, malva, rami, tritcale.
- Grupo 2: amendoim, aveia, centeio, cevada, sorgo, ervilha, fava, batata-doce, batata-inglesa, girassol.
- Outras: cana-de-açúcar e pastagens, que possuem equações específicas.

Sendo assim, a emissão direta total de N₂O por resíduos agrícolas será a soma das emissões das categorias supracitadas.

$$ET_{N_2O} = Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o_{FCR2(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N_2O}} + Emiss\tilde{a}o_{F_{crPastagens}}$$

Equação 55

Onde:

ET_{N_2O} : emissão direta total de N₂O dos resíduos agrícolas [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N_2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{FCR2(N_2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N_2O}}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{F_{crPastagens}}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de N₂O]

Para a obtenção das estimativas de emissões dos Grupos 1 e 2, cana-de-açúcar e pastagens foram aplicadas as etapas a seguir:

Etapla 1: nessa etapa são obtidos os valores referentes ao rendimento fresco de cada uma das culturas dos Grupos 1 e 2, conforme equação a seguir:

$$Colheita_{Fresca} = (P \times 1000) \div \acute{A}rea_{Colhida}$$

Equação 56

$$CROP = Colheita_{Fresca} \times DRY$$

Equação 57

Onde:

$Colheita_{Fresca}$: rendimento fresco colhido para a cultura [kg matéria fresca/ha]

P : produção da cultura [ton]

$\text{Área}_{Colhida}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

DRY : fração de matéria seca da safra colhida T [kg matéria seca/kg de peso fresco]

As frações de matéria seca da safra colhida estão disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 2: nessa etapa é obtida a produção de matéria seca da parte aérea (AG_{DM}). Para o cálculo do AG_{DM} é necessário realizar duas rotas de cálculo, uma para o Grupo 1 e outra para o Grupo 2, a nível municipal. **Grupo 1:**

$$AG_{DM} = CROP \times R_{AG}$$

Equação 58

Grupo 2:

$$AG_{DM} = (CROP \div 1000) \times slope + intercept$$

Equação 59

Onde:

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha];

R_{AG} : razão de matéria seca de resíduos acima do solo ($AG_{DM(T)}$) para o rendimento colhido seco para a cultura ($CROP$), [kg matéria seca/kg matéria seca]

$Slope$ e $Intercept$: constantes definidas pelo IPCC (2006) de inclinação e interceptação

A razão entre o resíduo seco e o produto colhido seco (R_{AG}) foi obtida no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 3: nessa etapa são calculadas a entrada de nitrogênio no solo por resíduos das culturas e renovação das pastagens.

Grupo 1:

$$F_{CR1} = (\text{Área}_{Colhida} \times AG_{DM} \times N_{AG}) + (\text{Área}_{Colhida} \times (AG_{DM} + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 60

Grupo 2:

$$F_{CR2} = (\text{Área}_{Colhida} \times AG_{DM} \times 1000 \times N_{AG}) + (\text{Área}_{Colhida} \times (AG_{DM} \times 1000 + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 61

Onde:

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

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

$\text{Área}_{\text{colhida}}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [kg matéria seca/kg matéria seca]

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

Cana-de-açúcar:

Para a cana-de-açúcar foi descontada a fração de N que oxida quando o canavial é queimado, tendo como referência o procedimento metodológico e os dados utilizados na estimativa de emissões na queima de resíduos agrícolas (BRASIL, 2020e).

Para as emissões resíduos agrícolas de cana-de-açúcar foram utilizadas equações de acordo com a interpretação da rota proposta pela metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Destaca-se a necessidade de aprimorar essa estimativa, assim obtendo resultados mais alinhados com os reportados no Relatório de Referência. A estimativa foi realizada através da aplicação das seguintes equações:

$$F_{CR1} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times N_{AG}$$

Equação 62

$$F_{CR2} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG}$$

Equação 63

Onde:

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

P : produção da cultura [ton];

$\frac{RESDM}{CROPDM}$: razão entre resíduo seco e produto seco da cana-de-açúcar [0,187];

$\%Cm$: porcentagem de colheita manual em que ocorre queima dos resíduos [%];

DRY : fração de matéria seca da safra colhida [0,79 kg matéria seca/kg de peso fresco];

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca];

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [0,1 kg matéria seca/kg matéria seca];

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca]

Etapla 4: nessa etapa são realizados os cálculos das emissões de N_2O para os Grupos 1, 2, cana-de-açúcar e pastagens.

Grupo 1:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N2O)} = F_{CR1} \times EF_1 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 64

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

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

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

EF_1 : fator de emissão de N₂O [kg N-N₂O/kg N no resíduo cultural]

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

Grupo 2:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR2(N2O)} = F_{CR2} \times EF_1 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 65

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCR2(N2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

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

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

EF_1 : fator de emissão de N₂O [kg N-N₂O/kg N no resíduo cultural]

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

Cana-de-açúcar:

$$Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N2O}} = (F_{CR1} + F_{CR2}) \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 66

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N2O}}$: emissão direta total de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1}$ e $Emiss\tilde{a}o_{FCR2}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

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

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

Pastagens:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCRPastagens} = EF_{py} \times A_{MunPastagens} \times EF_1 \times F_c \times 0,000001$$

Equação 67

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCRPastagens}$: emissão direta de N₂O da renovação das pastagens [Gg de N₂O];

EF_{py} : fator de emissão proxy de 1970 até 2024 [ton N/ha];

$A_{MunPastagens}$: área de pastagens no nível municipal [ha];

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

EF_1 : fator de emissão de N₂O [kg N- N₂O por kg N no resíduo da cultura];

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO AGRÍCOLA (P)

Os dados de produção agrícola e áreas de plantio das culturas a nível municipal e estadual foram extraídos da Tabela 5457 da Pesquisa PAM (IBGE, 2024a), para o período de 1974 a 2024.

Para os anos de 1970 a 1973, como não há dados municipais disponíveis na PAM, foram utilizados os valores nacionais de produção agrícola, disponibilizados pela FAO (UN, 2021b). A desagregação de estados e municípios foi realizada com base na proporção de produção e área colhida observada em 1974, assumindo que a distribuição espacial nesse ano é representativa do período anterior.

FATORES DE EMISSÃO DE N_2O E DEMAIS VARIÁVEIS

Os parâmetros necessários para o cálculo das emissões de N_2O por resíduos agrícolas (DRY , R_{ag} , N_{AG} , R_{BG-BIO} e N_{BG}) foram extraídos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Para o cálculo das emissões diretas de N_2O por resíduos de culturas agrícolas, utilizou-se um fator de emissão direta de N_2O (EF_1) de 0,01 kg de N_2O /kg de N que retorna ao solo via resíduos vegetais, de acordo com o Relatório de Referência (BRASIL, 2020d).

2.5.6 SOLOS ORGÂNICOS

As emissões diretas de N₂O provenientes do manejo de solos orgânicos cultivados resultam da oxidação da matéria orgânica e de processos microbiológicos desencadeados pelo uso agrícola. A estimativa dessas emissões seguiu a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme a equação a seguir:

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

Equação 12

Onde:

E_{SO} : emissões de solos orgânicos [Gg de N₂O]

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

EF_2 : fator de emissão de N₂O [9,41 kg de N₂O/ha cultivado]

EF_{py} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha cultivado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA CULTIVADA DE ORGÂNICOS (A_{SC})

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

A estimativa de emissões diretas de N₂O por solos orgânicos, baseia-se na área de organossolos sob algum tipo de manejo (agricultura, pastagem ou reflorestamento) em cada estado. Segundo o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções, o Brasil possui 0,96 milhão de hectares de solos orgânicos, distribuídos em 20 estados. A divisão estadual dessas áreas foi obtida a partir do Relatório de Referência (BRASIL, 2020e) e complementada com as informações da publicação de CANTO *et.al* (2020), que detalha as áreas totais de cada estado de solos orgânicos sob uso agrícola, pastagens e reflorestamento, sendo aplicado o fator de emissão agregado EF_{py} correspondente ao tipo de uso da terra, resultando na estimativa estadual de emissões de N₂O por solos orgânicos manejados.

