

ESTUDO TÉCNICO BRDE

Sustentabilidade Aplicada 2

Agosto de 2026

FATORES DE EMISSÃO PARA
PECUÁRIA BOVINA:
Desenvolvimento de Base
Física para o Aprimoramento
das Estimativas de Emissões
Financiadas

Autor: Eduardo Grijó

BRDE



CRÉDITO
PARA INOVAR
E DESENVOLVER.

Diretoria do BRDE

Diretor-Presidente, Diretor de Operações e Diretor Administrativo

Heraldo Alves das Neves

Diretor Vice-Presidente e Diretor de Acompanhamento e Recuperação de Créditos e Diretor Financeiro

Mauro Mariani

Diretor de Planejamento

Leonardo Maranhão Busatto

Superintendência de Planejamento

Superintendente de Planejamento – André Andersson Chemale

Chefe do Depto de Parcerias e Inovações – Marcelo Kruel Milano do Canto

Chefe do Depto de Planejamento – Fernanda Letícia de Souza

Coordenador de Sustentabilidade – Fernando Lopes Laurent

Autor: Eduardo Grijó é, atualmente, economista da Coordenadoria de Sustentabilidade do BRDE. É Bacharel em Ciências Econômicas (UFRGS, 1992), Mestre em Economia (PUCRS, 2005) e Doutor em Ciências Humanas (UFSC, 2011). Trabalhou também na Secretaria de Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul, Agência de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Estado do Rio Grande do Sul (AGERGS), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). O presente artigo é de exclusiva responsabilidade do autor, não refletindo, necessariamente, a opinião do BRDE.

Resumo

O Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE) realiza a mensuração de emissões financiadas em conformidade com as diretrizes da Partnership for Carbon Accounting Financials (PCAF), utilizando predominantemente métodos classificados como Data Quality Score 4, baseados em proxies econômicos. Diante da relevância do agronegócio na carteira de crédito da instituição e da significativa participação da pecuária bovina nas emissões brasileiras de gases de efeito estufa, este estudo busca contribuir para o aprimoramento metodológico dessas estimativas por meio da construção de uma base física de fatores de emissão alinhada às Diretrizes do IPCC (2006) para o setor Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (AFOLU). Trata-se de uma pesquisa exploratória que não constitui uma aplicação formal da metodologia PCAF, mas uma etapa preparatória voltada ao desenvolvimento de uma arquitetura metodológica capaz de aproximar as estimativas de emissões financiadas das características reais das atividades financiadas. A análise utiliza a abordagem Tier 1 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como passo inicial e propenso a avanços, além de exercícios ilustrativos. Os resultados fornecem bases conceituais e metodológicas para o avanço da contabilização de emissões financiadas no setor agropecuário para o setor financeiro.

Abstract

The Regional Development Bank of the Far South (BRDE) measures financed emissions in accordance with the Partnership for Carbon Accounting Financials (PCAF) framework, primarily using methods classified as Data Quality Score 4, which rely on economic proxies. Given the importance of agribusiness within the institution's credit portfolio and the significant contribution of cattle production to Brazil's greenhouse gas emissions, this study seeks to contribute to the methodological improvement of these estimates through the development of a physical emissions factor database aligned with the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector. This exploratory research does not constitute a formal application of the PCAF methodology; rather, it represents a preparatory step toward the development of a methodological architecture capable of bringing financed emissions estimates closer to the actual characteristics of financed activities. The analysis employs the IPCC Tier 1 approach as an initial framework with potential for further refinement, complemented by illustrative exercises. The findings provide conceptual and methodological foundations for advancing the accounting of financed emissions in the agricultural sector within the financial industry.

Sumário

1.	Introdução	5
2.	Fontes e Fatores de Emissão Associados à Pecuária	7
2.1.	Abordagem utilizando Fatores de Emissão	7
2.2.	Mapa das emissões da pecuária bovina por fonte conforme Inventário Nacional	9
2.3.	Ocorrência de Emissões – Manejo vs Disposição em Pastagem	12
2.4.	As Emissões da pecuária bovina no Inventário Nacional	13
2.5.	Formulação Integrada das Emissões do Sistema Pecuário Bovino	16
3.	Fermentação Entérica – CH ₄ (3.A)	19
3.1.	Estimando Emissões Baseado em TIER 1	19
4.	Manejo de Dejetos Animais (3.B)	22
4.1.	Manejo de Dejetos Animais - CH ₄	23
4.1.1.	Utilizando TIER 1 – Fatores Diretos	24
4.1.2.	Utilizando TIER 1 – Derivação Analítica dos Fatores de Emissão	26
4.2.	Manejo de Dejetos Animais – Emissões Diretas de N ₂ O	31
4.3.	Manejo de Dejetos Animais – Emissões Indiretas De N ₂ O	36
5.	Solos Manejados (3.D)	43
5.1.	ESTIMATIVA DIRETAS DE N ₂ O EM SOLOS MANEJADOS	44
5.2.	Estimativa Indiretas de N ₂ O em Solos Manejados	53
6.	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DOS EXERCÍCIOS E CONCLUSÃO TÉCNICA PARA UTILIZAÇÃO DE TIER 1	56
6.1.	Resultados do Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro	56
6.2.	Resultados do Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte	57
6.3.	Análise Comparativa para ambos os cenários	58
6.4.	Conclusão técnica e próximos passos	61
7.	Bibliografia	63
	ANEXO A: Fatores De Emissão Padrão Do IPCC para Emissão Entérica - Gado Bovino	64
	ANEXO B: Fatores De Emissão Padrão Do IPCC para Gestão do Estrume do Rebanho	65
	ANEXO C: Distinção entre sistemas de manejo de dejetos	66
	ANEXO D: Tabela IPCC de excreção de nitrogênio (Nex) por 1.000 kg de massa animal por dia	67
	ANEXO E: Fatores de Emissão Padrão do IPCC para emissões diretas de N ₂ O dos sistemas de manejo	68
	ANEXO F: Fatores para cálculo das emissões indiretas de N ₂ O por sistema de manejo	69
	ANEXO G: Valores padrão para perda total de N no manejo de dejetos por sistema de manejo	70
	ANEXO H: Entradas de N em solos manejados (utilizadas na estimativa direta de N ₂ O)	71
	ANEXO I: Fatores de Emissão Indireta de N ₂ O padrão por volatilização e lixiviação	72

Estudo dos Fatores de Emissão da Pecuária Bovina

1? Introdução

A crescente incorporação de critérios climáticos na análise e acompanhamento de carteiras de crédito tem evidenciado a necessidade do desenvolvimento de metodologias robustas para estimar emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas ao risco do crédito. No âmbito no contexto de atuação do BRDE, essa necessidade é particularmente relevante para o agronegócio, dada a expressiva participação do setor nas emissões nacionais e sua elevada participação na exposição financeira da instituição. Ademais, a complexidade do tema reforça a necessidade de estudos de caso típicos, do aprimoramento de metodologias específicas e a criação de estimativa e de acompanhamento das emissões associadas as operações financeiras.

Nesse contexto, a aplicação de referenciais metodológicos como a PCAF (Partnership for Carbon Accounting Financials) e o GHG Protocol (padrão internacional de contabilidade criado para medir e gerenciar as emissões de gases de efeito estufa - GEE) torna-se fundamental para a mensuração de estimativas de emissões financiadas, enquadradas no Escopo 3, Categoria 15 (Investments). Conforme definido neste arcabouço, as emissões financiadas correspondem à parcela das emissões atribuíveis à instituição financeira, calculada sobre as emissões estimadas das atividades financiadas, permitindo a avaliação do impacto climático das operações de crédito e o alinhamento das estratégias institucionais a metas de descarbonização.

A PCAF constitui uma iniciativa global liderada pelo setor financeiro, com o propósito de estabelecer metodologias padronizadas para mensuração e reporte de emissões financiadas, promovendo transparência, comparabilidade e consistência entre instituições, de forma alinhada ao TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures). O padrão diferencia abordagens metodológicas com base na qualidade dos dados utilizados, distinguindo entre estimativas baseadas em emissões reportadas, dados físicos de atividade e proxies econômicos. Nesse contexto, reconhece-se que abordagens baseadas em dados físicos tendem a produzir estimativas mais representativas dos processos emissores, ainda que sua aplicação dependa da disponibilidade e granularidade das informações.

O GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) é o principal padrão internacional para contabilização e reporte de emissões de gases de efeito estufa (GEE), desenvolvido pelo World Resources Institute (WRI) e pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) com o objetivo de promover metodologias harmonizadas, transparentes e comparáveis para a gestão das emissões corporativas. Seu âmbito

de atuação abrange a definição de fronteiras organizacionais e operacionais dos inventários, a quantificação e o reporte das emissões de GEE, bem como a adoção de princípios de relevância, completude, consistência, transparência e exatidão. O padrão estabelece a classificação das emissões em Escopo 1 (emissões diretas de fontes próprias ou controladas), Escopo 2 (emissões indiretas associadas à geração da eletricidade adquirida) e Escopo 3 (demais emissões indiretas ao longo da cadeia de valor), fornecendo uma estrutura amplamente aceita para que organizações identifiquem, gerenciem, reduzam e comuniquem seus impactos climáticos de forma consistente e comparável ao longo do tempo.

O presente estudo tem como objetivo contribuir para o aprimoramento da estimativa de emissões associadas à atividade da pecuária bovina no contexto de operações financiadas, por meio da identificação e adequação de fatores de emissão, dados de atividade e parâmetros metodológicos coerentes com as diretrizes internacionais. O estudo está inserido no contexto de evolução metodológica da geração de estimativas de emissões financiadas do BRDE, com foco na transição de abordagens baseadas em proxies econômicos para abordagens baseadas em dados físicos de atividade, conforme recomendado pelas diretrizes da PCAF.

Cabe destacar que a estimativa das emissões da atividade da pecuária bovina, que constitui a base para o cálculo das emissões financiadas, segue os referenciais metodológicos do IPCC 2006 Guidelines – Volume 4, AFOLU (Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra, do inglês Agriculture, Forestry and Other Land Use), os quais estabelecem que as emissões de GEE são, predominantemente, estimadas por meio da combinação entre dados de atividade e fatores de emissão. Essa abordagem é igualmente adotada pelo GHG Protocol Corporate Standard, que define o cálculo de emissões como função do produto entre atividade emissora e fator de emissão, assegurando consistência, transparência e comparabilidade das estimativas.

De acordo com o Relatório de Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do Brasil (NIR 2024), a pecuária bovina configura uma fonte relevante de emissões de GEE, principalmente em função de processos biogênicos associados à fermentação entérica e ao manejo de dejetos, caracterizados por elevada variabilidade espacial e dependência de parâmetros zootécnicos específicos. No contexto das emissões inventariadas para o Brasil, o Relatório aponta que a fermentação entérica é a principal fonte emissora do setor Agropecuária, que, por sua vez, é o setor responsável pelo maior volume de emissões nacionais.

O presente estudo possui caráter exploratório e metodológico, não constituindo uma aplicação formal do padrão PCAF, mas uma análise preliminar voltada à

estruturação de uma arquitetura metodológica que permita, em etapas futuras, estimar emissões financiadas com maior nível de acurácia. Para fins de delimitação de escopo, o estudo considera as emissões diretas associadas à atividade pecuária bovina (on-farm), desconsiderando, neste estágio, as etapas a montante e a jusante da cadeia produtiva.

Adotaremos, como ponto de partida, uma abordagem TIER 1, conforme definido pelas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), utilizando fatores de emissão padrão e dados de atividade agregados, como base para a construção de um modelo inicial estruturado. Essa escolha metodológica está alinhada à lógica de progressão de níveis de refinamento (Tier 1 → Tier 2 → Tier 3) estabelecida pelo IPCC, permitindo, em etapas futuras, a incorporação de dados mais específicos e a consequente redução das incertezas associadas às estimativas.

Assim, o estudo busca estabelecer as bases conceituais e operacionais para a quantificação das emissões associadas à pecuária bovina com base em dados físicos de atividade, assegurando alinhamento com as diretrizes do IPCC, do GHG Protocol e da PCAF, e contribuindo para o fortalecimento da capacidade institucional de mensuração, reporte e gestão das emissões financiadas no setor agropecuário.

2 Fontes e Fatores de Emissão Associados à Pecuária

2.1. Abordagem utilizando Fatores de Emissão

O presente estudo adota como referência metodológica principal as 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, particularmente o Volume 1, que define os princípios gerais de qualidade, transparência, consistência, comparabilidade, completude e acurácia, e o Volume 4, que trata do setor Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Essas diretrizes estabelecem um arcabouço metodológico robusto para a estimativa de emissões de gases de efeito estufa, amplamente adotado em inventários nacionais e corporativos.

De acordo com essa abordagem, as emissões de GEE são, na maioria dos casos, estimadas por meio de métodos de cálculo indiretos, baseados na relação entre dados de atividade (activity data) e fatores de emissão (emission factors). Essa lógica é igualmente adotada pelo GHG Protocol que estabelece que o cálculo das emissões deve ser realizado como o produto entre o nível da atividade emissora e um fator que converte essa atividade na quantidade correspondente de emissões.

O modelo geral pode ser expresso como:

$$\text{Emissões (tCO}_2\text{e)} = \text{Dados de atividade} \times \text{Fator de emissão}$$

(Equação A)

Importante destacar que, conforme previsto nas diretrizes do IPCC, a estimativa das emissões é estruturada a partir de módulos independentes por gás e por processo físico, sendo posteriormente agregada por meio da conversão para CO₂ equivalente, garantindo a consistência da contabilização e evitando dupla contagem.

Uma mesma atividade econômica pode envolver múltiplas fontes emissoras, o que implica que a estimativa de emissões depende de um modelo que integre diferentes dados de atividade e fatores, onde os dados de atividade correspondem a variáveis observáveis ou estimáveis que descrevem o nível da atividade emissora, como número de animais, sistemas produtivos, área, produtividade e consumo energético, enquanto fatores de emissão correspondem a coeficientes que relacionam uma unidade de atividade a uma quantidade de emissões de GEE.

O IPCC organiza essas estimativas em diferentes níveis metodológicos, denominados TIER, que refletem o grau de detalhe e especificidade dos dados utilizados:

- TIER 1, baseado em fatores default;
- TIER 2, baseado em fatores nacionais ou específicos; e
- TIER 3, baseado em modelos detalhados ou medições diretas quando disponíveis.

No nível TIER 1, são utilizados fatores de emissão default fornecidos pelo próprio IPCC; no TIER 2, utilizam-se fatores de emissão específicos de cada país ou contexto produtivo; e no TIER 3, adotam-se modelos mais detalhados, baseados em dados locais, medições diretas ou abordagens modeladas mais sofisticadas. A adoção do TIER 1 no presente estudo está alinhada ao seu caráter exploratório e à disponibilidade de dados, sendo adequada como base inicial para a construção da arquitetura metodológica.

O resultado aqui esperado, portanto, não é um dado definitivo de emissões financiadas ou uma tentativa de substituir inventários de emissões das empresas financiadas, mas construir uma arquitetura metodológica preliminar que permita, em etapas futuras, combinar dados físicos, fatores de emissão compatíveis e critérios de qualidade de dados de forma mais aderente à lógica de melhoria progressiva prevista pela PCAF. Em especial, e tendo em vista o caráter exploratório deste estudo, estamos interessados em construir um modelo (equação A) baseado em TIER 1.

A condução do estudo inicia-se, portanto, pela identificação das principais fontes de emissão associadas à pecuária bovina, tanto em âmbito teórico quanto em sua

base estrutural adotada no Relatório do Inventário Nacional de Emissões de GEE – NIR 2024, elaborado conforme as diretrizes do IPCC 2006.

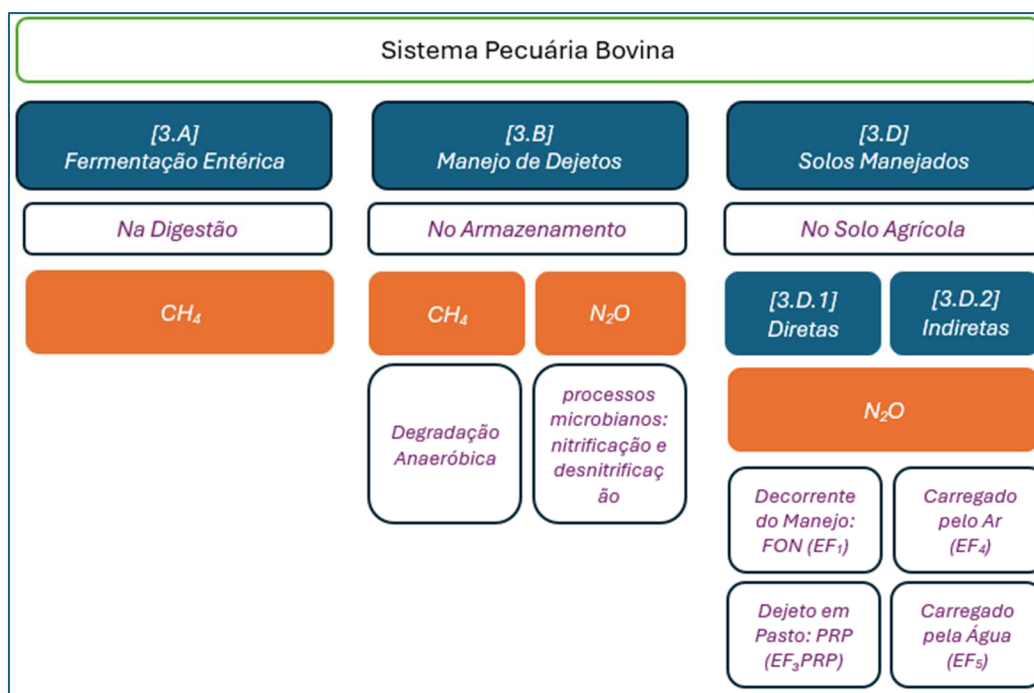
2.2. Mapa das emissões da pecuária bovina por fonte conforme Inventário Nacional

A estrutura metodológica do setor AFOLU organiza as emissões da pecuária bovina em categorias distintas, conforme também adotado no Inventário Nacional: fermentação entérica (3.A), manejo de dejetos (3.B) e solos manejados (3.C/3.D). Essas categorias refletem a separação entre diferentes processos físicos e biogeoquímicos ao longo do sistema produtivo, permitindo a correta atribuição das emissões aos mecanismos subjacentes.

- (i) a **fermentação entérica**, responsável pela emissão de metano (CH_4) decorrente da digestão dos animais;
- (ii) o **manejo de dejetos**, associado à decomposição do esterco sob diferentes condições ambientais; e
- (iii) as emissões de óxido nitroso (N_2O) provenientes de **solos manejados**, resultantes da deposição direta de urina e fezes em pastagem e dos processos biogeoquímicos subsequentes no solo.