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Como não existem dados diretos da área de solos orgânicos por município, a estimativa municipal foi realizada por meio da proporção territorial, utilizando a equação a seguir:

$$E_{mun} = \left(\frac{A_{mun} \times A_{man_est}}{A_{est}} \right) \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 69

Onde:

E_{mun} : emissões municipais de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A_{mun} : área territorial do município [ha];

A_{est} : área territorial do estado [ha];

A_{man_est} : área estadual de solos orgânicos manejados [ha];

EF_{py} : fator de emissão estadual de N₂O [kg de N₂O/ha cultivado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

FATOR DE EMISSÃO DE N₂O

Para o cálculo de emissões diretas dos solos orgânicos utilizou-se o fator médio de emissão de N₂O para solos orgânicos (EF_2) cultivados, que resultou na emissão N₂O por hectare de organo solo cultivado (BRASIL, 2020e), valor médio utilizado no 4º Inventário Nacional.

2.5.7 MINERALIZAÇÃO DE N ASSOCIADO À PERDA DE CARBONO NO SOLO

A estimativa das emissões diretas de N₂O pela mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme equação a seguir:

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

Equação 7013

Onde:

E_{Mi} : emissões de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A : área [ha]

EF_1 : fator de emissão de N₂O [0,01 kg de N₂O/ha]

EF_{py} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA (A)

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

A estimativa das emissões diretas de N₂O por mineralização de nitrogênio (N) associada à perda de carbono no solo baseia-se na área de solos sob uso agrícola, pastagens ou reflorestamento em cada estado. O 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020), utiliza mapas nacionais de solos e usos da terra para calcular essas áreas, considerando a série histórica de 1990 a 2016. Destaca-se a necessidade de aprimoramento na replicação da metodologia para que os valores para os anos mais recentes sejam estimados com precisão e a mesma robustez metodológica.

Essas emissões foram alocadas para os estados de acordo com a taxa de emissão por área estadual, aplicando o fator de emissão médio nacional (EF_1) e o fator de conversão (F_C), resultando na estimativa estadual de emissões de N₂O.

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Como não existem dados diretos da área com perda de carbono por município, a estimativa municipal foi realizada por meio de uma proxy baseada na proporção territorial, utilizando a equação a seguir:

$$E_{mun} = \left(\frac{A_{mun} \times A_{man_est}}{A_{est}} \right) \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 71

Onde:

E_{mun} : emissões municipais [Gg de N₂O]

A_{mun} : área territorial do município [ha]

A_{est} : área territorial do estado [ha]

A_{man_est} : área estadual sob manejo [ha]

EF_{py} : fator de emissão proxy municipal [kg de N₂O/ha]

F_C : fator de conversão de N para N₂O [44/28]

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

FATOR DE EMISSÃO DE N₂O

Para o cálculo de emissões diretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo utilizou-se o fator de emissão de N₂O (EF_1) cultivados, de 0,01 kg de N₂O por hectare (BRASIL, 2020e), valor médio utilizado no 4º Inventário Nacional.

2.5.8 EMISSÕES INDIRETAS DE N₂O VIA VOLATILIZAÇÃO E POSTERIOR DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

As emissões indiretas de N₂O relacionadas à volatilização ocorrem quando parte do nitrogênio aplicado ao solo ou presente nos dejetos animais é perdido na forma de NH₃ ou NO_x. Esses compostos, após serem transportados e depositados na superfície por processos atmosféricos, processo chamado de “deposição atmosférica”, sofrem transformações que resultam na formação de N₂O. Para estimar essas emissões, aplica-se um fator de volatilização (FRAC_{gasm}) e um fator de emissão indireta (EF₄), conforme metodologia do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). A seguir, são apresentadas as principais fontes associadas a esse processo e suas respectivas equações.

ADUBOS ORGÂNICOS

APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO COMO ADUBO ORGÂNICO

A torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira, contém nitrogênio que pode volatilizar após aplicação ao solo, gerando emissões indiretas de N₂O. Para a estimativa dessas emissões indiretas, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), de acordo com equação abaixo.

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

Equação 14

Onde:

E_{Tfin} : emissões de N₂O indiretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

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 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ 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 N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO DE TORTA DE FILTRO

A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa da emissão indireta de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

APLICAÇÃO DE ESTERCO COMO ADUBO ORGÂNICO

O esterco aplicado como adubo orgânico libera nitrogênio que volatiliza e, após deposição, contribui para emissões de N₂O. Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da aplicação direta de esterco no campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a equação a seguir.

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

Equação 15

Onde:

E_{Ein} : emissão indireta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

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

N_{ext} : 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 N₂O pela aplicação de esterco como adubo no campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL

As categorias animais consideradas incluem bovinos (touro > 2 anos, macho de corte > 2 anos não confinados, fêmea de corte > 2 anos não confinados, outros bovinos > 2 anos confinados, 1 < Bovinos < 2 anos, Bovinos < 1 ano e bovinos de leite alta e baixa produção), suínos (aleitamento/creche, engorda e reprodutores) e aves, conforme apresentado na Tabela 5.

Os dados estaduais e municipais de população animal foram obtidos pelo mesmo processo adotado para o cálculo das emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos animais.

FATORES DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram obtidos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões para o subsetor Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e subsetor de Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

DEPOSIÇÃO DE DEJETOS EM PASTAGEM

Parte do nitrogênio excretado diretamente pelos animais em pastagens volatiliza e, após deposição atmosférica, gera N₂O. Para a quantidade de N₂O gerado de forma indireta, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a seguinte equação a seguir.

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

Equação 16

Onde:

E_{DPin} : emissões indiretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N₂O];

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 [%];

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

EF_4 : fator de emissão indireta de N₂O pela deposição de dejetos no campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

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

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

As categorias animais consideradas incluem vacas leiteiras, bovinos de corte (touro, jovens, bezerros, machos > 2 anos não confinados e fêmeas > 2 anos não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muare e asininos, conforme Tabela 4.

Tanto para os dados de atividade estaduais quanto para as municipais foram utilizadas as populações obtidas para o cálculo das emissões de Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS:

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N₂O, bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

FERTILIZANTES NITROGENADOS SINTÉTICOS

Fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo liberam parte do nitrogênio na forma de gases (NH_3 e NO_x), que após deposição atmosférica são convertidos em N_2O , contribuindo para emissões indiretas. Para estimar essas emissões, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a equação apresentada a seguir.

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

Equação 175

Onde:

E_{FSNin} : emissões indiretas 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

Diferentemente das emissões diretas que contemplam a cultura de arroz irrigado no cálculo das emissões, nas emissões indiretas não há contribuição da cultura de arroz irrigado. Isso porque como o crescimento do arroz se dá em meio aquoso, não há deposição atmosférica.

DADOS DE ATIVIDADE: QUANTIDADE DE N APLICADA VIA FERTILIZANTES SINTÉTICOS (N_{FERT})

O dado básico necessário à estimativa de emissões indiretas por fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados ao solo é o volume de nitrogênio (N) aplicado ao solo como fertilizante. As informações utilizadas a nível estadual e municipal no cálculo da emissão indireta de N_2O são as mesmas que as obtidas para o cálculo das emissões diretas.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N_2O , bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

2.5.9 Emissões indiretas de N₂O via lixiviação/escoamento superficial

As emissões indiretas de óxido nitroso (N₂O) relacionadas à lixiviação ocorrem quando parte do nitrogênio aplicado ao solo é transportado pela água para camadas mais profundas ou corpos d'água, onde ocorre a formação de N₂O. Como esse processo depende das características do solo, o 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e) construiu mapas para os anos 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016, indicando as áreas do território nacional sujeitas à lixiviação.

Como esses mapas estão em escala estadual, para o cálculo das emissões indiretas de N₂O dos municípios foi necessário aplicar um fator de normalização, garantindo que a soma das estimativas municipais seja igual ao total estadual do Inventário. A equação a seguir apresenta o cálculo aplicado para a normalização das emissões municipais.

$$E_{Tin_{munajustado}} = \left(\frac{\text{Emissão Total Inventário}_{estadual}}{\text{Emissão Total Estimada}_{estadual}} \right) \times \text{Resultado Estimado}_{município}$$

Equação 18

Onde:

$E_{Tin_{ajustado}}$: emissão indireta total de N₂O por município das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo normalizadas;

$\text{Emissão Total Inventário}_{estadual}$: emissão indireta total de N₂O por estado das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, calculadas no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e);

$\text{Emissão Total Estimada}_{estadual}$: emissão indireta total de N₂O por estado das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, estimadas pelo SEEG;

$\text{Resultado Estimado}_{município}$: emissão indireta total de N₂O por município das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, estimadas pelo SEEG

Como os dados do 4º Inventário Nacional estão disponíveis apenas para alguns anos, para o período de 1970 a 1989 foi aplicada a normalização com base nos dados de 1990. Já para o período de 2017 a 2024 foi aplicada a normalização com base nos dados de 2016.

Para estimar as emissões indiretas, aplica-se um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$) e um fator para emissão indireta (EF_5), conforme metodologia do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). A seguir, são apresentadas as principais fontes associadas a esse processo e suas respectivas equações.

ADUBOS ORGÂNICOS

APLICAÇÃO DE VINHAÇA COMO ADUBO ORGÂNICO

A vinhaça contém nitrogênio que, após aplicação ao solo, pode ser lixiviado para camadas mais profundas ou transportado por escoamento superficial para corpos d'água, onde ocorre a formação de N₂O. Para a estimar as emissões indiretas de N₂O pela aplicação de vinhaça ao solo, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a equação a seguir.

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

Equação 197

Onde:

E_{Vin} : emissões de N₂O indiretas pela aplicação de vinhaça ao campo [Gg de N₂O]

P_E : produção de etanol [mil m³]

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/m³ de vinhaça]

10³: fator de conversão de m³ para L

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

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de vinhaça ao campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10⁻⁶: fator de conversão de kg para Gg

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO DE VINHAÇA

A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa da emissão indireta de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO COMO ADUBO ORGÂNICO

A torta de filtro possui nitrogênio que pode ser transportado pela água após aplicação, através de processos de lixiviação e escoamento, com geração de N₂O. Para dessas emissões indiretas de N₂O, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), de acordo com equação abaixo.

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

Equação 208

Onde:

E_{Tfin} : emissões de N₂O indiretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

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 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ 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 N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO DE TORTA DE FILTRO

A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa das emissões indiretas de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

APLICAÇÃO DE ESTERCO COMO ADUBO ORGÂNICO

O esterco aplicado ao solo libera nitrogênio que pode ser removido por lixiviação ou escoamento, alcançando ambientes onde ocorre a formação de N₂O. Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da aplicação direta de esterco no campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a equação a seguir.

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

Equação 7921

Onde:

E_{Ein} : emissão indireta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

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 N₂O pela aplicação de esterco no campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL

As categorias animais consideradas no cálculo das emissões provenientes da aplicação de esterco no campo são aquelas apresentadas na Tabela 4 e o processo de obtenção dos dados estaduais e municipais seguem as metodologias apresentadas nos subsetores de fermentação entérica e manejo de dejetos animais.

FATORES DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram obtidos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões para o subsetor Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e subsetor de Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

DEPOSIÇÃO DE DEJETOS

Parte do nitrogênio excretado diretamente pelos animais em pastagens pode ser transportado pela água por lixiviação ou escoamento, contribuindo para emissões indiretas de N₂O. Para a estimativa dessas emissões indiretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais no campo como adubo orgânico foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a seguinte equação a seguir.

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

Equação 8022

Onde:

E_{DPin} : emissões indiretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N₂O];

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 N₂O pela deposição de dejetos [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

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

DADOS DE ATIVIDADE: POPULAÇÃO ANIMAL (N_T)

As categorias animais consideradas seguem aquelas apresentadas na Tabela 4. Tanto para os dados de atividade estaduais quanto para as municipais foram utilizadas as populações obtidas para o cálculo das emissões de Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N₂O, bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

FERTILIZANTES NITROGENADOS SINTÉTICOS

O nitrogênio presente nos fertilizantes sintéticos aplicados ao solo pode ser perdido por lixiviação ou escoamento, chegando a locais onde ocorre a formação de N₂O. Para a estimativa das emissões indiretas por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a equação apresentada a seguir.

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

Equação 23

Onde:

E_{FSN} : emissões diretas de N₂O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N₂O]

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 N₂O pelo uso de fertilizantes sintéticos [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

Diferentemente das emissões diretas que contemplam a cultura de arroz irrigado no cálculo das emissões, nas emissões indiretas não há contribuição da cultura de arroz irrigado. Isso porque como o crescimento do arroz se dá em meio aquoso, não há deposição atmosférica.

DADOS DE ATIVIDADE: QUANTIDADE DE N APLICADA VIA FERTILIZANTES SINTÉTICOS (N_{FERT})

A quantidade de fertilizantes sintéticos aplicados ao solo utilizado para o cálculo das emissões indiretas corresponde ao mesmo valor obtido para o cálculo das emissões diretas.

FATOR DE EMISSÃO E DEMAIS VARIÁVEIS

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N₂O, bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

RESÍDUOS AGRÍCOLAS

As emissões indiretas de N₂O por resíduos agrícolas ocorrem quando parte do nitrogênio presente nos restos culturais é transportado por lixiviação ou escoamento superficial para camadas mais profundas ou corpos d'água, onde ocorre a formação de N₂O. Para a estimar essas emissões indiretas de N₂O por resíduos de culturas agrícolas por ano, estado e município foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

Assim como para o cálculo das emissões diretas, para o cálculo das emissões indiretas as culturas foram agrupadas em:

- Grupo 1: soja, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, algodão, fumo, mamona, tomate, abacaxi, melancia, melão, alho, cebola, juta, linho, malva, rami, triticale.
- Grupo 2: amendoim, aveia, centeio, cevada, sorgo, ervilha, fava, batata-doce, batata-inglesa, girassol.
- Categorias específicas: cana-de-açúcar e pastagens.

A emissão indireta total de N₂O por resíduos agrícolas será a soma das emissões das categorias supracitadas.

$$ETin_{N_2O} = Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR1(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR2(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ Cana_{N_2O} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ F_{crPastagens}$$

Equação 24

Onde:

$ETin_{N_2O}$: emissão indireta total de N₂O dos resíduos agrícolas [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR1(N_2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR2(N_2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ Cana_{N_2O}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ F_{crPastagens}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de N₂O]

O cálculo das emissões indiretas segue as mesmas etapas aplicadas para as emissões diretas, com ajustes específicos: inclusão do fator de lixiviação ($Frac_{lea}C_h(h)$) e substituição do fator de emissão direta pelo fator de emissão indireta (EF_5), conforme metodologia do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), conforme apresentado a seguir.

Ao chegar à etapa 4, na qual são realizados os cálculos finais das emissões de N₂O para os Grupos 1, 2, cana-de-açúcar e pastagens, inclui-se um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$) e a substitui-se do fator de emissão direta por um fator de emissão indireta (EF_5).

Na etapa 4, que corresponde ao cálculo final das emissões de N₂O para os Grupos 1 e 2, cana-de-açúcar e pastagens, inclui-se o fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$) e substitui-se o fator de emissão direta por um fator de emissão indireta (EF_5).

Grupo 1:

$$Emiss\tilde{a}o\,indireta_{FCR1(N2O)} = F_{CR1} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 25

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\,indireta_{FCR1(N2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

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 N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

Grupo 2:

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

Equação 26

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\,indireta_{FCR2(N2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

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 N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

Cana-de-açúcar:

$$Emiss\tilde{a}o\,indireta_{Cana_{N2O}} = (F_{CR1} + F_{CR2}) \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 27

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\,indireta_{Cana_{N2O}}$: emissão indireta total de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1}$ e $Emiss\tilde{a}o_{FCR2}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

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 N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

Pastagens:

$$Emiss\tilde{a}o\,indireta\,F_{CRPastagens} = EF_{py} \times A_{MunPastagens} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 28

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\,indireta\,F_{CRPastagens}$: emissão indireta de N₂O da renovação das pastagens [Gg de N₂O];

EF_{py} : fator de emissão proxy de 1970 até 2024 [ton N/ha];

$A_{MunPastagens}$: 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 N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

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

DADOS DE ATIVIDADE: PRODUÇÃO AGRÍCOLA (P)

Os dados de produção agrícola e áreas de plantio das culturas a nível municipal e estadual são os mesmos que os utilizados para o cálculo das emissões diretas.

FATORES DE EMISSÃO DE N₂O E DEMAIS VARIÁVEIS

Os parâmetros e fator de emissão necessários para o cálculo das emissões indiretas de N₂O por resíduos agrícolas que retornam ao solo foram extraídos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

MINERALIZAÇÃO DE N ASSOCIADO À PERDA DE CARBONO NO SOLO

Para estimativa das emissões indiretas de N₂O pela mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), na qual o fator de emissão (EF_{py-lix}) utilizado é um fator específico para a lixiviação, conforme equação a seguir.