Do ponto de vista conceitual, essa estrutura está fundamentada na distinção entre fluxos de carbono, associados principalmente às emissões de metano (CH_4), e fluxos de nitrogênio, associados às emissões de óxido nitroso (N_2O). Essa separação é essencial para garantir a consistência metodológica do inventário, uma vez que cada gás é gerado por processos distintos e depende de variáveis específicas para sua estimativa. A partir dessa decomposição, as emissões totais da pecuária bovina podem ser representadas como a soma dos diferentes módulos de cálculo associados aos processos emissores, incluindo fermentação entérica, manejo de dejetos e solos manejados, com distinção entre emissões de CH_4 e N_2O , tanto diretas quanto indiretas. A figura abaixo resume o tema.

FIGURA 1
Mapa de Fontes das Emissões de GEE na Pecuária Bovina



A contabilidade das emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas exclusivamente à pecuária bovina — desconsiderando as etapas a montante e a jusante da cadeia produtiva — pode ser estruturada a partir das categorias metodológicas acima apresentadas.

Neste contexto, a **Fermentação Entérica (3.A)** representa a principal fonte direta de metano (CH_4) no Inventário Nacional Brasileiro, resultante de processos biológicos de digestão anaeróbia no rúmen dos animais, nos quais microrganismos convertem a matéria orgânica ingerida em gases, com destaque para o CH_4 como subproduto metabólico. Esse fluxo é modelado com base em parâmetros energéticos da dieta e eficiência de conversão, refletindo exclusivamente o ciclo do carbono no interior do animal. Dessa forma, a fermentação entérica constitui uma fonte primária e isolada de CH_4 no sistema pecuário, distinta dos processos subsequentes de manejo de dejetos e dinâmica do solo.

No âmbito do **Manejo de Dejetos Animais (3.B)** ocorre a decomposição dos dejetos durante o armazenamento e tratamento, o que origina duas vias independentes e simultâneas de emissão de gases de efeito estufa: o CH_4 , associado à degradação anaeróbia da matéria orgânica (sólidos voláteis) em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio, e o N_2O , resultante dos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação que atuam sobre o nitrogênio excretado (Nex) com presença simultânea de oxigênio e umidade.

Do ponto de vista metodológico, é importante explicitar que essas duas trilhas não representam uma sequência de processos nem uma transformação entre gases, mas sim fluxos paralelos a partir de componentes distintos do dejetos (carbono vs. nitrogênio), ocorrendo simultaneamente dentro de um mesmo sistema de manejo. Adicionalmente, conforme definido nas diretrizes do IPCC, os dejetos depositados diretamente em pastagem (pasture, range and paddock – PRP) configuram situação especial cuja metodologia de cálculo e contabilização vai depender do tipo de emissão, considerando que, a rigor, é um sistema produtivo que não possui manejo de dejetos. Isso será tratado com mais detalhes adiante, nesta NT.

As emissões de N_2O em **Solos Manejados (3.D)** representam a parcela das emissões associadas ao nitrogênio que é incorporado ao solo, independentemente de sua origem. No caso dos sistemas com manejo de dejetos, após as etapas de armazenamento e tratamento, parte do nitrogênio remanescente é aplicada ao solo por meio do uso agrônomo dos dejetos. Já nos sistemas de produção extensiva, o nitrogênio proveniente das excretas animais é depositado diretamente sobre as pastagens, sem que haja uma etapa prévia de manejo dos dejetos (Pasture, Range and Paddock – PRP). Embora esses fluxos tenham origens distintas, ambos introduzem nitrogênio no solo e constituem fontes de emissões contabilizadas na categoria 3.D. Essas emissões são subdivididas em emissões diretas (3.D.1), e emissões indiretas (3.D.2).

As **emissões diretas de N_2O em Solos Manejados (3.D.1)** decorrem da incorporação de nitrogênio ao solo a partir da aplicação de dejetos previamente manejados (fluxo FON) e da deposição direta de excretas por animais em pastagem (pasture, range and paddock – PRP), sendo quantificadas por fatores de emissão específicos no TIER 1 (EF_1 para adubos orgânicos e EF_3PRP para deposição direta). Uma vez no solo, o nitrogênio é transformado por processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, cuja intensidade depende de condições ambientais como umidade, temperatura e disponibilidade de oxigênio, caracterizando um fluxo distinto daquele observado durante o manejo de dejetos.

No contexto dos **Solos Manejados – emissões indiretas de N_2O (3.D.2)**, essas emissões resultam das perdas de nitrogênio inicialmente introduzido no sistema, incluindo aquele proveniente de dejetos animais, que é transferido para fora do solo por processos de volatilização (NH_3 e NO_x) e lixiviação/escorrimento superficial, sendo posteriormente redepositado em outros ambientes onde ocorre a formação de N_2O por nitrificação e desnitrificação. Essas vias correspondem, respectivamente, aos fatores de emissão EF_4 (via atmosférica) e EF_5 (via hidrológica), assegurando que as perdas difusas de nitrogênio sejam contabilizadas de forma consistente no inventário, conforme a estrutura conceitual do ciclo do nitrogênio adotada pelo IPCC.

2.3. Ocorrência de Emissões – Manejo vs Disposição em Pastagem

Uma condição metodologicamente relevante refere-se à deposição direta de dejetos em pastagem, denominada pasture, range and paddock (PRP). De acordo com as diretrizes do IPCC, as emissões associadas a essa condição são alocadas em diferentes categorias do inventário conforme o processo biogeoquímico predominante. As emissões de CH_4 permanecem contabilizadas na categoria de Manejo de Dejetos (3.B), mesmo na ausência de sistemas estruturados de manejo, por definição metodológica relacionada aos processos de decomposição da matéria orgânica. Por sua vez, como já relatamos ao leitor na seção anterior, as emissões de N_2O decorrentes da deposição direta são integralmente alocadas na categoria de Solos Manejados (3.D), por refletirem processos de nitrificação e desnitrificação no solo. Essa abordagem não altera a origem física das emissões, mas estabelece uma alocação metodológica consistente com a estrutura do inventário.

Conforme estabelecido pelo IPCC 2006 (Capítulos 10 e 11 do V4 - AFOLU), deve-se distinguir entre as emissões:

- associadas ao manejo de dejetos (**Manure Management**) e
- aquelas decorrentes da aplicação ou deposição de nitrogênio no solo (**Managed Soils**)

No caso de dejetos submetidos a sistemas de armazenamento ou tratamento (manure management systems – MMS), há potencial de geração de CH_4 em função da decomposição anaeróbia da matéria orgânica sob baixa disponibilidade de oxigênio. Essas emissões são contabilizadas na categoria de Manejo de Dejetos. As emissões de N_2O que ocorrem durante essa etapa, associadas a processos microbianos no sistema de manejo, também são alocadas nessa mesma categoria. No entanto, uma parcela do nitrogênio presente nos dejetos pode ser posteriormente transferida ao solo, quando aplicada como fertilizante ou após disposição final, gerando emissões adicionais de N_2O sob condições ambientais favoráveis. Essas emissões posteriores são contabilizadas no escopo de Solos Manejados.

Uma questão metodológica relevante refere-se às perdas de nitrogênio ao longo das etapas de manejo, as quais reduzem a quantidade de nitrogênio efetivamente disponível para emissão na fase de aplicação ao solo. Dessa forma, a estimativa das emissões deve considerar essas perdas, conforme orientado no Capítulo 10, supracitado.

Uma segunda questão crítica ocorre no caso da deposição direta em pastagem (PRP), em que não há etapa intermediária de manejo, o que exige tratamento metodológico específico para garantir a consistência na alocação das emissões.

Do ponto de vista do ciclo do nitrogênio, as emissões associadas à fração de dejetos diretamente depositada no solo (PRP) são corretamente estimadas no módulo de Solos Manejados, utilizando o fator de emissão EF_3PRP conforme recomendado pelo IPCC, 2006 (volume 4, Capítulo 11). Contudo, esse módulo não contempla explicitamente os processos do ciclo do carbono. Por essa razão, o IPCC orienta que as emissões de CH_4 provenientes de dejetos animais sejam integralmente estimadas no escopo de Manejo de Dejetos, independentemente da existência de sistemas formais de manejo.

Dessa forma, a contabilização das emissões associadas à deposição direta de dejetos em pastagem requer uma separação conceitual entre os ciclos biogeoquímicos. O carbono, representado pelas emissões de CH_4 , permanece integralmente tratado na categoria de Manejo de Dejetos. O nitrogênio, representado pelas emissões de N_2O , é alocado em Solos Manejados

QUADRO 1

Matriz de Ocorrência de Emissões – Manejo vs Disposição em Pastagem

Tipo de emissão e GEE	Sistemas de Manejo de Dejetos	Deposição de Dejetos em Pastagem (PRP)
Fermentação entérica - CH_4 digestão	✓	✓
Manejo de dejetos - CH_4 armazenamento/tratamento	✓	✓ (alocado metodologicamente em 3.B, mesmo sem manejo estruturado)
Manejo de dejetos - N_2O direto armazenamento/tratamento	✓	✗ (não aplicável na ausência de MMS)
Solos Manejados – N_2O direto	✓ (após aplicação de dejetos manejados)	✓ (deposição direta – fator EF_3PRP)
Solos Manejados - N_2O indireto volatilização/deposição - NH_3/NO_x	✓	✓
Solos Manejados - N_2O indireto lixiviação/escorrimento	✓	✓

2.4. As Emissões da pecuária bovina no Inventário Nacional

A análise do QUADRO 2 evidencia uma característica estrutural singular do perfil de emissões brasileiro quando comparado ao de outras economias, especialmente as europeias. Enquanto na Europa o setor de energia constitui a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa, refletindo uma matriz econômica fortemente dependente de combustíveis fósseis, no Brasil as emissões apresentam participação expressiva do setor agropecuário. Em 2022, as emissões atribuídas aos bovinos totalizaram 466.662 kt CO_2e (22,9% das emissões nacionais), valor superior às emissões do setor de energia, que somaram 418.451 kt CO_2e (20,5%). Dentro desse conjunto, a fermentação entérica bovina destacou-se como a principal fonte individual de emissões, respondendo por 392.302 kt CO_2e (19,2% do total nacional), magnitude próxima à observada para todo o setor energético. Esse

resultado reflete a importância econômica e territorial da bovinocultura no país, bem como o predomínio de sistemas produtivos baseados em pastagens, nos quais o CH₄ oriundo da digestão dos ruminantes constitui a principal fonte de emissões. Nesse contexto, o quadro evidencia que o perfil emissor brasileiro é fortemente influenciado pela agropecuária e, em particular, pela pecuária bovina, com implicações relevantes para a formulação de políticas climáticas e para a avaliação de riscos em atividades econômicas expostas ao setor.

QUADRO 2

Comparativo Emissão GEE por Fontes – setor energia e Bovinos

Fonte de Emissões NIR 2024 (ano 2022)	kt CO ₂ e	%
Setor Energia	418.451	20,5%
Bovinos - Fermentação Entérica	392.302	19,2%
Total Associado à Bovinos	466.662	22,9%
Total das Fontes da Agropecuária	622.014	30,5%
Total de todas as fontes	2.039.236	100,0%

QUADRO 3

Valores de emissões de CO₂e para o ano de 2022 associados à atividade de pecuária bovina conforme NIR 2024.

Fonte de Emissões	kt CO ₂ e	Enquadramento técnico
3.A. Fermentação Entérica		Metano (CH ₄) emitido no processo digestivo dos animais, especialmente por ruminantes, como os bovinos.
3.A.1. Bovinos		
3.A.1.a. Bovinos de corte	40.050	
3.A.1.b. Bovinos de leite	352.252	
3.B. Manejo de Dejetos Animais		Esse item contempla emissões associadas ao manejo dos dejetos, incluindo CH ₄ e N ₂ O. No entanto, enquanto as emissões de CH ₄ são apresentadas de forma desagregada por tipo de animal, as emissões indiretas de N ₂ O (3.B.5) são reportadas de forma agregada no NIR 2024, não sendo possível identificar a fração atribuível especificamente à pecuária bovina.
3.B.1. Bovinos	3.804	
3.B.1.a. Bovinos de corte	8.033	
3.B.1.b. Bovinos de leite		
3.D. Solos Manejados		Essa é a categoria de N ₂ O direto em solos associado à urina e às fezes depositadas diretamente em pasto, campo ou piquete por animais em pastejo e em relação ao uso e aplicação do dejetos manejado. O NIR indica explicitamente a categoria 3.D.1.c Deposição de dejetos em pastagem e a vincula ao Capítulo 11 do IPCC.
3.D.1. Emissões diretas		
3.D.1.c. Deposição de dejetos em pastagem		
3.D.1.c.i. Bovinos		
3.D.1.c.i.1. Bovinos de corte	41.403	
3.D.2. Bovino de leite	7.316	
3.D.2. Emissões indiretas		Primeira rota indireta do Nitrogênio em solo. Emissões de N ₂ O por deposição atmosférica. O NIR explicita que 3.D.2.a Deposição atmosférica usa a mesma base de informação das categorias de fertilizantes, adubos orgânicos e deposição de dejetos em pastagem. Já o IPCC descreve que uma das rotas indiretas de emissão é a volatilização de NH ₃ e NO _x seguida de deposição atmosférica em solos e águas.
3.D.2.a. Deposição atmosférica		
3.D.2.a.iii. Deposição de dejetos diretamente no solo		
3.D.2.a.iii.1. Bovinos		
3.D.2.a.iii.1.a. Bovinos de corte	5.520	
3.D.2.a.iii.1.b. Bovino de leite	976	
3.D.2.b. Lixiviação / escoamento superficial		Segunda rota indireta do Nitrogênio em solo. Emissões de N ₂ O por lixiviação / escoamento superficial. O IPCC descreve essa rota como a saída de N de fertilizantes, adubos orgânicos, resíduos e, também, de urina e fezes depositadas por animais em pastejo para águas subterrâneas, áreas ripárias, rios e zonas úmidas, onde posteriormente há geração de N ₂ O.
3.D.2.b.iii. Deposição de dejetos diretamente no solo		
3.D.2.b.iii.1. Bovinos	7.308	
3.D.2.b.iii.2. Suínos		
3.D.2.b.iii.3. Outros animais		
Total Associado à Bovinos	466.662	

A leitura integrada do quadro 3, acima, evidencia, de forma consistente com a estrutura metodológica do IPCC (2006 – AFOLU) e sua aplicação no Relatório do Inventário Nacional de 2024, que a pecuária bovina apresenta forte concentração de emissões na categoria 3.A – Fermentação Entérica, a qual totaliza 392.302 kt CO₂e dentro de um total de 466.662 kt CO₂e associados aos bovinos. Esse resultado indica que aproximadamente 84% das emissões da bovinocultura estão associadas ao metano (CH₄) gerado no processo digestivo dos ruminantes, confirmando o caráter dominante dessa fonte no perfil emissor da atividade. No detalhamento interno, observa-se que a maior parcela dessas emissões está associada aos bovinos de leite (352.252 kt CO₂e), em comparação aos bovinos de corte (40.050 kt CO₂e).

Em segundo plano, destaca-se a categoria 3.D – Solos Manejados, especialmente no componente 3.D.1.c – Deposição de dejetos em pastagem (PRP), que representa 48.719 kt CO₂e, correspondendo a cerca de 10% do total associado aos bovinos. Esse resultado evidencia a relevância das emissões de N₂O associadas ao ciclo do nitrogênio no solo, decorrentes da deposição direta de urina e fezes em sistemas de pastejo. Quando consideradas as rotas indiretas de N₂O — 3.D.2.a (deposição atmosférica) e 3.D.2.b (lixiviação e escoamento) — observa-se um adicional de aproximadamente 13,8 mil kt CO₂e, reforçando o papel das perdas difusas de nitrogênio no sistema. Por sua vez, a categoria 3.B – Manejo de Dejetos Animais, com cerca de 11.837 kt CO₂e, apresenta contribuição de menor magnitude relativa, associada principalmente à decomposição anaeróbia dos dejetos em sistemas de manejo.

Assim, a análise do quadro permite estabelecer uma hierarquia clara das fontes emissoras na pecuária bovina:

- (i) predominância absoluta da fermentação entérica (ciclo do carbono – CH₄),
- (ii) relevância intermediária das emissões de solos manejados (ciclo do nitrogênio – N₂O) e
- (iii) contribuição secundária do manejo de dejetos, em coerência com a separação conceitual entre processos bioquímicos preconizada pelo IPCC.

Nos sistemas produtivos brasileiros, predominantemente extensivos ou semi-intensivos, a deposição direta dos dejetos em pastagem reduz o tempo de armazenamento sob condições anaeróbias, limitando a formação de CH₄ típica de sistemas confinados; desse modo, a menor concentração e retenção dos dejetos em estruturas de manejo resulta em uma menor contribuição relativa das emissões na categoria de Manejo de Dejetos (3.B), com consequente predominância das emissões alocadas em Solos Manejados (3.D).

BOX METODOLÓGICO

Adequações de nomenclatura e códigos entre Inventário Nacional e IPCC

O quadro abaixo apresenta as emissões por tipo e em qual capítulo são tratados, tanto pelo IPCC quando no Inventário nacional. No restante deste estudo, como estamos interessados nos aspectos metodológicos associados ao uso do TIER 1, a referência aos capítulos e títulos serão todas em relação ao IPCC.

QUADRO 4

Matriz de Correspondência entre Categorias de Emissões (IPCC vs NIR Brasil)

Tipo de emissão e GEE	IPCC	NIR Brasil
Fermentação entérica - CH₄ (digestão)	3.A.1 – Enteric Fermentation	3.A – Fermentação Entérica
Manejo de dejetos - CH₄ armazenamento/tratamento/PRP	3.A.2 – Manure Management (Capítulo 10, AFOLU)	3.B – Manejo de Dejetos (CH ₄ – todas as subcategorias 3.B.1–3.B.4)
Manejo de dejetos - N₂O direto armazenamento/tratamento	3.A.2 – Manure Management (Capítulo 10, Eq. EF ₃)	3.B – Manejo de Dejetos (3.B.x – emissões diretas de N ₂ O)
N₂O indireto volatilização/deposição - NH ₃ /NO _x	3.C.6 – Indirect N ₂ O from Manure Management (Cap. 10 + referência ao Cap. 11)	3.B – Manejo de Dejetos (3.B.5 – perdas por volatilização com EF ₄)
N₂O indireto lixiviação/escorrimento	3.C.6 – Indirect N ₂ O from Manure Management (Cap. 10 + EF ₅)	3.B – Manejo de Dejetos (3.B.5 – quando considerado; NIR assume geralmente desprezível)
N₂O direto – dejetos aplicados ao solo fertilizante orgânico	3.C.4 – Direct N ₂ O from Managed Soils (Cap. 11)	3.D – Solos Manejados (ex.: FON – adubos orgânicos)
N₂O direto – PRP deposição em pastagem	3.C.4 – Managed Soils (PRP) (Cap. 11)	3.D.1.c – Solos Manejados (PRP)
N₂O indireto – solos deposição atmosférica	3.C.5 – Indirect N ₂ O from Managed Soils (EF ₄ , Cap. 11)	3.D.2.a – Solos Manejados (deposição via ar)
N₂O indireto – solos lixiviação/runoff	3.C.5 – Indirect N ₂ O from Managed Soils (EF ₅ , Cap. 11)	3.D.2.b – Solos Manejados (carregado pela água)

2.5. Formulação Integrada das Emissões do Sistema Pecuário Bovino

Com base no arcabouço apresentado, a operacionalização da equação (A) aplicada à pecuária bovina requer a decomposição das emissões por categoria metodológica, combinada à sua recomposição em um modelo integrado capaz de consolidar os diferentes fluxos de gases no sistema produtivo. Nesse contexto, as emissões totais associadas à atividade podem ser representadas como a soma das emissões provenientes de cada fonte definida pelo IPCC, conforme a seguinte expressão geral:

$$\begin{aligned} \text{Emissões Totais} = & \sum T (\text{CH}_4 - \text{Fermentação entérica})_{\{T\}} \\ & + \sum T \sum S (\text{CH}_4 - \text{Manejo de dejetos})_{\{T,S\}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ \sum T \sum S (\text{N}_2\text{O direto} - \text{Manejo de dejetos})_{\{T,S\}} \\
 &+ \sum T \sum S (\text{N}_2\text{O indireto} - \text{Manejo de dejetos})_{\{T,S\}} \\
 &\quad + \sum T (\text{N}_2\text{O direto} - \text{Solos manejados})_{\{T\}} \\
 &\quad + \sum T (\text{N}_2\text{O indireto} - \text{Solos manejados})_{\{T\}} \\
 &\quad \text{(Equação B)}
 \end{aligned}$$

Onde:

(T) = categoria animal (bovino de leite e outros)

(S) = Sistema de manejo

Essa formulação expressa a estrutura metodológica adotada pelo IPCC para o setor AFOLU, na qual as emissões são estimadas de forma desagregada por processo físico, biológico e biogeoquímico, sendo posteriormente agregadas para compor o total da atividade. A decomposição reflete a distinção entre os processos associados ao fluxo de carbono orgânico, que dão origem principalmente às emissões de metano (CH_4), e os processos associados ao ciclo do nitrogênio, responsáveis pelas emissões de óxido nitroso (N_2O). Tal estrutura permite representar explicitamente as diferentes rotas de geração dos gases, conforme estabelecido nas Diretrizes IPCC 2006, sendo compatível com a abordagem Tier 1 empregada neste estudo.

No âmbito da fermentação entérica (enteric fermentation), as emissões de CH_4 são estimadas pela multiplicação do efetivo animal (número de animais) pelos fatores de emissão específicos por categoria animal, os quais refletem as características do processo digestivo dos ruminantes. No caso do manejo de dejetos (manure management), as emissões são estimadas de forma desagregada por gás: (i) CH_4 , resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica sob condições de baixa disponibilidade de oxigênio, e (ii) N_2O , decorrente de processos microbianos de nitrificação e desnitrificação do nitrogênio excretado. As emissões de N_2O incluem componentes diretos, associados às transformações no sistema de manejo, e indiretos, relacionados às perdas de nitrogênio por volatilização (NH_3 e NO_x) e lixiviação/escoamento, seguidas de transformação em outros compartimentos ambientais.

No contexto dos solos manejados (managed soils), as emissões de N_2O são igualmente estimadas de forma segmentada em diretas e indiretas. As emissões diretas decorrem da aplicação ou deposição de nitrogênio no solo, incluindo dejetos previamente manejados e deposição direta em pastagem, enquanto as emissões indiretas resultam das mesmas vias de perda de nitrogênio, assegurando a coerência metodológica entre as categorias do inventário nacional e a estrutura do IPCC.

Uma vez estimadas as emissões por componente, procede-se à sua consolidação em uma métrica comum por meio da aplicação dos fatores de potencial de aquecimento global (GWP), convertendo-se CH₄ e N₂O em CO₂ equivalente. Essa etapa permite a agregação dos diferentes gases em uma unidade comparável, conforme estabelecido pelas diretrizes do GHG Protocol e adotado nos inventários nacionais. O quadro cinco abaixo permite examinar o potencial poluidor de cada grupo de gases.

QUADRO 5
Potencial poluidor dos principais GEE

Gás	GWP100 (AR5 – IPCC, 2014) (CO₂e)	Principais fontes de emissão
Dióxido de carbono (CO ₂)	1	Combustão de combustíveis fósseis nos setores de transporte e indústria; processos industriais; mudanças no uso da terra e cobertura vegetal; produção de ferro e aço
Metano (CH ₄)	28	Fermentação entérica; disposição de resíduos sólidos; manejo de dejetos animais
Óxido nitroso (N ₂ O)	265	Aplicação de fertilizantes nitrogenados em solos agrícolas; tratamento de efluentes; manejo de dejetos animais; queima de biomassa
Hidrofluorcarbonos (HFCs)	138 a 12.400 (dependente do composto)	Sistemas de ar-condicionado e refrigeração
Perfluorcarbonos (PFCs)	6.630 a 11.100 (dependente do composto)	Sistemas de ar-condicionado e refrigeração
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	23.500	Uso em equipamentos elétricos de alta tensão; aplicações em sistemas de refrigeração

Por fim, ressalta-se que a abordagem descrita corresponde ao nível metodológico TIER 1, baseada na utilização de fatores de emissão padrão e dados agregados de atividade. Embora adequada para estimativas iniciais, essa abordagem apresenta limitações quanto à representação da heterogeneidade dos sistemas produtivos, não incorporando variáveis como dieta, peso corporal, produtividade e condições regionais. A evolução para níveis metodológicos mais refinados (Tier 2 ou Tier 3) depende da incorporação progressiva de dados mais específicos, conforme preconizado pelo IPCC, sendo etapa fundamental para o aumento da acurácia das estimativas.

3.2 Fermentação Entérica – CH₄ (3.2A)

As emissões de metano (CH₄) provenientes da fermentação entérica correspondem ao gás gerado durante o processo digestivo dos ruminantes, especialmente bovinos, como resultado da fermentação microbiana de carboidratos no rúmen. Esse processo ocorre naturalmente no sistema digestivo, onde microrganismos decompõem a matéria orgânica ingerida e produzem metano como subproduto, sendo esse gás emitido predominantemente por meio da eructação. A magnitude dessas emissões está diretamente associada a variáveis como quantidade de ingestão de energia bruta, qualidade e digestibilidade da dieta, peso vivo, taxa de crescimento e produtividade animal, fatores esses reconhecidos pelas diretrizes do IPCC como determinantes centrais do nível de emissões em sistemas pecuários.

3.1. Estimando Emissões Baseado em TIER 1

A estimativa das emissões de metano provenientes da fermentação entérica de bovinos, quando conduzida sob a abordagem TIER 1 do IPCC (2006), baseia-se em uma formulação simplificada que relaciona diretamente o tamanho do rebanho aos fatores médios de emissão por animal. Essa abordagem parte do princípio de que, na ausência de dados detalhados sobre dieta, produtividade ou desempenho zootécnico, é possível representar as emissões por meio de fatores de emissão padrão, definidos em função de condições médias de sistemas produtivos representativos. Conforme estabelecido pelas diretrizes do IPCC, essa metodologia tem caráter conservador e é adequada para estimativas iniciais ou contextos com limitação de dados, mantendo coerência com a lógica geral de cálculo baseada na relação entre dados de atividade e fatores de emissão.

Assim, a estimativa das emissões de CH₄ entérico é realizada a partir da multiplicação do número de animais por um fator de emissão médio anual, podendo ser expressa como a soma das emissões por diferentes categorias de rebanho, quando houver desagregação disponível. Para estimar a emissão total em TIER 1, os fatores de emissão selecionados são multiplicados pela população animal correspondente (Equação 10.19) e somados (Equação 10.20):

EQUATION 10.19
ENTERIC FERMENTATION EMISSIONS FROM A LIVESTOCK CATEGORY

$$Emissions = EF_{(T)} \cdot \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

Onde:

- **Emissões** = emissões de metano provenientes da fermentação entérica, Gg CH₄ ano⁻¹
- **EF(T)** = fator de emissão para a população pecuária definida, kg CH₄ cabeça⁻¹ ano⁻¹
- **N(T)** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **T** = espécie/categoria de gado
- **106** = Conversão de unidade 1Gg = 106kg

EQUATION 10.20
TOTAL EMISSIONS FROM LIVESTOCK ENTERIC FERMENTATION

$$\text{Total CH}_{4\text{Enteric}} = \sum_i E_i$$

Onde:

- **CH₄ total (entérico)** = emissões totais de metano da fermentação entérica, Gg CH₄ ano⁻¹
- **E_i** = emissões da i-ésima categoria e subcategoria de gado

Os dados da Tabela 10.11, em anexo, são resumidos no Quadro 6, onde se apresenta os respectivos Fatores de Emissão para o gado bovino, conforme a região e a finalidade do rebanho (leite ou outra). Dados de população animal devem ser obtidos utilizando a abordagem acima, sendo suficiente, para TIER 1, a caracterização básica da população pecuária. Neste cenário, o IPCC adverte que “Os fatores de emissão estimados utilizando o método TIER 1 dificilmente terão precisão melhor que ±30% e podem apresentar incertezas de até ±50%”.

Para fins de comparabilidade e consolidação com outros setores e gases, as emissões de metano devem ser convertidas para dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando fatores de potencial de aquecimento global (GWP). No caso brasileiro, o Relatório do Inventário Nacional (NIR 2024) adota a métrica do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), com horizonte temporal de 100 anos, utilizando um fator GWP de 28 para o metano, sem considerar feedback climático, o que garante consistência com as estimativas oficiais do país.

Conversão do CH₄ para CO₂e:

$$\text{CO}_{2\text{e_enteric}} = \text{CH}_{4\text{_enteric}} \times \text{GWP_CH}_4$$

(Equação C)

Onde:

- **GWP_CH₄** = 28 (AR5, 100 anos, sem feedback)

Essa escolha metodológica assegura alinhamento com as práticas internacionais de reporte e com os critérios adotados no inventário nacional, sendo também compatível com aplicações voltadas à mensuração de emissões indiretas em cadeias de valor e no contexto de finanças sustentáveis. Portanto, recomenda-se utilizar o GWP AR5 (100 anos), cujo fator de conversão é 28 (sem feedback climático).

Fatores de Emissão TIER 1

O fator de emissão utilizado na abordagem TIER 1 para fermentação entérica de bovinos corresponde a um valor médio padronizado, definido pelo IPCC (2006), que representa a quantidade anual de metano emitida por animal, expressa em kg CH₄/cabeça/ano. Esse fator é derivado a partir de condições médias globais ou regionais de produção, incorporando implicitamente variáveis como ingestão de energia, composição da dieta, digestibilidade e características fisiológicas dos animais. Dessa forma, no TIER 1, o fator de emissão não é estimado a partir de variáveis observadas no sistema produtivo específico, mas sim aplicado diretamente como um parâmetro fixo previamente estabelecido, o que simplifica significativamente a operacionalização do cálculo. Essa simplificação é consistente com a lógica geral das diretrizes do IPCC, nas quais fatores default são utilizados quando não há disponibilidade de dados detalhados, assegurando consistência, transparência e comparabilidade entre estimativas.

Resumimos os fatores relevantes na tabela 10.11 a seguir.

QUADRO 6

Fatores de Emissão TIER 1 para Emissões Entéricas de Bovinos para América Latina

Região	Características gerais	EF (kg CH ₄ head-1 yr-1)	EF (kg CH ₄ head-1 yr-1)
América Latina	setor leiteiro comercial baseado em pastejo. Rebanho separado de vacas de corte, utilizando pastagens e áreas de campo natural. Baixa utilização de confinamento com alimentação à base de grãos. O gado não leiteiro em crescimento representa grande parcela da população.	Leiteiro: 72 Produção média de leite de 800 kg/cabeça/ano.	Outros bovinos: 56 Inclui vacas de corte, touros e animais jovens.

Gado Leiteiro: EF = 72 kg CH₄ por cabeça/ano

Gado de Corte: EF = 56 kg CH₄ por cabeça/ano

Estimativa de Emissões por cabeça/ano:

Gado Leiteiro - Conversão para CO₂e

$$\text{CH}_4 = 72 \text{ kg CH}_4 \text{ por cabeça/ano} \times 28$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 2.016 \text{ kg CO}_2\text{e por cabeça/ano}$$

Gado de Corte - Conversão para CO₂e

$$\text{CH}_4 = 56 \text{ kg CH}_4 \text{ por cabeça/ano} \times 28$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 1.568 \text{ kg CO}_2\text{e por cabeça/ano}$$

Resultados:

Gado Leiteiro: 2.016 kg CO₂e por cabeça/ano

Gado de Corte: 1.568 kg CO₂e por cabeça/ano

A partir da aplicação dos fatores de emissão TIER 1 expressos em kg CH₄/cabeça/ano e da posterior conversão para CO₂ equivalente utilizando o fator de Potencial de Aquecimento Global (GWP), conforme o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) adotado no Inventário Nacional brasileiro, é metodologicamente válido expressar esses resultados diretamente em kg CO₂e/cabeça/ano para uso em estimativas subsequentes. Essa conversão segue o princípio estabelecido pelo IPCC e pelo GHG Protocol de agregação de emissões de diferentes gases em uma métrica comum baseada em CO₂ equivalente, mediante aplicação de fatores GWP com horizonte de 100 anos. Assim, os valores obtidos podem ser interpretados como fatores de emissão equivalentes em CO₂e, desde que mantida a consistência metodológica, a transparência quanto às premissas adotadas e a rastreabilidade da origem dos fatores de emissão de metano utilizados no cálculo.

4.2 Manejo de Dejetos Animais (3.B)

A categoria Manejo de Dejetos (3.B) abrange, de forma geral, emissões de CH₄ e N₂O associados ao armazenamento, tratamento e disposição em sistema controlado dos dejetos do rebanho, não considerando qualquer aplicação no solo. O termo dejetos engloba tanto fezes quanto urina produzidas pelo gado. Contudo, a forma como essas emissões são operacionalizadas metodologicamente no inventário permite uma distinção clara entre os gases ao nível das subcategorias, dentre aquelas tratadas por meio das equações de CH₄ que modelam a produção de metano a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica (sólidos voláteis) nos dejetos. Assim, do ponto de vista prático de cálculo no NIR 2024, a categoria 3.B.1 – Bovinos (e demais subcategorias análogas por espécie) representa as emissões de CH₄.

Por outro lado, as emissões de N₂O no manejo de dejetos são tratadas separadamente. As emissões indiretas de N₂O são explicitamente alocadas na subcategoria 3.B.5, conforme indicado no próprio relatório, sendo estimadas com base nas perdas de nitrogênio por volatilização de NH₃ e NO_x, que posteriormente

dão origem ao N_2O fora do sistema de manejo. Dessa forma, embora o NIR reconheça conceitualmente que o manejo de dejetos gera tanto CH_4 quanto N_2O , a estrutura de cálculo torna explícito que as subcategorias 3.B.1–3.B.4 são operacionalizadas para CH_4 , enquanto o N_2O indireto é tratado de forma agregada em 3.B.5, não sendo desagregado por tipo de animal.

Sendo assim, no contexto metodológico do IPCC (2006 – Volume 4, AFOLU, Capítulo 10) e de sua implementação no NIR 2024, as emissões provenientes do manejo de dejetos (3.B) compreendem tanto o CH_4 quanto o N_2O , sendo estes gases estimados por abordagens distintas no âmbito do TIER 1. A formulação analítica baseada em sólidos voláteis, utilizada para derivar os fatores de emissão de metano, é específica para a estimativa deste gás, uma vez que descreve o potencial metanogênico do dejetos em condições anaeróbias, refletindo a decomposição da matéria orgânica em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio.

Por sua vez, as emissões de N_2O no manejo de dejetos são igualmente contempladas no TIER 1, porém por meio de uma abordagem metodológica distinta, baseada no fluxo de nitrogênio excretado e nos sistemas de manejo, utilizando fatores de emissão específicos: EF_3 para emissões diretas durante o manejo e EF_4 e EF_5 para emissões indiretas associadas às perdas de nitrogênio por volatilização e lixiviação, respectivamente. Seguiremos cada uma destas trilhas separadamente.

Esse capítulo será conduzido, portanto, no sentido de estudar as diversas equações de emissões associadas tanto a ciclo do carbono quanto do nitrogênio abordando ainda a peculiaridade do dejetos em pastagem (PRP) como um caso especial em que as emissões do CH_4 são tratadas neste capítulo ao passo que as emissões associadas ao N_2O são tratadas no capítulo de Solos Manejados, já que a rigor não existe manejo algum.

4.1. Manejo de Dejetos Animais - CH_4

A **formulação analítica baseada em sólidos voláteis** utilizada para derivar fatores de emissão de metano no Manejo de Dejetos bovinos apresenta uma particularidade relevante no TIER 1 do IPCC (2006): existe tanto a possibilidade de utilizar fatores de emissão diretos quanto em estrutura analítica, podendo ser derivados a partir de variáveis como a parcela decomposta do esterco que vira gás (Sólidos Voláteis - VS), o valor máximo de metano que aquele esterco pode gerar (B_0) e a eficiência real de transformação em metano, dependendo do manejo (MCF), conforme as equações metodológicas do IPCC para o subsetor.

Assim, ainda que ambas as abordagens pertençam ao escopo do TIER 1, há uma distinção operacional importante: o uso de fatores diretos de emissão privilegia a

simplicidade e a aplicabilidade imediata, enquanto a formulação analítica dos fatores permite maior transparência e melhor compreensão dos determinantes físicos das emissões. Neste capítulo, serão deliberadamente exercitadas ambas as abordagens com o objetivo de explicitar as implicações metodológicas, os requisitos de dados e o potencial de evolução do modelo, mantendo aderência ao NIR 2024 e à sua correspondência com o arcabouço do IPCC (2006).

Os fatores de emissão utilizados no TIER 1 para o CH₄ em Manejo de Dejetos (3.B) têm sua base nas IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006), Volume 4 – AFOLU, Capítulo 10 (Emissions from Livestock and Manure Management), especialmente nas tabelas dos anexos técnicos, em seu apêndice 10A, como as tabelas 10A.4 e 10A.5 (ANEXO B), que apresentam valores e parâmetros para diferentes categorias de animais e sistemas de manejo. Essas tabelas fornecem tanto valores agregados diretamente aplicáveis quanto os parâmetros necessários para a construção dos fatores por meio das equações analíticas do próprio capítulo, como aquelas baseadas em VS, B₀ e MCF, evidenciando que o TIER 1 admite diferentes níveis de detalhamento dentro do mesmo enquadramento metodológico.