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

Equação 29

Onde:

E_{Miin} : emissões indiretas de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A : área [ha]

EF_{py-lix} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha]

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

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O por mineralização de N associado à perda de carbono no solo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

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

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA (A)

Para a estimativa das emissões diretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) utilizou mapas dos biomas municipais, não sendo necessário a realização da alocação. Para a definição dos biomas dos municípios foi utilizada como base a sede administrativa.

FATOR DE EMISSÃO DE N₂O E DEMAIS VARIÁVEIS

Para o cálculo de emissões indiretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo foram utilizados as variáveis e fator de emissão disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.5.10 Calagem

A estimativa das emissões diretas de CO₂ decorrentes da aplicação de calcário agrícola, segue a metodologia descrita em MCTI (2024c), dada pela seguinte equação:

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

Equação 30

Onde:

E_{UC} : emissão de CO₂ de uso de calcário [Gg de CO₂]

U_c : quantidade de calcário utilizado [10³ toneladas]

EF : fator de emissão [0,477 t CO₂/t calcário dolomítico]

DADOS DE ATIVIDADE: CONSUMO DE CALCÁRIO

DADOS DE ATIVIDADE ESTADUAIS

Os dados de consumo de calcário foram obtidos através da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), seguindo a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

As informações correspondem ao consumo aparente de calcário por estado e estão disponíveis para o período de 1988 a 2024 (ABRACAL, 2021a e 2024b). Como a ABRACAL não disponibiliza o consumo aparente de calcário para todos os estados, os classificando como “Outros estados”. Para esses casos, o consumo de calcário do estado foi obtido através da multiplicação do consumo de Outros estados com a proporção da área plantada dos respectivos estados pela área total dos estados contidos na categoria “Outros estados”.

Para o período de 1970 a 1987 os dados de consumo aparente por estado foram obtidos por meio do cruzamento das informações de área plantada e área colhida por estado para o ano de 1988. A área plantada total do estado será igual ao somatório das áreas plantadas dos respectivos municípios. Para os anos de 1970 a 1973 os dados por estado foram extraídos do banco de dados da FAO (UN, 2021b) e para o período de 1974 a 1987 os dados foram extraídos da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2021a).

Ainda, os dados de áreas plantadas se baseiam nas áreas com cana-de-açúcar, culturas temporárias e permanentes, conforme relação a seguir, tendo isso aplicado um peso 3 para as culturas temporárias, peso 2 para a cana-de-açúcar e peso 1,5 para as culturas permanentes.

- Culturas temporárias (peso 3): abacaxi, algodão herbáceo (em caroço), alho, amendoim (em casca), arroz (em casca), aveia (em grão), batata-doce, batata-inglesa, cebola (em grão), centeio (em grão), cevada (em grão), ervilha (em grão), fava (em grão), feijão (em grão), fumo (em grão), girassol (em grão), juta (fibra), linho (semente), malva (fibra), mamona (baga), mandioca, melancia, melão, milho (em grão), rami (fibra), soja (em grão), sorgo (em grão), tomate, trigo (em grão) e triticale (em grão).
- Cana-de-açúcar (peso 2).
- Culturas permanentes (peso 1,5): abacate, algodão arbóreo (em caroço), açaí, azeitona, banana (cachos), borracha (látex coagulado), borracha (látex líquido), cacau (em amêndoa), café (em grão) total, caju, caqui, castanha de caju, chá-da-índia (folha verde), coco-da-baía, dendê (cachos de coco), erva-mate (folha verde), figo, goiaba, guaraná (semente), laranja, limão, maçã, mamão, manga, maracujá, marmelo, noz (fruto seco), palmito, pera, pêssego, pimenta-do-reino, sisal ou agave (fibra), tangerina, tungue (fruto seco), urucum (semente) e uva.

DADOS DE ATIVIDADE MUNICIPAIS

Os dados de atividade municipais se baseiam nas áreas plantadas da cana-de-açúcar, das culturas temporárias e permanentes, conforme relação apresentada dos dados de atividade estaduais.

Para o período de **1988 a 2024**, a área total plantada do município será dada pela equação a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{Área plantada}_{\text{município (1988-2024)}} \\ &= \sum (\text{culturas temporárias} \times 3) + (\text{Cana-de-açúcar} \times 2) \\ &+ \sum (\text{culturas permanentes} \times 1,5) \end{aligned}$$

Equação 89

Para o período de 1970 a 1987, a área plantada municipal foi estimada pela equação:

$$\begin{aligned} & \text{Área plantada}_{\text{município (1970-1987)}} \\ &= \text{Proporção}_{\text{município1988}} \times \text{Área plantada}_{\text{estados1970-1987}} \end{aligned}$$

Equação 31

O consumo aparente de calcário do município será dado pela seguinte equação:

$$Uso\ calcário_{município} = \frac{Uso\ calcário_{estado} \times Área\ plantada_{município}}{Área\ plantada_{estado}}$$

Equação 91

FATOR DE EMISSÃO

O fator de emissão utilizado foi extraído do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.5.11 APLICAÇÃO DE UREIA

Esta categoria trata exclusivamente das emissões diretas CO₂ resultantes da aplicação de ureia como fertilizante. As emissões de N₂O associadas ao uso de ureia são abordadas separadamente no subsetor de Solos Manejados, conforme metodologia específica.

A estimativa das emissões diretas de CO₂ pela aplicação de ureia segue a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme equação abaixo:

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

Equação 32

Onde:

E_{AU} : emissão de CO₂ de aplicação de ureia [Gg de CO₂]

A_u : quantidade de ureia aplicada [toneladas]

EF : fator de emissão [1,63 tCO₂/t ureia aplicada]

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

DADOS DE ATIVIDADE: CONSUMO DE UREIA (A_u)

A quantidade de ureia aplicada é obtida a partir dos dados de consumo de fertilizantes sintéticos no campo. O processo de obtenção desse dado para estados e municípios é o mesmo utilizado para obtenção dos dados de atividade para o cálculo das emissões diretas de N₂O de fertilizantes sintéticos.

FATOR DE EMISSÃO

O fator de emissão utilizado foi extraído do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.6 EMISSÕES E REMOÇÕES NÃO CONTABILIZADAS NO INVENTÁRIO NACIONAL (NCI)

Além das emissões de GEE contempladas nos subsetores anteriores, o SEEG Agropecuária considera também fontes e sumidouros não contabilizados pelo Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas, referidos neste relatório como **NCI**. Essas estimativas incluem:

- Emissões e remoções de CO₂ por solos agrícolas, conforme o tipo de cobertura e manejo;
- Emissões de CH₄, N₂O, CO e NO_x oriundas da queima de áreas com pastagens.

2.6.1 EMISSÕES E REMOÇÕES PELOS SOLOS AGRÍCOLAS

Nas emissões e remoções pelos solos agrícolas foram consideradas as situações de cobertura do solo:

- Pastagens (baixo, médio e alto vigor);
- Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF);
- Sistema Agroflorestais (SAFs);
- Florestas plantadas;
- Lavouras, subdivididas em Sistema de Plantio Direto (SPD), Plantio Direto (PD) e Plantio Convencional (PC).

A distinção entre SPD e PD foi adotada de forma conservadora, com base em publicações técnicas, visando representar com maior precisão as práticas de manejo adotadas no campo. Neste cenário, na equação a seguir está representado o cálculo das emissões e remoções de carbono pelos solos agrícolas:

$$E_{NCI} = \sum (A \times EF \times 10^{-3})$$

Equação 9733

Onde:

E_{NCI} : emissão e remoção NCI [Gg de CO₂];

A : área [ha];

EF : fator de emissão [ton CO₂/ha];

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

O cálculo das emissões e remoções NCI foi realizado apenas para os estados e contempla o período de 1990 a 2024, devido à ausência de um detalhamento das informações por município, bem como de série histórica anterior a 1990 para todas as fontes de emissão e remoção.

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA (A)

As estimativas foram realizadas apenas em nível estadual, para o período de 1990 a 2024, devido à ausência de dados municipais e de séries históricas anteriores a 1990 para todas as categorias de cobertura do solo.