4.2.2 Utilizando TIER 1 – Fatores Diretos

De forma similar às emissões entéricas, também as emissões do manejo de dejetos podem ser obtidas pela equação:

EQUATION 10.22
CH₄ EMISSIONS FROM MANURE MANAGEMENT

$$CH_{4Manure} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Onde:

- **CH₄(Manure)_j** = emissões de CH₄ provenientes do manejo de dejetos, para uma população definida, Gg CH₄ ano⁻¹
- **EF(T)** = fator de emissão para a população pecuária definida, kg CH₄ cabeça⁻¹ ano⁻¹
- **N(T)** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **T** = espécie/categoria de gado

Conversão do CH₄ para CO₂e é feita pela utilização da equação C, conforme apresentado na seção anterior.

Fator de Emissão TIER 1 Direto: EF = 1kg CH₄ /cabeça/ano

Para condições típicas da América Latina, caracterizadas por elevada participação de sistemas extensivos com deposição direta em pastagem, os fatores de emissão TIER 1 resultam em valores próximos a 1 kg CH₄/cabeça/ano, conforme tabela 10.A-4 e 10.A-5, aqui resumida conforme cada tipo de rebanho bovino.

QUADRO 7
Fatores de Emissão Diretos de TIER 1 do IPCC

Gado Bovino leiteiro																													
Region	Emission Factors kg CH ₄ per head per year																												
	Cool							Temperate																Warm					
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
North America ^a	48	50	53	55	58	63	65	68	71	74	78	81	85	89	93	98	105	110	113	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Western Europe	31	33	35	37	39	44	47	50	53	57	61	65	69	73	77	81	85	90	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eastern Europe	11	13	13	14	15	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oceania	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Latin America	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Africa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Middle East	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Asia	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	24	26	28	31	33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Indian Subcontinent	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6									

Gado Bovino de Corte (outros)																													
Emission Factors kg CH ₄ per head per year																													
Cool							Temperate																Warm						
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	7	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	24	25	26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	25	28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Gado Bovino de Corte (outros)																												
Emission Factors kg CH ₄ per head per year																												
Cool							Temperate																Warm					
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	7	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24	27	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

O valor de 1 kg CH₄/cabeça/ano adotado para a América Latina no TIER 1 de Manejo de Dejetos (3.B) deriva diretamente das tabelas do IPCC (2006, Volume 4 – AFOLU, Apêndice 10A, especialmente Tabelas 10A-4 e 10A-5), nas quais os fatores de emissão são apresentados em função de variáveis como temperatura média anual e sistemas de manejo do dejetos. Entretanto, no caso específico da América Latina, observa-se que os valores resultantes permanecem praticamente constantes ao longo de todo o intervalo de temperaturas (cool, temperate and warm), refletindo uma combinação típica assumida para a região, caracterizada por predominância de sistemas extensivos a pasto (alta fração de dejetos em “pasture/range”) e baixos fatores de conversão anaeróbia (MCF).

Estimativa de Emissões por cabeça/ano

$$\text{CH}_4 = 1 \text{ kg CH}_4 \text{ por cabeça/ano} \times 28$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 28 \text{ kg CO}_2\text{e por cabeça/ano}$$

$$\text{Gado Bovino (corte ou leite)} = 28 \text{ kg CO}_2\text{e por cabeça/ano}$$

A partir da aplicação da abordagem TIER 1 baseada em fatores de emissão diretos do Manejo de Dejetos (3.B), expressos em kg CH₄/cabeça/ano, e da posterior conversão para dióxido de carbono equivalente utilizando o fator de Potencial de Aquecimento Global (GWP) de 28, conforme o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) adotado no Inventário Nacional brasileiro, é metodologicamente consistente expressar os resultados diretamente em kg CO₂e/cabeça/ano para fins de estimativas subsequentes. Assim, o valor obtido de 28 kg CO₂e/cabeça/ano pode ser utilizado como um fator de emissão equivalente simplificado para o manejo de dejetos, desde que sejam explicitadas as premissas associadas ao uso

de fatores default TIER 1 e à ausência de diferenciação por sistema de manejo, clima ou características produtivas específicas.

4.1.2.2 Utilizando TIER 1 – Derivação Analítica dos Fatores de Emissão

No contexto do IPCC (2006, Volume 4 – AFOLU, Capítulo 10) e conforme operacionalizado no NIR 2024 – categoria Manejo de Dejetos (3.B), a abordagem TIER 1 pode também ser estruturada de forma analítica, na qual o fator de emissão deixa de ser tratado como um valor fixo e passa a ser derivado a partir de variáveis físicas que representam o processo de geração de metano. Nessa estrutura, a lógica do cálculo parte da estimativa da quantidade de matéria orgânica disponível para decomposição (sólidos voláteis – VS), da sua capacidade máxima de produzir metano (B_0) e do grau em que esse potencial é efetivamente realizado, representado pelos fatores de conversão de metano (MCF) aplicados aos diferentes sistemas de manejo de dejetos (MS).

Assim, o cálculo das emissões por cabeça/ano resulta da combinação desses parâmetros ao longo do tempo (base anual), refletindo a interação entre características biológicas do dejetos e condições operacionais do sistema produtivo. Essa abordagem mantém-se dentro do TIER 1, mas permite explicitar os determinantes do processo emissor, evidenciando como fatores como temperatura, tipo de manejo (líquido, sólido ou pasto) e distribuição dos dejetos entre sistemas influenciam as emissões finais. Dessa forma, o TIER 1 analítico atua como uma ponte conceitual entre a simplicidade dos fatores default e o maior detalhamento do TIER 2, mantendo coerência metodológica com o IPCC (2006) e com a estrutura adotada no Inventário Nacional.

Neste contexto é fundamental destacar que a estimativa das emissões está intrinsecamente condicionada aos sistemas de manejo de dejetos adotados no sistema produtivo, conforme definido nas IPCC Guidelines (2006, Volume 4 – AFOLU, Capítulo 10) e definidas no ANEXO C. Esses sistemas incluem tipologias como:

- lagoas anaeróbias (lagoon),
- sistemas líquidos (liquid/slurry) – aplicado a esterqueira,
- armazenamento sólido (solid storage),
- currais secos (dry lot),
- pastagens (pasture/range/paddock),
- aplicação diária no solo (daily spread),
- biodigestores (digester),
- uso como combustível (burned for fuel).

Sistemas com maior predominância de condições anaeróbias, como lagoas ou armazenamentos líquidos, tendem a apresentar valores elevados de MCF e,

portanto, maiores emissões, enquanto sistemas como pastagem ou aplicação diária favorecem condições aeróbias e geram emissões significativamente menores.

Embora o IPCC disponibilize fatores de emissão Tier 1 diretamente aplicáveis, a Equação 10.23 permite derivar explicitamente esses fatores a partir de parâmetros padrão (default) do próprio IPCC. Neste estudo optou-se por apresentar essa derivação analítica como forma de aumentar a transparência metodológica e evidenciar a influência dos sistemas de manejo de dejetos na emissão final de CH₄.

EQUATION 10.23
CH₄ EMISSION FACTOR FROM MANURE MANAGEMENT

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[B_{o(T)} \cdot 0.67 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot MS_{(T,S,k)} \right]$$

$$EF = VS \times 365 \times Bo \times 0,67 \times \Sigma (MS \times MCF)$$

(Equação D)

Onde:

- **EF(T)** = fator de emissão anual de CH₄ para a categoria pecuária T, em kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹
- **VS(T)** = sólidos voláteis excretados diariamente pela categoria pecuária T, em kg de matéria seca animal⁻¹ dia⁻¹
- **365** = base para o cálculo da produção anual de sólidos voláteis (VS), dias ano⁻¹
- **Bo(T)** = potencial máximo de produção de metano dos dejetos gerados pela categoria pecuária T, em m³ CH₄ kg⁻¹ de VS excretado
- **0,67** = fator de conversão de m³ de CH₄ para quilogramas de CH₄
- **MCF(S,k)** = fator de conversão de metano para cada sistema de manejo de dejetos S na região climática k, em %
- **MS(T,S,k)** = fração dos dejetos da categoria pecuária T manejada no sistema de manejo S na região climática k, em %

O primeiro termo da equação 10.23 representa os sólidos voláteis excretados por ano em kg de matéria seca por animal. O segundo termo significa o potencial de geração de metano efetivo por kg de VS, dado em m³ CH₄/kg VS, onde $\Sigma(MCF/100 \times MS)$ é o MCF ou Fator de Conversão em Metano médio para os sistemas utilizados, cujo somatório deve ser multiplicado pelo potencial máximo de produção de metano, resultando na massa de CH₄ produzida por kg de sólido volátil (VS) excretado para aqueles sistemas para aquela categoria de gado bovino.

Exercício 1: Assumindo situação particular gado leiteiro

Onde a finalidade do rebanho bovino é para produção de leite (tabela 10A-4), na América Latina com indicativo de sistema de manejo uso dos sistemas de manejo (MS%) conforme exemplo da tabela 10A-4 em 1% liquid slurry, 1% solid storage, 36% PRP, e 62% daily spread, considerando ainda, uma temperatura média anual de 20 graus celsius que define parâmetros de MCF.

Parâmetros IPCC identificados em Other Cattle – Latin America, a tabela 10A-4 de derivação do IPCC para as hipóteses definidas, informa:

- Massa média = 400 kg/cabeça;
- $B_o = 0,13 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}$;
- $VS = 2,9 \text{ kg VS/cabeça/dia}$;

QUADRO 8

Extrato da tabela 10A-4 para exercício 1

Table 10A-4 Manure Management Methane Emission Factor Derivation for Dairy Cows												
Annual Average Temperature (°C)			Manure Management System MCFs									
			Lagoon ¹	Liquid/ Slurry ¹	Solid Storage	Drylot	Pasture/ Range/ Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other	
Cool	10		66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	11		68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	12		70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	13		71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	14		73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
Temp	15		74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	16		75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	17		76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	18		77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	19		77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	20		78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	21		78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	22		78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	23		79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	24		79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
Warm	25		79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	26		79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
	27		80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
	28		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
Region	Dairy Cow Characteristics			Manure Management System Usage (MS%)								
	Mass ^a kg	B_o^b $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}$	VS^c kg/hd/day									
North America ^d	604	0.24	5.4	15.0%	27.0%	26.3%	0.0%	10.8%	18.4%	0.0%	0.0%	2.6%
Western Europe	600	0.24	5.1	0.0%	35.7%	36.8%	0.0%	20.0%	7.0%	0.0%	0.0%	0.5%
Eastern Europe	550	0.24	4.5	0.0%	17.5%	60.0%	0.0%	18.0%	2.5%	0.0%	0.0%	2.0%
Oceania	500	0.24	3.5	16.0%	1.0%	0.0%	0.0%	76.0%	8.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Latin America	400	0.13	2.9	0.0%	1.0%	1.0%	0.0%	36.0%	62.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Africa	275	0.13	1.9	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	83.0%	5.0%	0.0%	6.0%	4.0%
Middle East	275	0.13	1.9	0.0%	1.0%	2.0%	0.0%	80.0%	2.0%	0.0%	17.0%	0.0%
Asia	350	0.13	2.8	4.0%	38.0%	0.0%	0.0%	20.0%	29.0%	2.0%	7.0%	0.0%
Indian Subcontinent	275	0.13	2.6	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	27.0%	19.0%	1.0%	51.0%	0.0%

Calculando, MCF ponderado é:

$$\text{MCF_\"pond\"} = (42\% \times 1\%) + (4\% \times 1\%) + (1,5\% \times 36\%) + (0,5 \times 62\%)$$

$$\text{MCF_\"pond\"} = 0,0042+0,0004+0,0054+0,031$$

$$\text{MCF} = 1,31\%$$

Então para gado de leite:

$$\text{EF} = 2,9 \text{ kg} \times 365 \times 0,13 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg} \times 0,67 \times 0,0131$$

$$EF = 1,21 \text{ Kg CH}_4 \text{ cabeça/ano}$$

Conversão para CO₂e

$$\text{CO}_2\text{e} = 1,21 \times 28 = 33,82 \text{ kg CO}_2\text{e cabeça/ano}$$

Comparativamente ao Fator de Emissão padrão de 1 Kg CH₄ cabeça/ano o valor obtido pela tabela analítica de 1,21 Kg CH₄ mostra uma diferença significativa. Eventual utilização de percentuais mais realistas pode conduzir a um fator de emissão mais representativo da realidade, mesmo em TIER 1, na situação de gado leiteiro.

Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

Rebanho com finalidade de corte, supondo sistema de manejo majoritariamente ausente, 99% em pasture/range/paddock e 1% em other para América Latina, conforme exemplo da tabela 10A-5, supondo ainda, temperatura média anual de 20 graus celsius.

QUADRO 9

Extrato da tabela 10A-5 para exercício 2

Table 10A-5 Manure Management Methane Emission Factor Derivation for Other Cattle												
Annual Average Temperature (°C)		Manure Management System MCFs										
		Lagoon ¹	Liquid/ Slurry ¹	Solid Storage	Drylot	Pasture/ Range/ Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other		
Cool	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
Temp	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
Warm	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
Region	Other Cattle Characteristics			Manure Management System Usage (MS%)								
	Mass ^a kg	B ₀ ^b m ³ CH ₄ /kg VS	VS ^c kg/hd/day	Lagoon	Liquid/ Slurry	Solid Storage	Drylot	Pasture/ Range/ Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other
North America	389	0.19	2.4	0.0%	0.2%	0.0%	18.4%	81.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Western Europe	420	0.18	2.6	0.0%	25.2%	39.0%	0.0%	32.0%	1.8%	0.0%	0.0%	2.0%
Eastern Europe	391	0.17	2.7	0.0%	22.5%	44.0%	0.0%	20.0%	0.0%	0.0%	0.0%	13.5%
Oceania	330	0.17	3.0	0.0%	0.0%	0.0%	9.0%	91.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Latin America	305	0.1	2.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	99.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
Africa	173	0.1	1.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	95.0%	1.0%	0.0%	3.0%	0.0%
Middle East	173	0.1	1.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	79.0%	2.0%	0.0%	17.0%	2.0%
Asia	319	0.1	2.3	0.0%	0.0%	0.0%	46.0%	50.0%	2.0%	0.0%	2.0%	0.0%
Indian Subcontinent	110	0.1	1.4	0.0%	1.0%	0.0%	4.0%	22.0%	20.0%	1.0%	53.0%	0.0%
^a Average other cattle mass for each region (default estimates are ±25%)												

^a Average other cattle mass for each region (default estimates are ±25%)

Parâmetros IPCC identificados em Other Cattle – Latin America, a tabela de derivação do IPCC para as hipóteses definidas, informa:

- Massa média = 305 kg/cabeça;

- $Bo = 0,10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}$;
- $VS = 2,5 \text{ kg VS/cabeça/dia}$;

Calculando, MCF ponderado é:

$$\begin{aligned} \text{MCF_\"pond\"} &= (0,99 \times 1,5\%) + (0,01 \times 1,0\%) \\ \text{MCF_\"pond\"} &= 1,485\% + 0,010\% = 1,49\% \\ \text{MCF} &= 1,49\% \end{aligned}$$

Então para gado de corte:

$$\begin{aligned} EF &= (2,5 \text{ kg} \times 365) \times (0,10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg} \times 0,67) \times 0,0149 \\ EF &= 0,91 \text{ Kg CH}_4 \text{ cabeça/ano} \end{aligned}$$

Esse valor é consistente com a tabela consolidada do IPCC, que o apresenta arredondado para 1 kg CH₄/cabeça/ano a 20°C para Latin America / Other Cattle.

Conversão para CO₂e

$$\text{CO}_2\text{e} = 0,91 \times 28 = 25,51 \text{ kg CO}_2\text{e cabeça/ano}$$

A comparação entre o valor obtido pela formulação analítica ($\approx 0,91 \text{ kg CH}_4/\text{cabeça/ano}$) e o fator de emissão default apresentado pelo IPCC (1 kg CH₄/cabeça/ano para Latin America / Other Cattle) demonstra uma clara convergência metodológica entre a abordagem analítica e o TIER 1 simplificado, neste particular.

BOX METODOLÓGICO

Tratamento Metodológico da Fração de Manejo de Dejetos (MS(T,S))

De acordo com o IPCC 2006 Guidelines (Volume 4 – AFOLU, Capítulo 10 – Manure Management), a variável MS(T,S) — a fração do nitrogênio ou do dejetos manejado em cada sistema de manejo — deve ser tratada como dado específico do país (country-specific data). O IPCC estabelece que a distribuição dos sistemas de manejo (manure management system usage data) deve ser obtida, prioritariamente, a partir de estatísticas nacionais, levantamentos setoriais ou pesquisas específicas, refletindo as condições reais de produção pecuária e práticas de manejo adotadas no país.

Essa diretriz implica que o IPCC não define valores default universais para MS(T,S) aplicáveis diretamente em inventários, sendo necessário utilizar dados nacionais (como por exemplo o Inventário Nacional) ou estimativas baseadas em conhecimento técnico local. Embora o anexo do IPCC (Annex 10A) apresente

valores regionais ilustrativos, esses são utilizados como suporte metodológico e não substituem dados nacionais consolidados.

Importante destacar que essa abordagem não se restringe ao cálculo de CH_4 , sendo igualmente aplicável a todas as estimativas do capítulo de manejo de dejetos que utilizam a variável MS(T,S) , incluindo o cálculo de emissões de N_2O . Dessa forma, a consistência metodológica exige que a mesma distribuição de sistemas de manejo seja utilizada de forma integrada em todas as estimativas do subsetor, conforme explicitamente recomendado pelo IPCC.

Síntese técnica: MS(T,S) é um parâmetro crítico e sensível, sem valor default aplicável no TIER 1, devendo ser sempre baseado em dados nacionais ou setoriais, garantindo representatividade das práticas de manejo e consistência entre os cálculos de CH_4 e N_2O no inventário de GEE.

4.2. Manejo de Dejetos Animais – Emissões Diretas de N_2O

As emissões diretas de N_2O associadas ao manejo de dejetos animais não são apresentadas de forma explicitamente desagregada na tabela resumo do Inventário Nacional, estando implicitamente incorporadas nos totais das categorias 3.B.1 a 3.B.4 (Manure Management) — que agregam CH_4 e N_2O direto por espécie —, enquanto apenas as emissões indiretas de N_2O são destacadas separadamente em 3.B.5. O IPCC estabelece que as emissões diretas de N_2O do manejo de dejetos são calculadas a partir da quantidade de nitrogênio excretado e da fração manejada em cada sistema, multiplicada por fatores de emissão específicos.

“O método de Nível 1 (TIER 1) envolve a multiplicação da quantidade total de excreção de N (de todas as espécies/categorias de gado) em cada tipo de sistema de manejo de dejetos por um fator de emissão para aquele tipo de sistema (ver Equação 10.25). As emissões são, então, somadas para todos os sistemas de manejo de dejetos. O método de TIER 1 é aplicado utilizando os fatores de emissão de N_2O padrão do IPCC, dados padrão de excreção de nitrogênio e dados padrão de sistemas de manejo de dejetos (ver Anexo 10A.2, Tabelas 10A-4 a 10A-8 para alocações padrão de sistemas de manejo).”

As Tabelas 10A-4 a 10A-8 do Anexo 10A do IPCC (2006) apresentam distribuições padrão (default manure management system allocations) dos dejetos entre os diferentes sistemas de manejo, sendo destinadas à aplicação do método Tier 1 quando não há informações específicas sobre o destino dos dejetos. Em aplicações práticas, como inventários corporativos, avaliações de propriedades rurais ou estudos de caso, recomenda-se utilizar dados observados da operação para determinar a fração de dejetos destinada a cada sistema de manejo (MS), substituindo os valores padrão do IPCC. Os fatores de emissão de N_2O direto permanecem obtidos da Tabela 10.21, enquanto as tabelas do Anexo 10A servem apenas para estimar a distribuição dos dejetos na ausência de dados primários.

A base conceitual para emissões de N_2O é:

EQUATION 10.25
DIRECT N_2O EMISSIONS FROM MANURE MANAGEMENT

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T \left(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \right) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Onde:

- **$N_2O_{D(mm)}$** = emissões diretas de N_2O provenientes do manejo de dejetos no país, $kg\ N_2O\ ano^{-1}$
- **$N(T)$** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **$Nex(T)$** = excreção média anual de nitrogênio por cabeça da espécie/categoria T no país, $kg\ N\ animal^{-1}\ ano^{-1}$
- **$MS(T,S)$** = fração da excreção total anual de nitrogênio para cada espécie/categoria pecuária T que é manejada no sistema de manejo de dejetos S no país, adimensional
- **$EF_3(S)$** = fator de emissão para emissões diretas de N_2O provenientes do sistema de manejo de dejetos S no país, $kg\ N_2O\ N / kg\ N$ no sistema de manejo S (Tabela 10.21)
- **S** = sistema de manejo de dejetos
- **T** = espécie/categoria de gado
- **$44/28$** = fator de conversão de emissões de $N_2O\ N$ para N_2O

A aplicação metodológica exige saber, em primeiro lugar, a quantidade de Nitrogênio excretado por animal e isso depende de muitos aspectos ligados a alimentação e outros, contudo pode ser utilizado um valor padrão para cada objetivo da criação bovina (carne ou leite). Em seguida é necessário compreender como esse dejetos é tratado e assim utilizar fatores ($EF_3(S)$) específicos para cada sistema de manejo que estabelecem o quanto o nitrogênio pode resultar na emissão de N_2O após sofrer processos de transformação microbiológica (nitrificação e desnitrificação). Cada sistema possui um fator específico. Inicialmente obtenho valores em massa de nitrogênio contida no óxido nitroso, ou seja, N_2O-N . É necessário transformar essa massa em N_2O pelo fator de conversão.

No caso de bovinos, para animais a pasto (sistema extensivo), o IPCC estabelece que a fração de dejetos manejada é nula ($MS = 0$), de modo que as emissões não são contabilizadas na categoria de manejo de dejetos, devendo ser integralmente reportadas como emissões de N_2O em solos manejados (Managed Soils, equivalente ao 3.D no NIR). Por outro lado, para animais em confinamento ou semiconfinamento, há fração positiva de dejetos manejados ($MS > 0$), o que implica que parte do nitrogênio excretado é coletada, armazenada ou tratada, sendo então

incluída na categoria de Manure Management. Uma vez definida essa alocação, o IPCC orienta que as emissões diretas de N_2O sejam estimadas por sistema de manejo específico, utilizando fatores de emissão ($EF_3(S)$) aplicados à fração de nitrogênio que efetivamente passa por esses sistemas, conforme a Equação 10.25 – Direct N_2O emissions from manure management. Assim, sistemas distintos — como lagoas anaeróbias, armazenamento sólido ou compostagem — apresentam fatores de emissão diferentes, e a estimativa final resulta da combinação entre excreção de nitrogênio, fração manejada por sistema e fator de emissão correspondente.

No caso de bovinos, a aplicação dessa metodologia apresenta pontos críticos relevantes. O principal deles é a correta definição da fração de dejetos que efetivamente passa por manejo (MS), uma vez que, em países como o Brasil, a maior parte do rebanho é criada em sistemas extensivos, o que implica que a maior parcela das emissões de N_2O associadas aos dejetos ocorre fora da categoria de manejo de dejetos e deve ser reportada em solos manejados. Além disso, há elevada incerteza associada à estimativa da excreção de nitrogênio (N_{ex}), fortemente dependente da dieta e produtividade animal, bem como aos fatores de emissão EF_3 , que, na ausência de dados nacionais, são frequentemente baseados em valores default do IPCC.

EQUATION 10.30
ANNUAL N EXCRETION RATES

$$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365$$

Onde:

- **$N_{ex(T)}$** = excreção anual de nitrogênio para a categoria pecuária T, kg N animal⁻¹ ano⁻¹
- **$N_{rate(T)}$** = taxa padrão de excreção de nitrogênio, kg N (por 1.000 kg de massa animal)⁻¹ dia⁻¹ (ver Tabela 10.19)
- **$TAM(T)$** = massa corporal média típica do animal para a categoria pecuária T, kg animal⁻¹ (obtido da tabela 10A-4 e 10A-5)

Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro

Valores da tabela 10.19 (ANEXO D) estão em kg N / 1.000 kg de peso vivo / dia, sendo necessário uma transformação pela seguinte equação:

Conversão NEX para base anual ainda por 1.000 kg de peso vivo animal

Gado de Corte -> $0,36 \times 365 \approx 131$ kg N/1000 kg/ano

Gado Leiteiro -> $0,48 \times 365 \approx 175$ kg N/1000 kg/ano

Conversão de NEX para base por cabeça de gado utilizando valores de massa corporal diferenciados por categoria produtiva, conforme Tabelas 10A-4 e 10A-5 do IPCC (2006), adotando-se 305 kg para bovinos de corte e 400 kg para bovinos leiteiros. Alternativamente, pode-se utilizar o TAM (Typical Animal Mass) da Tabela 10.30 (400 kg para América Latina) em abordagens TIER 1 mais agregadas ou na ausência de desagregação do rebanho. Valores médios observados no projeto podem ser utilizados no caso particular.

$$\text{Gado de Corte} \rightarrow 131 \times (305/1000) = 40,077 \text{ kg N/cab/ano}$$

$$\text{Gado Leiteiro} \rightarrow 175 \times (400/1000) = 70,08 \text{ kg N/cab/ano}$$

$$\text{Nex(corte)} = 40,077 \text{ kg N/cab/ano}$$

$$\text{Nex(Leite)} = 70,08 \text{ kg N/cab/ano}$$

A estimativa da excreção de nitrogênio (Nex) para bovinos pode ser realizada a partir dos valores default da Tabela 10.19 do IPCC (2006), expressos em kg N por 1.000 kg de massa animal por dia, convertidos para base anual e ajustados pela massa típica do animal (TAM), conforme a Equação 10.30. Para a América Latina, adotando-se TAM de 400 kg ou 305 Kg, obtêm-se valores aproximados de 40,1 kg N/cabeça/ano para bovinos de corte e 70,1 kg N/cabeça/ano para bovinos leiteiros. Ressalta-se, entretanto, que inventários nacionais, como o do Brasil, utilizam dados específicos por categoria animal, resultando em valores de Nex distintos dos defaults do IPCC. Os valores de Nex utilizados correspondem a valores default do IPCC, podendo divergir de estimativas baseadas em dados nacionais ou sistemas produtivos específicos.

MS(T,S) é fração do N manejado em cada sistema de manejo, sendo um dado estrutural do sistema produtivo, e não um resultado do cálculo de emissões.

As emissões diretas de N₂O são estimadas pela soma ponderada das emissões por sistema de manejo, em função da fração de nitrogênio excretado que transita por cada sistema (MS) e dos fatores de emissão específicos (EF₃). Seguiremos o exemplo até aqui aplicado na emissão do CH₄ para sistema de manejo utilizando:

- 1% liquid slurry;
- 1% solid storage;
- 36% PRP;
- 62% daily spread.

Reescrevendo a equação 10.25 para uma categoria de animal, obtemos:

$$\text{N}_2\text{O} = \text{N} \times \text{Nex} \times \sum \text{S} [\text{MS}(\text{S}) \times \text{EF}_3(\text{S})] \times 44/28$$

(Equação E)

Veja que por definição o MS quando aplicado à deposição de dejetos em pastagem é zero, pois o cálculo desta fração será feito em solos manejados, como já foi alertado.

Isso nos exige imediatamente encontrar EF3 para cada sistema utilizando a tabela 10.21 do IPCC - Default emission factors for direct N₂O emissions from manure management, cujos valores relevantes ao exemplo são destacados a seguir:

QUADRO 10

Fatores de Emissão Diretas de N₂O para sistemas de manejo selecionados

Sistema IPCC	EF ₃ (S) (kg N ₂ O-N / kg N)
Liquid/Slurry	0,005
Solid storage	0,005
Daily spread	0
PRP (pasture)	tratado em Managed Soils (3.D), não entra no EF ₃

Observe que de fato para o sistema Daily Spread repete-se a mesma condição da criação extensiva em que para o IPCC, as emissões de N₂O as emissões de N₂O não são contabilizadas no manejo de dejetos, sendo alocadas ao compartimento de solos manejados conforme diretrizes do IPCC, sendo consideradas ocorrendo no solo (3.D).

Obtendo as emissões

Primeiro passo: Cálculo do nitrogênio excretado total

$$1 \times 70,08 = 70,08 \text{ kg N/ano}$$

Segundo passo: Cálculo das emissões de N₂O-N por sistema de manejo de dejetos

$$(0,01 \times 70,08 \text{ kg N/cab/ano}) + (0,01 \times 70,08 \text{ kg N/cab/ano}) \\ + (0,62 \times 70,08 \text{ kg N/cab/ano})$$

Terceiro passo: aplicação do Fator de Emissão EF(3) em cada sistema:

Liquid Slurry

$$0,7008 \times 0,005 = 0,0035$$

Solid Storage

$$0,7008 \times 0,005 = 0,0035$$

Pasture/Range/Paddock (PRP)

não se aplica

Daily Spread

$$EF(3) = 0$$

Somatório de kg N₂O–N para todos os sistemas = 0,00701

Quarto Passo: Converter para Kg N₂O

$$0,00701 \times 44/28 = 0,011 \text{ kg N}_2\text{O/cabeça/ano}$$

Quinto Passo: Conversão de N₂O para CO₂e

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{N}_2\text{O} \times \text{GWP AR5}(\text{N}_2\text{O})$$

Referência IPCC	GWP do N ₂ O
AR4 (2007)	298
AR5 (2014)	265

$$\text{CO}_2\text{e} = 0,011 \text{ kg N}_2\text{O/cabeça/ano} \times 265 = 2,918 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Observe um detalhe importante: O resultado de 0,011 kg N₂O/cabeça/ano representa somente as emissões diretas de N₂O provenientes do manejo de dejetos (categoria 3.B). Os 36% destinados a Pasture/Range/Paddock não desaparecem do inventário; eles serão contabilizados posteriormente na categoria N₂O de Solos Manejados (Agricultural Soils), conforme orientação do IPCC.

Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

No exercício dois utilizamos gado bovino de corte em criação extensiva. Neste caso não há que se considerar qualquer emissão direta de N₂O em sistema de manejo de dejetos. O cálculo será feito em Solos Manejados.

4.3. Manejo de Dejetos Animais – Emissões Indiretas De N₂O

As emissões indiretas de N₂O associadas ao manejo de dejetos animais (3.C.6, conforme IPCC: Indirect N₂O emissions from manure management) decorrem das perdas de nitrogênio durante o armazenamento e tratamento dos dejetos, principalmente na forma de volatilização de NH₃ e NO_x e, em menor medida, de lixiviação e escoamento. Utiliza-se a mesma abordagem baseada no fluxo de nitrogênio (N), considerando a fração de nitrogênio excretado pelos animais (N_{ex}(T)) que é susceptível a perdas durante o manejo. Essas perdas são posteriormente convertidas em emissões de N₂O por meio da aplicação de fatores

de emissão específicos (EF_4 para deposição atmosférica e EF_5 para lixiviação/escorrimento), conforme estabelecido nas Diretrizes IPCC (2006).

Uma situação especial em relação ao PRP (Pasture, Range and Paddock) segue também aqui, com deslocamento de mensuração para Solos Manejados.

A forma geral do cálculo das emissões indiretas de N_2O é a soma de duas rotas de emissões:

EQUATION 10.27
INDIRECT N_2O EMISSIONS DUE TO VOLATILISATION OF N FROM MANURE MANAGEMENT

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilization-MMS} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28}$$

E

EQUATION 10.29
INDIRECT N_2O EMISSIONS DUE TO LEACHING FROM MANURE MANAGEMENT

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{leaching-MMS} \cdot EF_5) \cdot \frac{44}{28}$$

Sendo:

- **EF_4** = fator de emissão para emissões de N_2O provenientes da deposição atmosférica de nitrogênio em solos e superfícies aquáticas, $kg N_2O N (kg NH_3 N + NO_x N \text{ volatilizados})^{-1}$; valor padrão é 0,01 $kg N_2O N (kg NH_3 N + NO_x N \text{ volatilizados})^{-1}$, conforme Capítulo 11, Tabela 11.3
- **EF_5** = fator de emissão para emissões de N_2O provenientes da lixiviação e escoamento de nitrogênio, $kg N_2O N/kg N$ lixiviado e escoado (valor padrão 0,0075 $kg N_2O N (kg N \text{ lixiviação/escoamento})^{-1}$), conforme Capítulo 11, Tabela 11.3

EQUATION 10.26
N LOSSES DUE TO VOLATILISATION FROM MANURE MANAGEMENT

$$N_{volatilization-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \cdot \left(\frac{Frac_{GasMS}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right]$$

Onde:

- **$N_{volatilization-MMS}$** = quantidade de nitrogênio dos dejetos que é perdida devido à volatilização de NH_3 e NO_x , $kg N \text{ ano}^{-1}$
- **$N(T)$** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **$Nex(T)$** = excreção média anual de nitrogênio por cabeça da espécie/categoria T no país, $kg N \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

- **MS(T,S)** = fração da excreção total anual de nitrogênio de cada espécie/categoria pecuária T que é manejada no sistema de manejo de dejetos S no país, adimensional
- **FracGasMS** = porcentagem do nitrogênio dos dejetos manejados para a categoria pecuária T que volatiliza como NH₃ e NO_x no sistema de manejo de dejetos S, %

Antes, contudo, é necessário aplicar as equações das perdas de nitrogênio no sistema de manejo.

EQUATION 10.28

N LOSSES DUE TO LEACHING FROM MANURE MANAGEMENT SYSTEMS

$$N_{leaching-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[\left(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \right) \cdot \left(\frac{Frac_{leachMS}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right]$$

Onde:

- **N_{leaching MMS}** = quantidade de nitrogênio dos dejetos que é perdida por lixiviação a partir dos sistemas de manejo de dejetos, kg N ano⁻¹
- **N(T)** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **Nex(T)** = excreção média anual de nitrogênio por cabeça da espécie/categoria T no país, kg N animal⁻¹ ano⁻¹
- **MS(T,S)** = fração da excreção total anual de nitrogênio de cada espécie/categoria pecuária T que é manejada no sistema de manejo de dejetos S no país, adimensional
- **Frac_{leachMS}** = porcentagem das perdas de nitrogênio dos dejetos manejados para a categoria pecuária T, decorrentes de escoamento superficial e lixiviação durante o armazenamento sólido e líquido dos dejetos

O cálculo das emissões indiretas de N₂O provenientes do manejo de dejetos segue uma abordagem em duas etapas sucessivas. Inicialmente, estimam-se as perdas de nitrogênio associadas ao manejo dos dejetos, tanto por volatilização de NH₃ e NO_x (Equação 10.26) quanto por lixiviação e escoamento superficial (Equação 10.28). Essas equações não calculam emissões de N₂O, mas sim as quantidades de nitrogênio transferidas para outros compartimentos ambientais em decorrência das práticas de manejo adotadas. Em seguida, as perdas de nitrogênio calculadas são convertidas em emissões indiretas de N₂O por meio da aplicação dos fatores de emissão correspondentes: a Equação 10.27 converte o nitrogênio volatilizado em emissões de N₂O decorrentes da deposição atmosférica, utilizando o fator EF₄, enquanto a Equação 10.29 converte as perdas por lixiviação e escoamento em

emissões de N_2O , utilizando o fator EF_5 . Dessa forma, a lógica metodológica do IPCC consiste em primeiro quantificar o fluxo de nitrogênio perdido durante o manejo dos dejetos e, posteriormente, estimar a fração desse nitrogênio que efetivamente resulta na formação de N_2O no ambiente.

Para aplicação de 10.26 e 10.28, inicialmente é necessário estimar a quantidade total de nitrogênio produzida pela categoria animal ($N(T) \cdot Nex(T)$). Já obtivemos esses valores para gado bovino leiteiro e para bovino outros na seção anterior em que tratamos das emissões diretas de N_2O do manejo de dejetos. Em seguida fazemos a distribuição deste nitrogênio entre as formas de manejo aplicáveis ao caso em análise, é o que define o termo $MS(t,s)$, para em seguida aplicar o percentual de perdas de N por volatilização ($FracGasMS$) ou de Lixiviação/escorrimento ($FracleachMS$) para cada sistema de manejo. Uma vez que obtenhamos o total de perda por sistema será necessário soma-las para em seguida aplicar 10.27 ou 10.29 já considerando a perda total de todos os sistemas.

Para TIER 1 o Fator de Emissão EF_4 que representa a eficiência de conversão do N volatilizado ($NH_3 + NO_x$) em N_2O após deposição atmosférica e é aplicado sobre o total de N volatilizado. O IPCC define um único EF_4 padrão de:

$$EF_4 = 0,01 \text{ kg } N_2O\text{-N}/(\text{kg } NH_3\text{-N} + NO_x\text{-N volatilizado})$$

para todas as fontes consideradas.

No caso da volatilização, por exemplo, isso se dá sob a forma de amônia ou óxidos de nitrogênio. É isso o que a equação 10.26 calcula, quantos quilogramas de N foram emitidos para a atmosfera na forma de NH_3 e NO_x . Esse NH_3 e o NO_x volatilizados durante o manejo dos dejetos não desaparecem da atmosfera, de alguma maneira ou de outra, eles acabam sendo depositados em solos ou corpos d'água. Nesses ambientes, o nitrogênio depositado pode sofrer processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação, resultando na formação de N_2O . Assim, embora o N_2O já tenha sido formado fisicamente, o resultado da aplicação do EF_4 ainda é expresso em termos da massa de nitrogênio contida no N_2O ($\text{kg } N_2O\text{-N}$) e não como massa total de N_2O . Para converter esse resultado em emissões de N_2O , aplica-se a razão molecular 44/28, que relaciona a massa total da molécula de N_2O (44) à massa dos dois átomos de nitrogênio nela contidos (28).