As fontes utilizadas para obtenção das áreas foram:

- Áreas de pastagens e florestas plantadas: Mapbiomas (Mapbiomas, 2025 – Coleção 10);
- Áreas de integração lavoura-pecuária-floresta: estimadas a partir de informações da Rede ILPF;

- Áreas com lavoura SPD, PD e PC: estimadas a partir do cruzamento de informações das tabelas 5457, 839, 1000, 1001 e 1002 da PAM (IBGE, 2024a), informações publicadas pela Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FBSPD, 2018) e artigos científicos.

FATOR DE EMISSÃO

A relação de fatores de emissão utilizados para os cálculos das emissões e remoções NCI, bem como suas respectivas fontes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 3– Relação de fatores de emissão e remoção NCI por cobertura do solo

CATEGORIA	FATOR DE EMISSÃO	REFERÊNCIA
Pastagem		
Baixo Vigor (Degradação Severa)	1,03	Maia et al., (2009)
Médio Vigor (Degradação Moderada)	0,11	Maia et al., (2009)
Alto Vigor (Bem Manejada)	-2,24	Maia et al., (2009)
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-5,51	Oliveira et al., (2024)
Florestas Plantadas	-0,81	Lima et al., (2006)
Lavouras		
Sistema Plantio Convencional	1,47	Costa Junior et al., (2013)
Lavoura sob Plantio Direto	-0,44	Costa Junior et al., (2013)
Lavoura sob Sistema Plantio Direto	-1,84	Cerri et al., (2007)

2.6.2 EMISSÕES PROVENIENTES DA QUEIMA DAS ÁREAS DE PASTAGEM

Na estimativa das emissões de CH₄, N₂O, óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO) pela queima de áreas com pastagem foi utilizada a metodologia proposta pelo IPCC (2006), de acordo com a equação:

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

Equação 98

Onde:

Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s}: emissão do tipo de gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) [Gg de gás];

Aq: área com pastagem em que ocorre a queima [ha];

BC: biomassa disponível para combustão relacionado às pastagens tropicais [ton/ha];

Cf: fator de combustão [0,35, adimensional];

EF: fator de emissão específico de cada gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) de matéria seca queimada [g/kg].

É importante ressaltar que as emissões de CO₂ originadas pela queima das áreas com pastagem, tal como para as áreas com cana-de-açúcar, são consideradas como biogênicas, portanto, não somadas às emissões totais do setor agropecuário.

DADOS DE ATIVIDADE: ÁREA QUEIMADA (*A_q*)

A área queimada utilizada no cálculo corresponde às áreas de pastagens que foram queimadas e permaneceram como pastagens, por bioma e por Unidade da Federação (UF). Os dados foram extraídos da prévia da Coleção do MapBiomass Fogo (2025), que identifica áreas queimadas com base em séries temporais de imagens de satélite.

FATORES DE CONVERSÃO E DE EMISSÃO

A quantidade de biomassa disponível para queima nas áreas de pastagens que permaneceram como pasto (*BC*) foi obtida a partir dos valores reportados pelo 4º Inventário Nacional, referente ao setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, o qual indica por bioma o estoque de carbono acima e abaixo do solo nas áreas de pastagens.

Para converter os estoques de carbono em biomassa total, foi aplicado o fator de conversão 2. Para determinar somente a biomassa acima do solo, utilizou-se o fator de expansão para biomassa de subterrânea de 1,6 vezes maior do que a biomassa acima do solo, de acordo com o método de cálculo do IPCC (2006). Assim, a partir das taxas apresentadas pelo relatório referencial do setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MCTI, 2020f), foram empregados os seguintes estoques de biomassa acima do solo:

Tabela 8 - Estoques de carbono e biomassa acima do solo em áreas de pastagem por bioma no Brasil

Área de pasto por Bioma	Estoque de C em pastagem	Estoque de biomassa acima do solo em pastagem
	(tC/ha)	(t/ha)
Amazônia	10,00	7,69
Caatinga	1,19	0,92
Cerrado	7,57	5,82
Mata Atlântica	2,60	3,25
Pampa	7,57	5,82
Pantanal	7,57	5,82

Fonte: MCTI, 2020f.

Para os fatores de emissão por biomassa queimada (g/kg) foram utilizados os fatores para os gases CO₂, CO, CH₄, N₂O, e NO_x, de acordo com o indicado pelo IPCC (2006) para a categoria de savana e pastagens.

3. EMISSÕES EQUIVALENTES EM CO₂

Para expressar as emissões dos diferentes GEE em uma unidade comum, utiliza-se o conceito de emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e). Duas abordagens são frequentemente adotadas para essa conversão:

- GWP (Global Warming Potential): representa o potencial de aquecimento global de um gás em relação ao CO₂, considerando sua influência no balanço energético da Terra.
- GTP (Global Temperature Change Potential): representa o impacto relativo de um gás no aumento da temperatura média global.

Ambas abordagens consideram um horizonte de tempo de 100 anos e são utilizadas para facilitar a comparação entre os diferentes GEE. O GWP é a métrica mais amplamente utilizada em inventários e relatórios climáticos, sendo adotada como padrão pelo IPCC em seus Assessment Reports.

A seguir, são apresentadas as equações utilizadas para conversão das emissões em CO₂e:

- **Conversão por GWP**

$$\text{Emissão } CO_2e_{GWP} = \sum [(CO_2 \times GWP_{CO_2}) + (CH_4 \times GWP_{CH_4}) + (N_2O \times GWP_{N_2O})]$$

Equação 99

Onde:

$Emissão_{CO_2e_{GWP}}$ = emissão de gases de efeito estufa em equivalentes de CO₂ (CO₂e) de acordo com *Global Warming Potential* (GWP) [Gg CO₂e]

CO_2 : emissão de CO₂ calculadas [Gg de CO₂]

CH_4 : emissão de CH₄ calculadas [Gg de CH₄]

N_2O : emissão de N₂O calculadas [Gg de N₂O]

GWP_{CO_2} : fator de conversão das emissões de CO₂ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

GWP_{CH_4} : fator de conversão das emissões de CH₄ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

GWP_{N_2O} : fator de conversão das emissões de N₂O em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

- **Conversão por GTP**

$$\text{Emissão } CO_2e_{GTP} = \sum [(CO_2 \times GTP_{CO_2}) + (CH_4 \times GTP_{CH_4}) + (N_2O \times GTP_{N_2O})]$$

Equação 34

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{CO_2e_{GTP}}$ = emissão de gases de efeito estufa em equivalentes de CO₂ (CO₂e) de acordo com *Global Temperature Potential* (GTP) [Gg CO₂e]

CO_2 : emissão de CO₂ calculadas [Gg de CO₂]

CH_4 : emissão de CH₄ calculadas [Gg de CH₄]

N_2O : emissão de N₂O calculadas [Gg de N₂O]

GTP_{CO_2} : fator de conversão das emissões de CO₂ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

GTP_{CH_4} : fator de conversão das emissões de CH₄ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

GTP_{N_2O} : fator de conversão das emissões de N₂O em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 9).

A Tabela 9 apresenta os fatores de conversão utilizados para os gases CH₄ e N₂O em relação ao CO₂, conforme os diferentes Assessment Reports do IPCC.

Tabela 9 - Equivalência dos gases CH₄ e N₂O em relação ao CO₂ em termos de Potencial de Aquecimento Global (GWP-100) e Potencial de Mudança na Temperatura Global (GTP-100) - (IPCC, 1995, 2007, 2013, 2021).

Gás	GWP-AR2	GWP-AR4	GWP-AR5	GWP-AR6
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	21	25	28	27
N ₂ O	310	298	265	273
Gás	GTP-AR2	GTP-AR4	GTP-AR5	GTP-AR6
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	5	5	4	4,7
N ₂ O	270	270	234	233

Adicionalmente, as emissões de CO e NO_x geradas pela queima de resíduos agrícolas não são de reporte obrigatório, elas foram reportadas em Gg de CO e Gg de NO_x, respectivamente, sendo apresentadas a parte das demais estimativas.

4. QUALIDADE DE DADOS

Dada a complexidade dos cálculos necessários para consolidar o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa e devido à opção de usar apenas dados disponíveis de forma pública e gratuita, considerou-se necessário divulgar uma avaliação da qualidade dos dados através de alguns critérios (tabela abaixo). Assim, qualquer usuário ou leitor pode aferir a confiabilidade de cada cálculo e, eventualmente, contribuir para aumentar a robustez dos dados.