No caso do Nitrogênio perdido por lixiviação e escoamento durante o manejo dos dejetos animais ocorre o mesmo, ele também não é removido do ciclo biogeoquímico, sendo transportado para solos, águas superficiais ou águas subterrâneas. Nesses ambientes, esse nitrogênio pode ser transformado por processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação, resultando na formação de N_2O . O fator de emissão EF_5 faz esta estimativa.

Quanto ao processo de lixiviação, FracLeach(T,S) , o IPCC não apresenta uma tabela a semelhança do que ocorre para a volatilização. Diferentemente das perdas por volatilização, que são tratadas explicitamente com fatores default de TIER 1 na Tabela 10.22, o IPCC considera que as perdas por lixiviação em sistemas de manejo de dejetos apresentam elevada variabilidade e dependem fortemente de condições locais, como clima, tipo de sistema, armazenamento e interação com o solo, razão pela qual não estabelece valores default específicos para FracLeachMS no mesmo nível de detalhamento. Em vez disso, a metodologia indica que essas perdas devem ser estimadas preferencialmente por abordagens de nível superior (Tier 2 ou Tier 3), ou inferidas indiretamente a partir das perdas totais de nitrogênio reportadas na Tabela 10.23 (FracLossMS), que agregam diferentes vias de perda, incluindo volatilização, lixiviação e outras transformações. Essa estrutura evidencia que o IPCC trata a lixiviação no manejo de dejetos como um componente secundário ou de maior incerteza, incentivando o uso de dados nacionais ou métodos mais refinados para sua quantificação.

Adicionalmente, sob o ponto de vista da materialidade das emissões, a contribuição potencial da lixiviação no manejo de dejetos (3.B / 3.C.6) tende a ser relativamente pouco expressiva quando comparada às demais fontes de N_2O no sistema pecuário, especialmente no caso de sistemas extensivos como a bovinocultura brasileira, nos quais a maior parte do nitrogênio excretado é depositada diretamente no solo (PRP) e contabilizada na categoria de solos manejados (3.D). Assim, a exclusão dessa parcela no âmbito do manejo de dejetos não compromete a consistência do inventário nem altera de forma significativa o resultado final, sendo considerada uma simplificação aceitável, desde que devidamente justificada e coerente com o nível metodológico adotado. Procederemos ao cálculo somente das perdas por volatilização.

Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro

Com as seguintes frações de sistemas de manejo

- 1% liquid slurry;
- 1% solid storage;
- 36% PRP;
- 62% daily spread.

O FracGasMS(T,S) , para perdas por volatilização, está na Tabela 10.22 do IPCC: “Default values for nitrogen loss due to volatilisation of NH_3 and NO_x from manure management”, do IPCC 2006 – Volume 4, Cap. 10 (ANEXO F). Os demais valores já os temos calculados no capítulo anterior e podem ser aplicados diretamente neste.

QUADRO 11

Frações de perda de nitrogênio por volatilização (FracGasMS) para sistemas de manejo selecionados

Sistema	FracGasMS (IPCC 2006)
Liquid/Slurry	40%
Solid storage	30%
Daily spread	7%
PRP	(não aplicável em 3.B)

A utilização da Tabela 10.22 (ANEXO F) apresenta limitações importantes sob o ponto de vista metodológico, pois os valores de FracGasMS são fatores default globais, derivados de médias da literatura internacional e aplicáveis apenas em nível TIER 1, não refletindo diferenças específicas de sistemas produtivos, clima, manejo ou características do rebanho em cada país, o que implica elevada incerteza nas estimativas de volatilização de N. Além disso, a tabela apresenta valores generalizados por tipos amplos de sistemas de manejo, sem detalhamento suficiente para representar práticas reais como diferentes formas de aplicação ao solo ou variações tecnológicas. Para maior robustez metodológica, dados nacionais podem ser obtidos no Relatório do Inventário Nacional, especificamente na Tabela 6.5, onde são apresentados fatores de volatilização (FracGasMS) ajustados às condições brasileiras, considerando sistemas de manejo e características específicas das categorias animais utilizadas no inventário nacional.

Primeiro passo: calcular a quantidade de nitrogênio (kg N/ano) que entra naquele sistema de manejo específico multiplicando-o pelo fator de volatilização. Encontramos assim o N volatilizado.

$$\begin{aligned} \text{kg N/ano} &= (70,08 \times 40\% \times 1\%) + (70,08 \times 30\% \times 1\%) \\ &\quad + (70,08 \times 7\% \times 62\%) = 3,532 \end{aligned}$$

Segundo passo: obter as emissões indiretas de N₂O relativamente ao N volatilizado

Os fatores de emissão e frações de N perdido total em TIER 1 do IPCC estão no Capítulo 11 do Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use, IPCC Guidelines 2006, mais especificamente na Tabela 11.3 (ANEXO I). Em síntese:

	Default value
EF4	0,01
EF5	0,0075

$$\text{N}_2\text{O}(\text{volatilizado}) = 3,532 \times 0,01 \times 44/28 = 0,0555 \text{ kg N}_2\text{O/cabeca/ano}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 0,0555 \times 265 = 14,71 \text{ kg CO}_2\text{e /cabeca/ano}$$

Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

No sistema de gado bovino de corte em criação extensiva (PRP – Pasture, Range and Paddock), as emissões indiretas de N_2O associadas ao manejo de dejetos animais não são aplicáveis no âmbito da categoria de manejo de dejetos (3.C.6), conforme estabelecido nas Diretrizes do IPCC 2006. Isso ocorre porque, nesse sistema, os dejetos são depositados diretamente no solo, sem passar por qualquer etapa de armazenamento ou tratamento em sistemas de manejo, que são os processos responsáveis pelas perdas de nitrogênio consideradas em 3.C.6. Consequentemente, tanto as perdas por volatilização quanto por lixiviação associadas a esses dejetos são contabilizadas integralmente na categoria de solos manejados (3.D), e não no manejo de dejetos, garantindo a consistência metodológica e evitando dupla contagem no inventário.

BOX METODOLÓGICO**Alocação de emissões em sistemas extensivos (pasture/range/paddock)**

A abordagem metodológica do IPCC (2006 – Volume 4, AFOLU) e do NIR 2024 estabelece que a alocação das emissões associadas aos dejetos animais não é definida apenas pelo local onde o dejetos é depositado, mas principalmente pelo processo físico de geração do gás. Em sistemas extensivos, nos quais os dejetos são depositados diretamente sobre o solo (pasture/range/paddock), ocorre, na prática, uma ausência de manejo estruturado (armazenamento ou tratamento), o que desloca o processo dominante das emissões para o ambiente do solo.

Contudo, essa transição não implica uma mudança completa de categoria no inventário. O IPCC mantém a contabilização das emissões de CH_4 (metano) no subsetor Manejo de Dejetos (3.B), ainda que em níveis muito baixos, uma vez que admite a ocorrência residual de decomposição anaeróbia no material depositado, representada por fatores de conversão de metano (MCF) reduzidos. Por outro lado, as emissões de N_2O (óxido nitroso) provenientes desses mesmos dejetos são integralmente alocadas à categoria Solos Manejados (3.D), uma vez que decorrem de processos de nitrificação e desnitrificação no solo após a deposição direta.

Dessa forma, em sistemas de produção extensivos, não ocorre uma migração total das emissões entre categorias, mas sim uma diferenciação metodológica por tipo de gás, refletindo a mudança do processo físico dominante. Assim, embora o TIER 1 ainda atribua valores residuais de CH_4 ao Manejo de Dejetos, a maior parte das emissões associadas ao dejetos, especialmente em termos de relevância climática no longo prazo (via N_2O), passa a ser capturada no modelo de Solos Manejados, evidenciando uma limitação conceitual da simplificação adotada no TIER 1 e reforçando a importância da interpretação crítica dos resultados.

5.2 Solos Manejados (3.D)

As emissões de N₂O associadas aos solos manejados (3.D) distinguem-se em emissões diretas e indiretas. As emissões diretas decorrem da transformação microbiana do nitrogênio adicionado ou depositado no solo, incluindo aplicações de fertilizantes e resíduos orgânicos, bem como a deposição direta de dejetos em pastagens (pasture/range/paddock – PRP) e a incorporação ao solo de dejetos previamente manejados. Já as emissões indiretas resultam das perdas de nitrogênio do sistema solo-planta, ocorrendo posteriormente por duas principais vias: (i) via atmosférica, associada à volatilização de NH₃ e NO_x e sua subsequente deposição em outros locais, e (ii) via hídrica, associada à lixiviação e ao escoamento superficial de nitrato (NO₃⁻), com geração subsequente de N₂O fora do local original de aplicação.

Para manter consistência com o balanço de nitrogênio descrito no IPCC (2006), a estimativa do N aplicado ao solo considera a fração remanescente após as perdas ocorridas no sistema de manejo.

EQUATION 10.34
MANAGED MANURE N AVAILABLE FOR APPLICATION TO MANAGED SOILS, FEED, FUEL OR CONSTRUCTION USES

$$N_{MMS_Avb} = \sum_S \left\{ \sum_{(T)} \left[\frac{(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \cdot \left(1 - \frac{Frac_{LossMS}}{100}\right)}{[N_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \cdot N_{beddingMS}]} \right] + \right\}$$

Onde:

- **N_{MMS_Avb}** = quantidade de nitrogênio dos dejetos manejados disponível para aplicação em solos manejados ou para uso como ração, combustível ou material de construção, kg N ano⁻¹
- **N_(T)** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país
- **N_{ex(T)}** = excreção média anual de nitrogênio por animal da espécie/categoria T no país, kg N animal⁻¹ ano⁻¹
- **MS_(T,S)** = fração da excreção total anual de nitrogênio de cada espécie/categoria pecuária T que é manejada no sistema de manejo de dejetos S no país, adimensional
- **FracLossMS** = quantidade de nitrogênio dos dejetos manejados para a categoria pecuária T que é perdida no sistema de manejo de dejetos S, % (ver Tabela 10.23)
- **N_{beddingMS}** = quantidade de nitrogênio proveniente da cama (a ser considerada para sistemas de armazenamento sólido e cama profunda, quando houver uso de material orgânico), kg N animal⁻¹ ano⁻¹

- **S** = sistema de manejo de dejetos
- **T** = espécie/categoria de gado

A Equação 10.34 representa o nitrogênio ainda existente no dejetos após todas as perdas ocorridas no sistema de manejo que, por exemplo, foram calculadas na seção anterior pela equação 10.26, para o caso da volatilização. Ou seja, é o N que ficará disponível para aplicação agrícola; fertilização do solo; uso como combustível; uso como material de construção; ou outras formas de reaproveitamento.

“Após o armazenamento ou tratamento em qualquer sistema de manejo de dejetos, praticamente todo o esterco é aplicado ao solo. As emissões que surgem posteriormente a partir dessa aplicação do esterco ao solo devem ser reportadas na categoria de emissões de N_2O de solos manejados. Os métodos para estimar essas emissões são discutidos no Capítulo 11, Seção 11.2. Na estimativa das emissões de N_2O de solos manejados, considera-se a quantidade de nitrogênio proveniente de dejetos animais que é diretamente aplicada ao solo, ou que está disponível para uso como alimentação, combustível ou material de construção” (IPCC, 2006 p.10.64).

Uma parcela relevante do nitrogênio excretado por animais em sistemas manejados é perdida no processo de manejo e antes de sua aplicação final ao solo, por conversão em N_2O , volatilização (NH_3 , N_2 e NO_x), e perdas por lixiviação e escoamento, de modo que o nitrogênio efetivamente disponível para uso (em solo, ração ou outros fins) deve considerar essas reduções. Além disso, quando materiais de cama orgânicos (como palha ou serragem) são utilizados, seu nitrogênio também deve ser incluído no total aplicado ao solo; contudo, devido à mineralização mais lenta e ao baixo teor de amônia nesses materiais, assume-se que não há perdas relevantes por volatilização ou lixiviação durante o armazenamento.

5.1. ESTIMATIVA DIRETAS DE N_2O EM SOLOS MANEJADOS

A estimativa das emissões diretas de N_2O em solos manejados, no âmbito das diretrizes do IPCC 2006, Volume 4 – AFOLU, Capítulo 11, baseia-se na quantificação das entradas de nitrogênio (N) no sistema solo-planta e na aplicação de fatores de emissão que representam a fração desse nitrogênio convertida em N_2O por processos microbianos de nitrificação e desnitrificação. Quando aplicada especificamente à atividade de pecuária bovina, essa abordagem considera como fontes de N apenas os dejetos animais, distinguidos conforme sua rota de entrada no solo: (i) dejetos previamente manejados e posteriormente aplicados ao solo, e (ii) dejetos depositados diretamente pelos animais em pastagem. Essa distinção é central na metodologia TIER 1, que trata essas duas rotas por meio de fatores de emissão distintos.

No método TIER 1, o nitrogênio oriundo de dejetos submetidos a sistemas de manejo e posteriormente aplicados ao solo (F_{ON} – organic nitrogen applied to soils) é estimado por meio do fator de emissão médio EF_1 , aplicável às entradas de N em solos manejados. Por sua vez, o nitrogênio presente nos dejetos depositados diretamente pelos animais em pasture, range and paddock (PRP) F_{PRP} é tratado de forma específica, sendo estimado por meio do fator de emissão EF_{3PRP} , dado que as condições biofísicas associadas à deposição direta resultam em dinâmicas de emissão distintas.

$$EF_1 = 0,01 \text{ (kg N}_2\text{O-N/kg N)}$$

$$EF_{3PRP} = 0,02 \text{ (kg N}_2\text{O-N/kg N)}$$

A formulação do IPCC (2006) para emissões diretas de N_2O em solos manejados pode ser expressa pela soma das contribuições dessas duas rotas de entrada de nitrogênio, diretamente derivada de equação 11.1 que aborda o caso completo considerando ainda fertilizantes sintéticos (F_{SN}), resíduos de cultura (F_{CR}), matéria orgânica do solo (F_{SOM}), outras fontes (F_{OS}):

EQUATION 11.1
DIRECT N_2O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS (TIER 1)

$$N_2O_{Direct-N} = N_2O-N_{N_{inputs}} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP}$$

Where:

$$N_2O-N_{N_{inputs}} = \left[\frac{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1}{(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \cdot EF_{1FR}} \right]$$

$$N_2O-N_{OS} = \left[\frac{(F_{OS,CG,Temp} \cdot EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \cdot EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \cdot EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \cdot EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \cdot EF_{2F,Trop})}{1} \right]$$

$$N_2O-N_{PRP} = \left[(F_{PRP,CPP} \cdot EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \cdot EF_{3PRP,SO}) \right]$$

Onde:

- **$N_2O_{Direct-N}$** = emissões diretas anuais de N_2O (em base de N) provenientes de solos manejados, $\text{kg N}_2\text{O-N ano}^{-1}$
- **$N_2O-N_{N_{inputs}}$** = emissões diretas anuais de N_2O decorrentes das entradas de nitrogênio em solos manejados, $\text{kg N}_2\text{O-N ano}^{-1}$
- **N_2O-N_{OS}** = emissões diretas anuais de N_2O provenientes de solos orgânicos manejados, $\text{kg N}_2\text{O-N ano}^{-1}$
- **N_2O-N_{PRP}** = emissões diretas anuais de N_2O provenientes de entradas de urina e fezes em solos com pastejo, $\text{kg N}_2\text{O-N ano}^{-1}$

- **F_{SN}** = quantidade anual de fertilizante sintético nitrogenado aplicado aos solos, kg N ano⁻¹
- **F_{ON}** = quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições orgânicas de nitrogênio aplicadas aos solos, kg N ano⁻¹
- **F_{CR}** = quantidade anual de nitrogênio presente em resíduos de cultura (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N e renovação de forragem/pasto, retornados aos solos, kg N ano⁻¹
- **F_{SOM}** = quantidade anual de nitrogênio em solos minerais que é mineralizado, associada à perda de carbono do solo da matéria orgânica do solo devido a mudanças no uso ou manejo da terra, kg N ano⁻¹
- **F_{OS}** = área anual de solos orgânicos drenados/manejados, ha (Nota: os subscritos CG, F, Temp, Trop, NR e NP referem-se respectivamente a áreas de culturas e pastagens, florestas, clima temperado, tropical, ricos em nutrientes e pobres em nutrientes)
- **F_{PRP}** = quantidade anual de nitrogênio proveniente de urina e fezes depositadas por animais em pastejo em pastagens, campos e piquetes, kg N ano⁻¹ (Nota: os subscritos CPP e SO referem-se respectivamente a bovinos, aves e suínos, e ovinos e outros animais)
- **EF₁** = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de entradas de nitrogênio, kg N₂O–N (kg N aplicado)⁻¹ (Tabela 11.1)
- **EF_{1FR}** = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de entradas de N em arroz irrigado, kg N₂O–N (kg N aplicado)⁻¹ (Tabela 11.1)
- **EF₂** = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de solos orgânicos drenados/manejados, kg N₂O–N ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 11.1) (Nota: os subscritos CG, F, Temp, Trop, NR e NP referem-se respectivamente a áreas de culturas e pastagens, florestas, clima temperado, tropical, ricos em nutrientes e pobres em nutrientes)
- **EF_{3PRP}** = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de urina e fezes depositadas em pastagens, campos e piquetes, kg N₂O–N (kg N depositado)⁻¹ (Tabela 11.1) (Nota: os subscritos CPP e SO referem-se respectivamente a bovinos, aves e suínos, e ovinos e outros animais)

Considerando que as únicas entradas de nitrogênio relevantes ao nosso estudo são aquelas provenientes de dejetos animais, incluindo dejetos manejados (F_{ON}) e deposição direta em pastagem (F_{PRP}), e na ausência de outras fontes de nitrogênio, a Equação 11.1 pode ser simplificada conforme a Equação F para N₂O–N_{direct}:

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{direct}} = (\text{F}_{\text{ON}} \times \text{EF}_1) + (\text{F}_{\text{PRP}} \times \text{EF}_{3\text{PRP}})$$

(Equação F)

Essa formulação explicita que o fator de emissão EF_1 deve ser aplicado ao total de nitrogênio efetivamente disponível para aplicação ao solo após as perdas no sistema de manejo de dejetos.

Para fins de aplicação prática em escala de projeto ou por unidade animal, os termos F_{ON} e F_{PRP} podem ser expressos a partir da excreção anual de nitrogênio por animal (N_{ex}) e da distribuição do manejo dos dejetos. O termo F_{PRP} é dado diretamente pela fração do nitrogênio excretado em pastagem. Já o termo F_{ON} deve refletir apenas a fração do nitrogênio manejado que permanece disponível para aplicação ao solo após as perdas totais ocorridas no sistema de manejo de dejetos, conforme a lógica de managed manure N available for application to managed soils (Equação 10.34), e operacionalizada pelo uso de fatores de perda total de N no manejo ($FracLossMS$), conforme a Tabela 10.23.

A quantidade de N originário de matéria orgânica no solo está descrito na equação 11.3.

EQUATION 11.3
N FROM ORGANIC N ADDITIONS APPLIED TO SOILS (TIER 1)

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

Onde:

- **F_{ON}** = quantidade anual total de fertilizante orgânico nitrogenado aplicado aos solos, exceto por deposição direta de animais em pastagem, kg N ano^{-1}
- **F_{AM}** = quantidade anual de nitrogênio proveniente de esterco animal aplicada aos solos, kg N ano^{-1}
- **F_{SEW}** = quantidade anual total de nitrogênio de esgoto (em coordenação com o setor de resíduos para evitar dupla contagem) aplicada aos solos, kg N ano^{-1}
- **F_{COMP}** = quantidade anual total de nitrogênio de composto aplicada aos solos (garantindo que o nitrogênio de esterco presente no composto não seja contado duas vezes), kg N ano^{-1}
- **F_{OOA}** = quantidade anual de outros materiais orgânicos utilizados como fertilizante (por exemplo, resíduos de processamento, guano, resíduos de cervejaria, etc.), kg N ano^{-1}

No presente estudo, assume-se que não há entradas relevantes de outras fontes de N orgânico (lodo, composto, etc.), de modo que $F_{ON} \approx F_{AM}$.

EQUATION 11.4

N FROM ANIMAL MANURE APPLIED TO SOILS (TIER 1)

$$F_{AM} = N_{MMS_Avb} \cdot \left[1 - \left(\text{Frac}_{FEED} + \text{Frac}_{FUEL} + \text{Frac}_{CNST} \right) \right]$$

Onde:

- **F_AM** = quantidade anual de nitrogênio proveniente de dejetos animais aplicada aos solos, kg N ano⁻¹
- **N_MMS_Avb** = quantidade de nitrogênio dos dejetos manejados disponível para aplicação ao solo, uso como ração, combustível ou material de construção, kg N ano⁻¹ (ver Equação 10.34 no Capítulo 10)
- **Frac_FEED** = fração dos dejetos manejados utilizada como ração
- **Frac_FUEL** = fração dos dejetos manejados utilizada como combustível
- **Frac_CNST** = fração dos dejetos manejados utilizada para construção

Sendo que N_MMS_Avb decorre da aplicação das perdas de N no sistema decorrentes do manejo, conforme definido pela equação 10.34. Agora podemos reescrever as equações que definem F_ON como a quantidade anual total de fertilizante orgânico nitrogenado aplicado aos solos decorrente do processo de manejo da seguinte maneira, tornando-a mais operacional ao foco deste estudo.

$$F_{ON} = Nex \times N_{animais} \times \text{FracManejo} \times \text{FracAplicação} \times (1 - \text{perdas N})$$

(Equação G)

A Equação G pode ser interpretada como uma reformulação operacional consistente da Equação 11.3 do IPCC (2006), que define o termo F_ON como a soma das entradas de nitrogênio orgânico aplicadas aos solos manejados. No caso específico da pecuária bovina considerada neste estudo, assume-se que essas entradas são dominadas pelo esterco animal manejado (F_AM), de modo que F_ON ≈ F_AM, sob a premissa de ausência de fontes adicionais relevantes (como lodo de esgoto ou composto externo). A partir dessa simplificação, a Equação G decompõe F_ON em seus determinantes físicos — excreção anual de nitrogênio (Nex), efetivo animal e fração de manejo — incorporando explicitamente a etapa intermediária de perdas de nitrogênio no sistema de manejo de dejetos. Essa etapa reflete a lógica estabelecida no Capítulo 10 do IPCC, segundo a qual apenas a fração de nitrogênio remanescente após perdas por volatilização, lixiviação e outras transformações está efetivamente disponível para aplicação ao solo. Dessa forma, a Equação G preserva integralmente o significado da Equação 11.3, ao redefinir F_ON em termos de sua base biofísica e das condições específicas do sistema analisado, garantindo consistência com o balanço de massa de nitrogênio implícito na metodologia AFOLU do IPCC.

As perdas totais de N são estimadas a partir da agregação ponderada por sistema de manejo, com base nos fatores FracLossMS (IPCC, Tabela 10.23)

$$(1 - \text{perdas N}) = 1 - \sum [\text{MS(T,S)} \times \text{FracLossMS(T,S)}]$$

(Equação H)

Onde:

- **Nex** = Já calculado em “manejo de dejetos animais – emissões diretas de N₂O”
- **N_animaís** = número de cabeças = 1
- **FracPRP** = fração do N excretado diretamente em PRP
- **FracManejo** = fração do N que entra em sistemas de manejo (3.B)
- **FracAplicação** = fração desse N manejado que é aplicado ao solo
- **FracLossMS(T,S)** = fração total de perda de nitrogênio no sistema de manejo de dejetos (Manure Management System) – vem da Tabela 10.23
- **(1 – perdas N)** = fração do nitrogênio excretado (Nex) que permanece disponível para aplicação ao solo após as perdas totais de nitrogênio no sistema de manejo de dejetos

Por sua vez, precisamos considerar ainda aquela situação de Dejetos Diretamente depositados em pastagem (PRP), cuja estimativa de emissões se define pela seguinte sequência:

EQUATION 11.5

N IN URINE AND DUNG DEPOSITED BY GRAZING ANIMALS ON PASTURE, RANGE AND Paddock (TIER 1)

$$F_{PRP} = \sum_T \left[\left(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)} \right) \bullet MS_{(T,PRP)} \right]$$

Onde:

- **F_PRP** = quantidade anual de nitrogênio proveniente de urina e fezes depositadas em pastagens, campos (“range”), piquetes (“paddock”) e por animais em pastejo, kg N ano⁻¹
- **N(T)** = número de cabeças da espécie/categoria pecuária T no país (ver Capítulo 10, Seção 10.2)
- **Nex(T)** = excreção média anual de nitrogênio por cabeça da espécie/categoria T no país, kg N animal⁻¹ ano⁻¹ (ver Capítulo 10, Seção 10.5)
- **MS(T,PRP)** = fração da excreção total anual de nitrogênio para cada espécie/categoria pecuária T que é depositada em pastagens, campos e piquetes, adimensional (ver Capítulo 10, Seção 10.5)

Primeiro é necessário encontrar a quantidade anual de nitrogênio proveniente de urina e fezes depositadas em pastagens, campos (“range”), piquetes (“paddock”) e

por animais em pastejo, para em seguida estimar as emissões em base no N_2O-N . Com isso a equação F fica completa.

A abordagem do método TIER 1 para estimativa das emissões diretas de N_2O em solos manejados apresenta limitações inerentes à utilização de fatores de emissão default globais, como o EF_1 e o EF_{3PRP} , que não capturam adequadamente a variabilidade espacial e temporal dos processos biogeoquímicos que controlam a geração de N_2O no solo. Essas emissões são influenciadas por múltiplos fatores, incluindo características de solo, clima, manejo, dieta animal e padrões de deposição de excretas, cuja representação é simplificada na abordagem TIER 1. Nesse contexto, a estimativa é fortemente dependente da qualidade dos dados de atividade (ex.: N_{ex} e frações de manejo), os quais introduzem incertezas adicionais ao cálculo. Ademais, a abordagem não explicita perdas intermediárias de nitrogênio nos sistemas de manejo nem diferencia condições locais específicas, podendo resultar em desvios relevantes em relação às emissões reais. Tais limitações são reconhecidas nas diretrizes do IPCC, que indicam que abordagens de maior nível (TIER 2 e TIER 3) são necessárias para capturar com maior precisão a dinâmica dos fluxos de nitrogênio e reduzir as incertezas associadas às estimativas.

Em resumo, baseado no quadro analítico até aqui exposto, podemos criar algumas suposições simplificadoras para nosso cálculo, quais sejam:

1. estamos lidando apenas com gado bovino cujo dejetos passou por sistema de manejo ou foi em PRP;
2. Não há inclusão de matéria orgânica por cama, palha ou qualquer outro;
3. 100% do dejetos passou pelo manejo indicado;
4. 100 do que foi manejado foi aplicado em solo agrícola;
5. Não se acrescenta ou uso nem outra fonte para N neste cálculo.
6. Necessariamente $MSMMS(t) + MSPRP(t) = 1$

Baseado nisso fica validada a Equação F já exposta e respeitando o modelo abaixo:

$$N_2O-N_{direct} = (F_{ON} \times EF_1) + (F_{PRP} \times EF_{3PRP})$$

onde:

$$F_{ON} = N(t) \times N_{ex}(t) \times MSMMS(t) \times (1 - (FracLossMS/100))$$

e

$$F_{PRP} = N(t) \times N_{ex}(t) \times MSPRP(t)$$

sendo:

$$MSMMS(t) + MSPRP(t) = 1$$

Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro

O termo central da equação 11.1 é $N(T) \cdot Nex(T) \cdot MS(TS)$ o que significa a "Quantidade de N excretado pelos animais do tipo T que passa pelo sistema de manejo S."

- 1% liquid slurry;
- 1% solid storage;
- 36% PRP;
- 62% daily spread.

Obtendo o termo de perda utilizando a Tabela 10.23 para Dairy Cow:

- Liquid/slurry = 40%
- Solid storage = 40%
- Daily spread = 22%

Primeiro passo: obter o N_{MMS_Avb} , quantidade de nitrogênio dos dejetos manejados disponível para aplicação em solos manejados ou para uso como ração, combustível ou material de construção, $kg\ N\ ano^{-1}$. Os três primeiros sistemas (Liquid Slurry, Solid Storage e Daily Spread) compõem o FON após aplicação das perdas do sistema de manejo. A parcela PRP é calculada separadamente, sem aplicação das perdas do MMS, e entra diretamente no termo FPRP da Equação de N_2O direto. A fração de perda é obtida da tabela 10.23 no anexo G.

QUADRO 12

Cálculo da perda de Nitrogênio ao longo do sistema de manejo

Sistema	MS	Perda	(1-perda)	$Nex \times MS$	$N_{(MMS_Avb)}$
Liquid/slurry	1%	40%	60%	0,7008	0,42048
Solid storage	1%	40%	60%	0,7008	0,42048
Daily spread	62%	22%	78%	43,4496	33,890688
PRP	36%	0%	100%	25,2288	25,2288

Aplicando os fatores de emissão sobre o N disponível em cada sistema de manejo obtemos:

$$N_2O-N_{direct} = (0,42048 \times 0,01) + (0,42048 \times 0,01) + (33,890688 \times 0,01) + (25,2288 \times 0,02)$$

$$N_2O-N_{direct} = (34,731648 \times 0,01) + (25,2288 \times 0,02)$$

$$N_2O-N_{direct} = 0,85189248$$

$$\text{Kg N}_2\text{O} = 0,85189248 * (44/28) = 1,338688 \text{ cab/ano}$$

Para GWP AR5 = 265

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 354,7523685 \text{ cab/ano}$$

Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

$$F_{\text{PRP}} = 40,08 \text{ kg N/cab/ano} \times 100\%$$

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{direct}} = 40,08 \text{ kg N/cab/ano} \times 0,02 \text{ kg N}_2\text{O-N / kg N}$$

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{direct}} = 0,80154 \text{ kg N}_2\text{O-N cab/ano}$$

$$\text{kg N}_2\text{O} = 0,80154 \times (44/28) = 1,2595 \text{ cab/ano}$$

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 333,7841 \text{ cab/ano}$$

Neste caso, todo o nitrogênio excretado é depositado diretamente em pastagem (PRP) e considerado como entrada em Solos Manejados (3.D), sendo as emissões diretas de N_2O estimadas integralmente a partir do fator EF3PRP.

BOX METODOLÓGICO

Tratamento das perdas de nitrogênio no manejo de dejetos

A estimativa das perdas de nitrogênio no manejo de dejetos foi realizada conforme as diretrizes do IPCC 2006 – Volume 4 (AFOLU), Capítulo 10 e Capítulo 11. O IPCC distingue explicitamente entre:

- FracGasMS(T,S) : fração de N perdida por volatilização de NH_3 e NO_x no manejo de dejetos (Tabela 10.22), utilizada para o cálculo de emissões indiretas de N_2O em Manure Management (3.B);
- FracLossMS(T,S) : fração total de N perdida no sistema de manejo (Tabela 10.23), que representa o balanço global de perdas no sistema e está diretamente relacionada ao nitrogênio disponível para aplicação ao solo em Managed Soils (3.D).

No presente estudo, a fração de perda de nitrogênio no manejo de dejetos (Perda de N em 3B) foi definida com base nos valores de perda total do sistema (FracLossMS) do IPCC. Essa fração representa a perda total de nitrogênio no sistema de manejo, incluindo diferentes vias de perda (predominantemente volatilização em sistemas líquidos).

A perda total de N no manejo foi utilizada para ajustar o nitrogênio efetivamente disponível para aplicação ao solo (F_{ON}) conforme o princípio de balanço de massa:

$$F_{\text{ON}} = N_{\text{ex}} \times \text{FracManejo} \times \text{FracAplicação} \times (1 - \text{Perda de N em 3B})$$

onde:

- **Nex:** excreção anual de N por animal
- **Perda de N em 3B:** fração total de N perdida no manejo

A metodologia adotada assegura consistência com o encadeamento do IPCC entre as categorias 3.B (Manure Management) e 3.D (Managed Soils), garantindo coerência no balanço de nitrogênio e evitando dupla contagem de perdas. Existe elevada incerteza associada às perdas de N no manejo, especialmente em sistemas líquidos, podendo variar conforme clima, manejo e tempo de retenção.

5.2. Estimativa Indiretas de N₂O em Solos Manejados

No âmbito da metodologia IPCC 2006 – Volume 4 (AFOLU, Capítulo 11), as emissões indiretas de N₂O provenientes de solos manejados (3.D) são estimadas, no TIER 1, por meio de uma abordagem simplificada baseada em fatores padrão associados às perdas de nitrogênio do sistema solo-planta. Essas emissões são quantificadas a partir de duas vias principais: (i) volatilização atmosférica, em que frações do nitrogênio aplicado são emitidas como NH₃ e NO_x e posteriormente redepositadas no ambiente, e (ii) perdas via água, por lixiviação e escoamento superficial de nitrato (NO₃⁻). Para cada uma dessas vias, o IPCC define frações default (ex.: FracGASM e FracLEACH) e fatores de emissão associados, permitindo uma aplicação metodológica direta e com baixa exigência de dados. Assim, no TIER 1, a estimativa das emissões indiretas baseia-se essencialmente na quantidade total de nitrogênio aplicada ao solo e na aplicação desses fatores padrão, resultando em um método simples, consistente e amplamente utilizado, embora com limitações quanto à representação das condições específicas de clima, solo e manejo.

As emissões indiretas de N₂O em solos são tratadas na Seção 11.2.2 do IPCC, 2006 (Capítulo 11) e calculadas no TIER 1 por duas equações independentes (volatilização-EF₄ e lixiviação-EF₅), baseadas em frações default de N perdido do sistema solo.

EQUATION 11.9
N₂O FROM ATMOSPHERIC DEPOSITION OF N VOLATILISED FROM MANAGED SOILS (TIER 1)

$$N_pO_{(ATD)}-N = \left[(F_{SN} \cdot Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \cdot Frac_{GASM}) \right] \cdot EF_4$$

Onde:

- **N₂O(ATD)-N** = quantidade anual de N₂O-N produzida pela deposição atmosférica do nitrogênio volatilizado de solos manejados, kg N₂O-N ano⁻¹.

- **F_{SN}** = quantidade anual de nitrogênio proveniente de fertilizantes sintéticos aplicada aos solos, kg N ano⁻¹.
- **FracGASF** = fração do nitrogênio de fertilizantes sintéticos que volatiliza como NH₃ e NO_x, kg de N volatilizado por kg de N aplicado (Tabela 11.3).
- **F_{ON}** = quantidade anual de esterco animal manejado, composto, lodo de esgoto e outras adições orgânicas de nitrogênio aplicadas aos solos, kg N ano⁻¹.
- **F_{PRP}** = quantidade anual de nitrogênio na urina e nas fezes depositadas por animais em pastejo em pastagens, campos e piquetes, kg N ano⁻¹.
- **FracGASM** = fração do nitrogênio orgânico aplicado (FON) e do nitrogênio presente na urina e fezes depositadas por animais em pastejo (FPRP) que volatiliza como NH₃ e NO_x, kg de N volatilizado por kg de N aplicado ou depositado (Tabela 11.3).
- **EF₄** = fator de emissão para emissões de N₂O decorrentes da deposição atmosférica de nitrogênio sobre solos e superfícies aquáticas [kg N-N₂O (kg NH₃-N + NO_x-N volatilizado)⁻¹], ou seja, kg de N-N₂O emitido por kg de N volatilizado como NH₃-N e NO_x-N (Tabela 11.3).

EQUATION 11.10
N₂O FROM N LEACHING/RUNOFF FROM MANAGED SOILS IN REGIONS WHERE LEACHING/RUNOFF OCCURS (TIER 1)

$$N_2O_{(L)}-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot \text{Frac}_{LEACH-(H)} \cdot EF_5$$

Onde:

- **N₂O(L)-N** = quantidade anual de N₂O-N produzida pela lixiviação e escoamento superficial (runoff) de adições de nitrogênio a solos manejados em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N₂O-N ano⁻¹.
- **F_{SN}** = quantidade anual de nitrogênio de fertilizantes sintéticos aplicada aos solos em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N ano⁻¹.
- **F_{ON}** = quantidade anual de esterco animal manejado, composto, lodo de esgoto e outras adições orgânicas de nitrogênio aplicadas aos solos em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N ano⁻¹.
- **F_{PRP}** = quantidade anual de nitrogênio na urina e nas fezes depositadas por animais em pastejo em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N ano⁻¹ (proveniente da Equação 11.5).
- **F_{CR}** = quantidade de nitrogênio nos resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de nitrogênio, e proveniente da renovação de forragens/pastagens, retornada anualmente aos solos em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N ano⁻¹.
- **F_{SOM}** = quantidade anual de nitrogênio mineralizado em solos minerais associada à perda de carbono do solo proveniente da matéria orgânica do

solo, em decorrência de mudanças no uso da terra ou no manejo, em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N ano^{-1} (proveniente da Equação 11.8).

- **FracLEACH-(H)** = fração de todo o nitrogênio adicionado e/ou mineralizado em solos manejados, em regiões onde ocorre lixiviação e escoamento superficial (leaching/runoff), que é perdida por meio desses processos, expressa em $\text{kg N perdido por kg de N adicionado} [(\text{kg N}) (\text{kg de adições de N})^{-1}]$ (Tabela 11.3).
- **EF₅** = fator de emissão para as emissões de N_2O provenientes da lixiviação e do escoamento superficial de nitrogênio, expresso em $\text{kg N}_2\text{O-N por kg de N lixiviado e escoado} [(\text{kg N}_2\text{O-N}) (\text{kg N lixiviado e escoado})^{-1}]$ (Tabela 11.3).