4.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Na Figura 2 a seguir são apresentados os critérios de avaliação para qualificação dos dados utilizados para o cálculo das emissões de GEE do setor agropecuário pelo SEEG para o período de 1970 a 2024.

Figura 1 – Critérios de avaliação dos dados

Aspecto	Valores
TIER	1 Tier 1 do IPCC - fatores globais 2 Tier 2 do IPCC - fatores nacionais ou regionais 3 Tier 3 do IPCC - fatores específicos por planta
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 2o inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados. 2 dados incompletos 3 dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 dados disponíveis de forma pública e gratuita 2 dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica) 3 dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 fator explícito, com referência 2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7 3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7
NECESSIDADE APRIMORAMENTO	1 sem necessidade de aprimoramento 2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo 3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DO DADO	1 dado confiável; capaz de reproduzir 2o inventário 2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas 3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS

A Figura 3 apresenta a qualidade dos dados utilizados para os cálculos das emissões de GEE do setor agropecuário em nível nacional (resultados em GWP AR5 – toneladas). Nota-se que a grande maioria dos dados utilizados apresentam boa qualidade (1) para padrão de inventário. Os comentários relativos aos motivos das classificações de número (2) e (3) podem ser encontrados na planilha de qualificação dos dados disponível no website do SEEG.

Figura 2 – Análise da qualidade dos dados a nível nacional

Setor/ Sub-Sector / Categorias	Ocorrência de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade		Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral da Alocação	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
			Existência do Dado	Disponibilidade do Dado						
Agropecuária							27%	626.045.716	97%	100%
Cultivo do Arroz										
Arroz	1	1	2	1	2	1	0,44%	10.022.890	1,60%	1,60%
Fermentação Entérica										
Asinino	1	1	2	1	1	1	0,01%	123.691	0,02%	0,02%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,12%	2.779.923	0,44%	0,44%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,08%	1.860.998	0,30%	0,30%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,13%	2.874.116	0,46%	0,46%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	15,52%	355.032.125	56,71%	56,71%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	1,61%	36.755.793	5,87%	5,87%
Muar	1	1	2	1	1	1	0,01%	280.399	0,04%	0,04%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,13%	3.060.726	0,49%	0,49%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,05%	1.229.614	0,20%	0,20%
Manejo de Dejetos Animais										
Asinino	1	1	2	1	1	1	0,00%	14.467	0,00%	0,00%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,10%	2.182.877	0,35%	0,35%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,00%	90.970	0,01%	0,01%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,00%	81.421	0,01%	0,01%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,01%	306.279	0,05%	0,05%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	0,42%	9.609.659	1,53%	1,53%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,18%	4.150.389	0,66%	0,66%
Muar	1	1	2	1	1	1	0,00%	30.921	0,00%	0,00%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,01%	115.769	0,02%	0,02%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,55%	12.599.484	2,01%	2,01%
Queima de Resíduos										
Algodão	1	1	1	1	1	1	0,02%	386.486	0,06%	0,06%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	1	1	0,00%	-	0,00%	0,00%
Solos Manejados										
Animal										
Asinino	1	1	2	1	1	1	0,00%	57.217	0,01%	0,01%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,07%	1.638.509	0,26%	0,26%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,04%	809.079	0,13%	0,13%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,04%	907.054	0,14%	0,14%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.352.250	0,22%	0,22%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	2,32%	52.985.750	8,46%	8,46%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,41%	9.269.821	1,48%	1,48%
Muar	1	1	2	1	1	1	0,01%	129.708	0,02%	0,02%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,03%	782.448	0,12%	0,12%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.408.435	0,22%	0,22%
Insumo										
Aplicação de Uréia	1	1	1	1	1	1	0,22%	4.975.270	0,79%	0,79%
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sólidos	1	1	1	2	2	1	1,38%	31.574.982	5,04%	5,04%
Calagem	1	1	1	1	1	1	1,24%	28.427.779	4,54%	4,54%
Solo										
Manejo do solo	1	2	1	2	3	2	0,19%	4.416.275	0,00%	0,71%
Subproduto										
Torta de Filtro	1	1	1	1	1	1	0,11%	2.619.017	0,42%	0,42%
Vinhaça	1	1	1	1	1	1	0,02%	448.973	0,07%	0,07%
Vegetal										
Arroz	1	1	1	1	1	1	0,03%	593.519	0,09%	0,09%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	3	2	0,16%	3.677.787	0,00%	0,59%
Feijão	1	1	1	1	1	1	0,02%	434.872	0,07%	0,07%
Mandioca	1	1	1	1	1	1	0,01%	250.953	0,04%	0,04%
Milho	1	1	1	1	1	1	0,40%	9.055.874	1,45%	1,45%
Outras culturas	1	1	1	1	1	1	0,04%	1.006.834	0,16%	0,16%
Pastagem	1	2	1	2	3	2	0,52%	11.869.590	0,00%	1,90%
Soja	1	1	1	1	1	1	0,58%	13.317.587	2,13%	2,13%
Trigo	1	1	1	1	1	1	0,02%	447.138	0,07%	0,07%

5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS SEEG E 4º INVENTÁRIO NACIONAL

A nova abordagem dos cálculos e estimativas para o setor tiveram mudanças se comparadas com as realizadas no 3º Inventário Nacional, de modo que novas fontes de emissão passaram a serem contabilizadas pelo setor, como o caso do uso de calcário (antes calculado pelo setor de MUT), aplicação de ureia, resíduos vegetais de pastagens, torta de filtro (resíduos da produção de etanol e açúcar) e a mineralização de N associado a perda de C no solo.

Outra mudança foi o aprimoramento na caracterização dos dados sobre os rebanhos de animais e demais fontes de emissões vegetais, atribuindo ao setor melhor representatividade e detalhamento das emissões, possibilitando obter com maior precisão o real impacto do setor na participação das emissões nacionais. A Tabela 21 abaixo mostra que as diferenças entre as estimativas de emissão de GEE pelo SEEG e pelo 4º Inventário Nacional.

Tabela 22 - Comparação das emissões de GEE pela agropecuária (GWP-AR5) estimadas pelo SEEG e pelo 4º Inventário Nacional para o ano de 2016 (MtCO₂e)

Subsetor	SEEG	4º Inventário Nacional (MCTI, 2020) ¹	Diferença (%)
Fermentação Entérica	404,00	362,82	11,35
Manejo de Dejetos Animais	29,18	28,01	4,19
Cultivo de Arroz	10,02	11,09	-9,62
Queima de Resíduos Agrícolas	0,39	0,47	-17,77
Solos Manejados	182,46	152,59	19,57

¹ano mais recente considerado nas estimativas do 4º Inventário Nacional (MCTI, 2020).

Diferenças ocorrem devido atualizações em dados de atividade utilizadas nas equações de cálculo das emissões. Esses resultados demonstram a elevada reprodutibilidade da metodologia do SEEG em estimar as emissões de GEE pelo setor agropecuário, constantemente em um processo de melhoria contínua. Assim, como a mesma metodologia foi utilizada para as estimativas no período de 1970 a 2024, é de se esperar elevada robustez nos resultados das emissões de GEE pela agropecuária para esse período.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A.P. e CARMO, C. A. F. S. **Sequestro de Carbono: Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. 352p. Viçosa, 2006.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2005 / ABRAF. -- Brasília, 2006. 80p. Disponível em <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009/ ABRAF. – Brasília, 2010. 140p. Disponível em <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (ABRACAL). Consumo aparente por estado, 2024a. Disponível em: < <http://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2021/06/CONSUMO-APARENTE-BR-1992-A-2020.pdf> >

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (ABRACAL). Produção por estado, 2024b. Disponível em: <<http://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2025/05/CONSUMO-APARENTE-BR-1994-A-2024.pdf> >

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, São Paulo, 2024.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC – Volume III**. 336p. Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/3tcn_volume_3.pdf >

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC**. 622p. Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/4comunicacao/4_com_nac_brasil_web.pdf >

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume III: Estratégias Setoriais e Temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. 297p. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Fermentação Entérica. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 143p. Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Manejo de Dejetos. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 142p. Brasília, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Cultivo de Arroz. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 102p. Brasília, 2020d. Disponível em: < <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial> >

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetores Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 148p. Brasília, 2020e. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Floresta. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 315p. Brasília, 2020f. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Notícias. Agricultura e Pecuária. **Plano ABC+ tem metas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agropecuária**. Brasília, 2021a. Disponível: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/10/plano-abc-tem-metas-para-reduzir-a-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria> >

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão e carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo**. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Inovação. Brasília, 2021b. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues.pdf> >

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de**

Efeito Estufa. 111p. Brasília, 2021c. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>

BRASIL, Ministério da Agricultura. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas**, 2024d. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atualizacao/informacoes-agropecuarias/safras>>

BRASIL, MCTI. 2016. SIRENE. **Sistema de Registro Nacional de Emissões**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/sistema-de-registro-nacional-de-emissoes-sirene>>

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanço Energético Nacional (BEN)**. Séries Completas, 2024. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Balanço Nacional de Cana-de-Açúcar e Agroenergia**. Secretaria de Produção e Agroenergia. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007/balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007.pdf>>

BRASIL. **Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada (iNDC) para alcançar o objetivo da Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC)**, 2016. Disponível em: <<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>>

BRASIL, 2015b - **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC) Brasileira apresentada ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)** – Fundamentos para a Elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/quem-%C3%A9-quem/item/10710-fundamentos-para-a-elabora%C3%A7%C3%A3o-da-pretendida-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada-indc-do-brasil-no-contexto-do-acordo-de-paris>

BUSTAMENTE, M.M.C., et. al. **Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas**. Biogeochemistry 79: 209-237. 2006

CANTO, A. C. B. do, FONTANA, A., CESÁRIO, F. V. FIGUEIREDO, L. G. E. de, CHEAUZU, H. Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Organossolos e outros solos com horizontes orgânicos no Brasil > abrangência e área manejada entre os anos de 1994 a 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1122074&biblioteca=vazio&busca=1122074&qFacets=1122074&sort=&paginaAtual=1>>

CARVALHO, J.L.N., *et. al.* Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soli C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research** 110 (2010) 175-186. 2010

CASTRO, C. N. A agropecuária na região centro-oeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014a.

_____. A agropecuária na região sudeste: limitações e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014b.

_____. A agropecuária na região sul: limitações e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014c.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agro-negócio Brasileiro**. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil, 2024. Disponível em < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agro-negocio-brasileiro.aspx> > Acesso em 11 out 2025.

CERRI, Carlos Eduardo P. *et al.* Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 64, n. 1, p. 83-99, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162007000100013>.

COSTA JUNIOR, C. *et. al.* Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. **Soil & Tillage Research** 134 (2013) 207-212. 2013

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: 20 out.2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). EMBRAPA 2011. **Marco Referencial; Integração lavoura-pecuária-floresta** Luis Carlos Balbino / Alexandre de Oliveira Barcellos, Luís Fernando Stone, ed. Técnicos. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2011. 130p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa Arroz e Feijão**. Transferência de tecnologia – Informações técnicas –Socioeconômica: Arroz, 2024. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao> >

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO (FBPDP). **Área do Sistema Plantio Direto**, 2018. Disponível em: < <https://febrapdp.org.br/area-de-pd> >

FNP. ANUALPEC'S 2022. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo, 2022. Acesso em: < <http://anualpec.com.br/> >

OBSERVATÓRIO ABC. **Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: A evolução de um novo paradigma**. Relatório Completo. Fundação Getúlio Vargas e Centro de Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries Históricas e Estatísticas**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>

_____. 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. **Censo Agropecuário 2017**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2017a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/925> >

_____. Tabela 6957 – Produção, Valor de produção, Venda, Valor da venda e Área colhida da lavoura temporária dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, produtos da lavoura temporária, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica. **Censo Agropecuário 2017**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2017b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6957> >

_____. Tabela 5457 – Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor de produção das lavouras temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2024a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> >

_____. Tabela 74 – Produção de origem animal, por tipo de produto.. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2024b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74> >

_____. Tabela 3939 – Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2024c. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939> >

_____. Tabela 94 – Vacas ordenhadas. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2024d. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94> >

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). CANASAT, **Monitoramento da Cana de Açúcar**, Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/collheita.html>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.

T., L. G. Meira, A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp, 1996.

_____. IPCC 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, Tanabe K, editors, Japan: IGES; 2006a. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: junho de 2025.

_____. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, 996 pp, 2006b.

_____. **Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2016. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

_____. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers**. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP). 41p. Cambridge University Press, 2021a. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf > Acesso em 10.out.2025

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Anuário Brasileiro do Arroz**. Santa Cruz do Sul/RS, 2021, 88 p.

LI, C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.58, p.259–76, 2000.

LI, C., SALAS, W., ZHANG, R., KRAUTER, C., ROTZ, A., MITLOEHNER, F. Manure-DNDC: A biogeochemical process model for quantifying greenhouse gas and ammonia emissions from livestock manure systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.93, p.163–200, 2012.

LOUREIRO, F. E. L. (Ed.), MELAMED, R.G. (Ed.), e FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2009. 645p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>. Acesso em: julho de 2014.

MAPBIOMAS. **Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. Projeto MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: outubro de 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **IPCC AR6, WG1: Resumo Comentado**. 2021

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). 2016. **Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. Disponível em: <http://seeg.eco.br/analise-de-emissoes-de-gee-no-brasil-1970-2014/>

REDE ILPF. **ILPF em números**, 2020. Disponível em: < <https://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/ilpf-em-numeros> >

ROCHA, G.C. **Aplicação da estimativa espaço-temporal da tolerância à perda de solo no planejamento do uso da terra**, Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-26072013-091837/pt-br.php>. Acesso em: setembro de 2013.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Etanol Verde** – Safra 2013/2014. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2014/05/Resultados-safra-2013_2014-Etanol-Verde.pdf. Acesso em: novembro de 2014.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Observatório da Cana**. Séries Históricas Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/index.php>>. Acesso em: 2025.

UNITED NATIONS (UN). Climate Change. UN Climate Change Conference UK 2021. **COP 26: The Glasgow Climate Pact**. UK, 2021a.

UNITED NATIONS (UN). Climate Change. UN Climate Change Conference EG 2022. **COP 27: SHARM EL- SHEIKH**. EG, 2022a.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Crops and livestock products. **Production**. Itália, 2021b. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data>>

Anexo: SEEG Municípios

Considerações gerais sobre as estimativas de emissões de GEE para os municípios do Brasil

O presente anexo apresenta um breve resumo das premissas adotadas no cálculo das estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Setor Agropecuário do Brasil em nível municipal considerando todos os estados do país no período de 2000 a 2024.

Essas estimativas seguem os mesmos princípios utilizados para as estimativas do SEEG em nível nacional e estadual, as quais, por sua vez são baseadas na metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação para o 3º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2015) e para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2019), desenvolvidas a partir das diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1996; 2006).

De acordo com essa metodologia, a estimativa das emissões GEE da agropecuária abrange as atividades de produção agrícolas perenes e não perenes (e cana-de-açúcar) e a criação e a produção animal incluindo bovinos, galináceos, caprinos, bubalinos, muares, entre outros. Também inclui toda atividade relacionada à fertilização nitrogenada do solo e solos orgânicos, bem como a calagem, aplicação de ureia e mineralização de carbono no solo.

Apesar de estarem relacionadas as atividades agropecuárias, não estão incluídas nestes cálculos as emissões decorrentes de desmatamento, conversões de uso do solo e energia, as quais são contabilizados nos respectivos setores de *Mudanças de Uso do Solo, Resíduos e Energia*.

Para o período que abrange a presente metodologia, o SEEG utilizou predominantemente como base de obtenção dos dados de atividade (dados censitários de população animal, área e produção agrícolas) os levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em nível municipal, os quais estão disponíveis no Sistema de Recuperação de Dados do IBGE (Sidra).

Apesar de o IBGE ser uma das principais fontes de dados de nível de atividade para o Brasil abrangendo longos períodos (geralmente décadas), esses dados foram pontualmente complementados, quando necessário, com os existentes em outras fontes disponíveis na literatura, as quais são citadas ao longo da metodologia do Setor Agropecuário. Todas as bases de dados e cálculos foram efetuadas por meio do software Microsoft Excel e Banco de Dados Gerenciados PostgreSQL.

No entanto, devido à falta de dados de atividade mais concretos em nível municipal, algumas premissas tiveram que ser efetuadas para alocar algumas fontes de emissão de GEE estaduais nos municípios do estado correspondente. O SEEG vem trabalhando para aperfeiçoar a metodologia e premissas adotadas para obtenção dos dados.

Dados alocados municipalmente

1) Número de bovinos de corte

O IBGE não aponta o número de bovinos de corte por município, mas sim o número de bovinos totais e o número de vacas ordenhadas. Assim, para a obtenção do número de bovinos de corte é necessário subtrair a quantidade de vacas dos bovinos totais. Entretanto, para alguns municípios o IBGE aponta que há mais vacas que bovinos totais, o que resulta em valores de bovinos de corte negativos para alguns estados. De acordo com o IBGE as variáveis “efetivo de bovinos” e “número de vacas ordenhadas” são diferentes. Os dados da variável efetivos de bovinos é o efetivo existente em 31/12 do ano de referência da pesquisa e os dados da variável vacas ordenhadas são as vacas ordenhadas durante todo o ano de referência pesquisada. No exemplo de 1990, o efetivo de bovinos em 31/12/1990 pode ser menor que o número de vacas ordenhadas durante 1990."

Dessa forma, o SEEG normalizou os dados de bovinos de corte com base nos valores de bovinos totais para evitar a ocorrência de valores negativos. Para isso, multiplicou-se a proporção bovinos de corte/ bovinos totais de estado pelo número de bovinos totais de cada município do respectivo estado.

2) Número de bovinos confinados

A ANUALPEC não disponibiliza os dados por município. Desse modo, para a obtenção do número de bovinos confinados por município para o cálculo das emissões, foi necessário multiplicar o número de bovinos de corte obtidos para cada município pela proporção de bovinos confinados em relação aos bovinos confinados do estado correspondente.

3) Área de arroz irrigado

A área de arroz irrigado de cada município utilizada para o cálculo das emissões de CH₄ decorrente do Cultivo de Arroz foi estimada multiplicando-se a proporção da área de arroz sequeiro/irrigado do estado e a área de arroz de cada município do estado.

4) Produção de etanol

O BEN e a ÚNICA não disponibilizam as informações em uma base municipal. Portanto, para a obtenção da produção de etanol para o cálculo das emissões de N₂O da aplicação de vinhaça como adubo foi necessário alocar a produção de etanol do estado correspondente pela multiplicação da produção de cana-de-açúcar municipal pela produção de cana-de-açúcar do estado correspondente.

5) Produção de açúcar

A produção de açúcar não é disponibilizada em nível municipal. Portanto, para a obtenção da produção de etanol para o cálculo das emissões de N₂O da aplicação de torta de filtro como adubo

foi necessário alocar a produção de açúcar do estado correspondente pela multiplicação da produção da cana-de-açúcar do município pela produção de cana-de-açúcar do estado correspondente.

6) Fertilizante Sintético

A ANDA disponibiliza as quantidades de fertilizantes consumidos em uma base estadual. Para obtenção da quantidade de fertilizante sintético por município foi necessário alocar da quantidade de fertilizante sintético utilizado pelo estado correspondente através da multiplicação com a proporção da quantidade produzida das culturas de cana-de-açúcar, milho e algodão por município pela produção das culturas de cana-de-açúcar, milho e algodão do estado correspondente. A proporção de ureia e outros fertilizantes aplicadas nos cálculos dos municípios foi a mesma do estado correspondente.

7) Área plantada

A área plantada dos municípios para o período de 1970 a 1987 para o cálculo da emissão de CO₂ pelo uso de calcário não está disponível, sendo obtida através da multiplicação da área plantada do estado correspondente no respectivo ano pela proporção da área plantada do município em 1988 pela área do estado em 1988.

8) Calcário

A quantidade de calcário utilizado por município para o cálculo da emissão de CO₂ foi obtida pela alocação da quantidade de calcário do estado correspondente pela multiplicação da proporção da área plantada do município pela área plantada do estado correspondente.

Dados não alocados municipalmente

Dados de Atividade – Emissões e Remoções NCI

As áreas de pastagens degradadas e em boas condições, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, florestas plantadas e lavouras SPD, PD e SPC para o cálculo das emissões e remoções não foram contabilizadas no inventário nacional e não foram organizadas a partir de em uma base municipal. Portanto, os cálculos foram realizados somente para os estados.

Resultados SEEG Municípios

Os resultados das emissões de GEE por município, fonte emissora e fatores de conversão (GWP, GTP, dos relatórios AR2, AR4, AR5 e AR6) estão disponíveis para consulta na **Plataforma SEEG: plataforma.seeg.eco.br, ao selecionar *Município*.**

Qualidade das estimativas de GEE para os municípios do Brasil

Na Figura 4 abaixo está apresentada a qualidade dos dados utilizados para os cálculos das emissões de GEE do setor agropecuário em nível nacional. Nota-se que a grande maioria dos dados utilizados apresentaram boa qualidade (1) para padrão de inventário. Os comentários relativos aos motivos das três classificações de número (2 e 3) apresentadas na tabela podem ser encontradas na planilha de qualificação dos dados disponível nas notas metodológicas do site.

Figura 3 – Qualidade da estimativa das emissões municipais

Setor/ Sub-Sector / Categorias	Ocorrência de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade		Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral da Alocação	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
			Existência do Dado	Disponibilidade do Dado						
Agropecuária							27%	626.045.716	94%	98%
Cultivo do Arroz										
Arroz	1	1	2	2	2	2	0,43%	10.022.890	0,00%	1,60%
Fermentação Entérica										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,01%	123.691	0,02%	0,02%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,12%	2.779.923	0,44%	0,44%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,08%	1.860.998	0,30%	0,30%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,12%	2.874.116	0,46%	0,46%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	15,13%	355.032.125	56,71%	56,71%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	1,57%	36.755.793	5,87%	5,87%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,01%	280.399	0,04%	0,04%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,13%	3.060.726	0,49%	0,49%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,05%	1.229.614	0,20%	0,20%
Manejo de Dejetos Animais										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,00%	14.467	0,00%	0,00%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,09%	2.182.877	0,35%	0,35%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,00%	90.970	0,01%	0,01%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,00%	81.421	0,01%	0,01%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,01%	306.279	0,05%	0,05%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	0,41%	9.609.659	1,53%	1,53%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,18%	4.150.389	0,66%	0,66%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,00%	30.921	0,00%	0,00%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,00%	115.769	0,02%	0,02%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,54%	12.599.484	2,01%	2,01%
Queima de Resíduos										
Algodão	1	1	1	1	1	1	0,02%	386.486	0,06%	0,06%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	1	1	0,00%	-	0,00%	0,00%
Solos Manejados										
Animal										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,00%	57.217	0,01%	0,01%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,07%	1.638.509	0,26%	0,26%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,03%	809.079	0,13%	0,13%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,04%	907.054	0,14%	0,14%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.352.250	0,22%	0,22%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	2,26%	52.985.750	8,46%	8,46%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,39%	9.269.821	1,48%	1,48%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,01%	129.708	0,02%	0,02%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,03%	782.448	0,12%	0,12%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.408.435	0,22%	0,22%
Insumo										
Aplicação de Uréia	1	2	2	3	2	1	0,21%	4.975.270	0,79%	0,79%
Aplicação de ureia e demais fertilizantes	1	2	2	3	2	1	1,35%	31.574.982	5,04%	5,04%
Calagem	1	2	2	3	2	1	1,21%	28.427.779	4,54%	4,54%
Solo										
Manejo do solo	1	2	1	2	3	2	0,19%	4.416.275	0,00%	0,71%
Subproduto										
Torta de Filtro	1	2	2	3	2	1	0,11%	2.619.017	0,42%	0,42%
Vinhaça	1	2	2	3	2	1	0,02%	448.973	0,07%	0,07%
Vegetal										
Arroz	1	1	1	1	1	1	0,03%	593.519	0,09%	0,09%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	1	1	0,16%	3.677.787	0,59%	0,59%
Feijão	1	1	1	1	1	1	0,02%	434.872	0,07%	0,07%
Mandioca	1	1	1	2	1	1	0,01%	250.953	0,04%	0,04%
Milho	3	2	2	2	2	2	0,39%	9.055.874	0,00%	1,45%
Outras culturas	1	1	1	1	1	1	0,04%	1.006.834	0,16%	0,16%
Pastagem	1	1	1	1	1	1	0,51%	11.869.590	1,90%	1,90%
Soja	1	1	1	1	1	1	0,57%	13.317.587	2,13%	2,13%
Trigo	1	1	1	1	1	1	0,02%	447.138	0,07%	0,07%