Considerando apenas a fração do nitrogênio de origem nos dejetos bovinos em questão, o sistema pode ser lido como:

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{indirect}} = \text{N}_2\text{O-N (ATD)} + \text{N}_2\text{O-N (LEACH)}$$

(Equação I)

Via atmosférica (volatilização e redeposição)

$$\text{N}_2\text{O-N (ATD)} = [(F_{\text{ON}} + F_{\text{PRP}}) \times \text{FracGASM}] \times \text{EF}_4$$

(Equação J)

Via hídrica (lixiviação e escoamento)

$$\text{N}_2\text{O-N (LEACH)} = [(F_{\text{ON}} + F_{\text{PRP}}) \times \text{FracLEACH}] \times \text{EF}_5$$

(Equação K)

Os termos EF_4 (fator emissão indireta por volatilização) e EF_5 (fator emissão indireta por lixiviação), assim como FracGASM e FracLEACH são frações padrão que estão na tabela 11.3 (ANEXO I). Lembrando que o N que entra em F_{ON} deve ser o N remanescente após as perdas ocorridas na etapa de manejo dos dejetos, como calculado na seção anterior.

Em outras palavras:

$$F_{\text{ON}} = \text{N}_{\text{excretado}} - \text{N}_{\text{perdido durante o manejo}}$$

Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro

- 1% liquid slurry;
- 1% solid storage;
- 36% PRP;
- 62% daily spread.

Assim temos 64% do dejetos em manejo e outros 36% em PRP

Buscando F_{ON} e F_{PRP} da seção anterior, considerando a tabela de MS

- Liquid/slurry 1%
- Solid storage 1%
- Daily spread 62%
- PRP 36%

$$F_{ON} = 34,731648$$

$$F_{PRP} = 25,2288$$

$$N_2O-N \text{ (ATD)} = [(34,731648 + 25,2288) \times 0,1] \times 0,01 = 0,059960448 \text{ kg } N_2O-N$$

$$N_2O-N \text{ (LEACH)} = [(34,731648 + 25,2288) \times 0,3] \times 0,0075 = 0,134911008 \text{ kg } N_2O-N$$

$$N_2O-N \text{ (indirect)} = (0,06 + 0,135) \times (44/28) = 0,306 \text{ kg } N_2O\text{-cab/ano}$$

$$CO_2e = 0,306 \times 265 = 81,150 \text{ kg } CO_2e\text{-cab/ano}$$

Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

$$N_2O-N \text{ (ATD)} = [(40,077 \times 100\%) \times 0,1] \times 0,01 = 0,040 \text{ kg } N_2O-N$$

$$N_2O-N \text{ (LEACH)} = [(40,077 \times 100\%) \times 0,3] \times 0,0075 = 0,090 \text{ kg } N_2O-N$$

$$N_2O = (0,040 + 0,090) \times (44/28) = 0,205 \text{ kg } N_2O\text{-cab/ano}$$

$$CO_2e = 0,205 \times 265 = 54,240 \text{ kg } CO_2e\text{-cab/ano}$$

6? CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DOS EXERCÍCIOS E CONCLUSÃO TÉCNICA PARA UTILIZAÇÃO DE TIER 1

6.1. Resultados do Exercício 1: assumindo situação particular gado leiteiro

Para o exercício foram assumidas algumas hipóteses de trabalho:

- Distribuição do uso dos sistemas de manejo (MS)

Liquid/slurry	1%
Solid storage	1%
Daily spread	62%
PRP	36%

- Temperatura média = 20 °C
- Massa Média por unidade de gado = 400 Kg

QUADRO 13
Participação das fontes emissoras no Exercício 1

Fonte	kg CO₂e/cab/ano	Participação
CH ₄ Entérico	2.016	80,5%
CH ₄ Manejo	33,8	1,4%
N ₂ O Manejo (dir+ind)	17,7	0,7%
N ₂ O Solos Direto	354,8	14,2%
N ₂ O Solos Indireto	81,1	3,2%
TOTAL	2.503,5	100%

Considerando um sistema de produção de gado leiteiro avaliado pelo método Tier 1 das Diretrizes do IPCC 2006 (Volume 4 - AFOLU), assumindo temperatura média anual de 20 °C, massa corporal média de 400 kg por animal e distribuição dos dejetos entre os sistemas de manejo de 1% em liquid/slurry, 1% em solid storage, 62% em daily spread e 36% em pasture/range/paddock (PRP), observou-se que as emissões são fortemente dominadas pelo metano proveniente da fermentação entérica. O resultado consolidado foi de 2.503,5 kg CO₂e/cabeça/ano, dos quais aproximadamente 80,5% são atribuídos às emissões entéricas (2.016,0 kg CO₂e/cabeça/ano).

As emissões associadas ao manejo de dejetos apresentaram contribuição reduzida, correspondendo a 51,6 kg CO₂e/cabeça/ano no total, ao passo que as emissões de N₂O provenientes de solos manejados totalizaram 435,9 kg CO₂e/cabeça/ano. A distribuição das emissões entre as diferentes fontes mostrou-se consistente com a estrutura observada nos inventários nacionais de gases de efeito estufa para a pecuária bovina, nos quais a fermentação entérica representa a principal fonte de emissões, seguida pelas emissões de N₂O oriundas dos solos agrícolas, enquanto as emissões associadas ao manejo de dejetos possuem participação relativamente menor no balanço total de emissões do sistema produtivo.

6.2. Resultados do Exercício 2: Assumindo situação particular gado de corte

Rebanho com finalidade de corte, supondo sistema de manejo majoritariamente ausente, 99% em pasture/range/paddock e 1% em other para América Latina, conforme exemplo da tabela 10A-5, supondo ainda, temperatura média anual de 20 graus celsius.

QUADRO 14
Participação das fontes emissoras no Exercício 2

Fonte	kg CO ₂ e/cab/ano	Participação
CH ₄ Entérico	1.568	79,1%
CH ₄ Manejo	25,5	1,3%
N ₂ O Solos Direto	333,6	16,8%
N ₂ O Solos Indireto	54,3	2,7%
TOTAL	1.981,5	100%

Considerando um sistema de produção de gado de corte avaliado pelo método Tier 1 das Diretrizes do IPCC 2006 (Volume 4 - AFOLU), assumindo temperatura média anual de 20 °C e um cenário representativo de criação extensiva, com praticamente 100% dos dejetos depositados diretamente em pasture/range/paddock (PRP), observou-se que as emissões são igualmente dominadas pelo metano proveniente da fermentação entérica. O resultado consolidado foi de 1.981,5 kg CO₂e/cabeça/ano, dos quais aproximadamente 79,1% são atribuídos às emissões entéricas, correspondendo a 1.568,0 kg CO₂e/cabeça/ano.

As emissões de CH₄ provenientes do sistema PRP totaliza 25,5 kg CO₂e/cabeça/ano, enquanto as emissões de N₂O provenientes dos solos manejados totalizaram 387,9 kg CO₂e/cabeça/ano. Não foram identificadas emissões relevantes de N₂O associadas ao manejo de dejetos, uma vez que o sistema considerado pressupõe a deposição praticamente integral dos dejetos diretamente no solo, sem etapas intermediárias de armazenamento ou tratamento. A distribuição das emissões entre as diferentes fontes mostrou-se aderente ao perfil reportado para sistemas de pecuária de corte predominantes no Brasil e consistente com a estrutura observada no Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

6.3. Análise Comparativa para ambos os cenários

O quadro 15, abaixo, resume os resultados encontrados neste estudo para fins de comparação entre os dois exercícios realizados, um para gado bovino leiteiro com distribuição de manejo de dejetos entre sistemas e outro de gado bovino de corte sem utilização de sistema de manejo de dejetos.

QUADRO 15
Resumo dos resultados obtidos para TIER 1

	Exercício 1 – Gado Leiteiro	Exercício 2 – Gado de Corte	UNIDADE
Emissões Entéricas	72	56	kg CH ₄ /cab/ano
Manejo de Dejetos	1,208	0,911	kg CH ₄ /cab/ano
Manejo de Dejetos N ₂ O direto	0,011	não se aplica	Kg N ₂ O/cab/ano
Manejo de Dejetos N ₂ O indireto	0,056	não se aplica	Kg N ₂ O/cab/ano
Solos Manejados N ₂ O direto	1,339	1,259	Kg N ₂ O/cab/ano
Solos Manejados N ₂ O indireto	0,306	0,205	Kg N ₂ O/cab/ano
Total CH ₄	73,208	56,911	kg CH ₄ /cab/ano
Total N ₂ O	1,712	1,464	Kg N ₂ O/cab/ano
Conversão CO₂e			
Emissões Entéricas - CH ₄	2.016,0	1.568,0	kg CO ₂ e/cab/ano
Manejo de Dejetos - CH ₄	33,817	25,578	kg CO ₂ e/cab/ano
Manejo de Dejetos N ₂ O direto	2,918	não se aplica	kg CO ₂ e/cab/ano
Manejo de Dejetos N ₂ O indireto	14,708	não se aplica	kg CO ₂ e/cab/ano
Solos Manejados N ₂ O direto	354,752	333,784	kg CO ₂ e/cab/ano
Solos Manejados N ₂ O indireto	81,150	54,240	kg CO ₂ e/cab/ano
TOTAL	2.503,3	1.981,6	kg CO ₂ e/cab/ano

A distribuição das emissões obtida nos exercícios apresenta comportamento compatível com aquele observado no Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do Brasil para a categoria Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU). Em ambos os cenários avaliados, as emissões de metano (CH₄) provenientes da fermentação entérica constituem a principal fonte de emissões, respondendo por aproximadamente 80% do total de CO₂ equivalente.

A segunda fonte mais relevante corresponde às emissões de óxido nitroso (N₂O) oriundas dos solos manejados, tanto diretas quanto indiretas. No exercício representativo da atividade leiteira, as emissões de N₂O dos solos totalizaram aproximadamente 436 kg CO₂e/cabeça/ano, enquanto no sistema de corte esse valor foi de cerca de 388 kg CO₂e/cabeça/ano. Esses resultados refletem a importância das excretas animais depositadas em pastagens e dos dejetos aplicados ao solo como fontes de nitrogênio passíveis de transformação microbiológica e emissão de N₂O, comportamento igualmente observado nas estimativas do Inventário Nacional para a categoria de solos agrícolas.

Por outro lado, as emissões associadas ao manejo de dejetos apresentaram participação relativamente reduzida no balanço total de emissões. Tanto o CH_4 quanto o N_2O provenientes dessa etapa representaram parcela pequena do total calculado, situação coerente com os sistemas pecuários predominantes no Brasil, nos quais grande parte dos dejetos é depositada diretamente nas pastagens. É importante notar que, para o bovino de corte deste exercício, não existe efetivamente um sistema de manejo de dejetos, uma vez que os animais depositam os excrementos diretamente na pastagem. O valor de 25,5 kg CO_2e classificado como "Manejo de Dejetos" resulta da convenção metodológica adotada pelo IPCC para contabilização das emissões de CH_4 no sistema Pasture/Range/Paddock, e não da ocorrência de coleta, armazenamento ou tratamento dos dejetos.

Outro ponto a destacar é que, no exercício 1 (gado leiteiro), a existência de um sistema de manejo de dejetos faz com que parte do nitrogênio excretado seja perdida antes da aplicação dos dejetos ao solo. De acordo com a metodologia do IPCC, essas perdas reduzem a quantidade de nitrogênio posteriormente considerada nas estimativas de N_2O em Solos Manejados, tanto nas emissões diretas quanto nas indiretas. Ainda assim, as emissões atribuídas ao gado leiteiro nessas categorias permanecem superiores às observadas para o gado de corte, indicando que a maior excreção de nitrogênio mais do que compensa a redução decorrente das perdas ocorridas durante o manejo dos dejetos.

Se olharmos para os resultados, temos uma primeira impressão de que o sistema leiteiro é mais emissor do que o sistema de corte. Isso está correto e decorre tanto de fatores físicos quanto dos supostos em relação aos sistemas de manejo de cada exercício. O motivo físico se encontra no fato de que o animal leiteiro tende a excretar mais nitrogênio e produzir mais metano entérico do que o animal de corte, tendo em vista diferenças de alimento necessário para sustentar a produção de leite e o peso bruto do animal. No método Tier 1 do IPCC, maiores taxas de ingestão de alimento resultam em maiores emissões de CH_4 entérico e, simultaneamente, em maiores taxas de excreção de nitrogênio (Nex), que alimentam os cálculos de N_2O direto e indireto dos solos. O motivo em relação aos supostos é que para o gado leiteiro no exercício 1 foi considerada a existência de manejo dos dejetos, o que introduz fontes adicionais de emissão de CH_4 , N_2O direto e N_2O indireto na categoria Manejo de Dejetos. Já no exercício do gado de corte assumiu-se deposição integral dos dejetos diretamente na pastagem (sistema Pasture/Range/Paddock), de modo que não há emissões de N_2O contabilizadas na categoria Manejo de Dejetos. Consequentemente, parte da diferença entre os resultados não decorre apenas das características biológicas dos animais, mas também da forma como os dejetos são gerados e encaminhados dentro dos sistemas considerados em cada exercício.

6.4. Conclusão técnica e próximos passos

O presente ESTUDO – Emissões Financiadas da atividade de PECUÁRIA BOVINA indica que o trabalho é tecnicamente válido como guia metodológico inicial para a construção de parâmetros físicos aplicáveis à pecuária bovina de corte e de leite. Com base nas Diretrizes do IPCC de 2006, Volume 4, AFOLU, o estudo organiza de forma integrada as principais fontes “on-farm”, abrangendo fermentação entérica, manejo de dejetos e emissões diretas e indiretas de N_2O em solos manejados, e explicita as relações entre efetivo animal, categoria produtiva, massa corporal, excreção de nitrogênio, temperatura e distribuição dos dejetos entre sistemas de manejo e PRP. Essa estrutura permite converter informações físicas observáveis do projeto ou do proponente em estimativas anuais de CH_4 , N_2O e CO_2e , preservando a separação entre processos emissores e o balanço de nitrogênio entre manejo de dejetos e aplicação ou deposição no solo. Os exercícios demonstrativos de corte e leite também confirmam a operacionalidade do modelo e a hierarquia de fontes esperada, com predominância da fermentação entérica, seguida pelas emissões de N_2O dos solos manejados e, em menor proporção, pelo manejo de dejetos.

Nesse sentido, o estudo pode fundamentar a elaboração de um protocolo de coleta de dados físicos e de uma matriz de fatores de emissão por tipologia produtiva, permitindo substituir, progressivamente, estimativas baseadas exclusivamente em proxies econômicos por estimativas associadas ao número e à categoria dos animais, ao sistema de produção e às práticas de manejo do empreendimento financiado. Essa orientação é compatível com a lógica de melhoria progressiva do IPCC, segundo a qual o Tier 1 utiliza equações e fatores default, enquanto os níveis superiores incorporam fatores nacionais, regionais ou específicos e dados mais desagregados. Também atende aos princípios de relevância, completude, consistência, transparência e exatidão do GHG Protocol, sobretudo porque o estudo documenta premissas, fontes, fronteiras e módulos de cálculo de maneira rastreável. Portanto, os resultados podem ser empregados como estimativas preliminares ou como fatores físicos de referência quando o projeto ainda não dispõe de inventário próprio, desde que cada aplicação registre expressamente a categoria animal, o efetivo médio anual, o período, a distribuição entre sistemas de manejo, a fração PRP, a massa animal, a temperatura, os fatores utilizados e as exclusões adotadas.

Para utilização em emissões financiadas, contudo, o estudo deve ser entendido como a etapa de estimativa das emissões da atividade real, e não como aplicação completa da PCAF. Após estimar as emissões do projeto ou do proponente, será necessário selecionar a classe de ativo correspondente e aplicar o fator de atribuição financeira previsto na segunda edição do padrão PCAF de 2022, além de registrar a qualidade dos dados e manter transparência sobre o uso de valores

observados, estimados ou proxies. A PCAF reconhece que limitações de dados não devem impedir o início da mensuração, mas recomenda explicitar a qualidade e promover sua melhoria ao longo do tempo. Assim, a principal contribuição técnica do estudo é oferecer uma ponte consistente entre os dados zootécnicos da operação financiada e a base de emissões requerida para o cálculo de Escopo 3, Categoria 15, permanecendo como limitações o caráter exploratório, a fronteira restrita às fontes “on-farm”, o uso predominante de Tier 1 e a necessidade de posterior validação com dados brasileiros ou específicos da operação.

7? Bibliografia

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Relatório do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa: National Inventory Report 2024. Brasília: MCTI, 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Relatório Final do Grupo de Trabalho do Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCTI, [s.d.].

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

PARTNERSHIP FOR CARBON ACCOUNTING FINANCIALS (PCAF). The Global GHG Accounting and Reporting Standard for the Financial Industry. Part A: Financed Emissions. 2. ed. Amsterdam: PCAF, 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition). Washington, DC: WRI; Geneva: WBCSD, 2004.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions. Washington, DC: WRI; Geneva: WBCSD, 2013.

ANEXO A: Fatores De Emissão Padrão Do IPCC para Emissão Entérica - Gado Bovino

TABLE 10.11
TIER 1 ENTERIC FERMENTATION EMISSION FACTORS FOR CATTLE¹

Regional characteristics	Cattle category	Emission factor ^{2,3} (kg CH ₄ head ⁻¹ yr ⁻¹)	Comments
North America: Highly productive commercialized dairy sector feeding high quality forage and grain. Separate beef cow herd, primarily grazing with feed supplements seasonally. Fast-growing beef steers/heifers finished in feedlots on grain. Dairy cows are a small part of the population.	Dairy	128	Average milk production of 8,400 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	53	Includes beef cows, bulls, calves, growing steers/heifers, and feedlot cattle.
Western Europe: Highly productive commercialized dairy sector feeding high quality forage and grain. Dairy cows also used for beef calf production. Very small dedicated beef cow herd. Minor amount of feedlot feeding with grains.	Dairy	117	Average milk production of 6,000 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	57	Includes bulls, calves, and growing steers/heifers.
Eastern Europe: Commercialized dairy sector feeding mostly forages. Separate beef cow herd, primarily grazing. Minor amount of feedlot feeding with grains.	Dairy	99	Average milk production of 2,550 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	58	Includes beef cows, bulls, and young.
Oceania: Commercialized dairy sector based on grazing. Separate beef cow herd, primarily grazing rangelands of widely varying quality. Growing amount of feedlot feeding with grains. Dairy cows are a small part of the population.	Dairy	100	Average milk production of 2,200 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	60	Includes beef cows, bulls, and young.
Latin America: Commercialized dairy sector based on grazing. Separate beef cow herd grazing pastures and rangelands. Minor amount of feedlot feeding with grains. Growing non-dairy cattle comprise a large portion of the population.	Dairy	72	Average milk production of 800 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	56	Includes beef cows, bulls, and young.
Asia: Small commercialized dairy sector. Most cattle are multi-purpose, providing draft power and some milk within farming regions. Small grazing population. Cattle of all types are smaller than those found in most other regions.	Dairy	68	Average milk production of 1,650 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	47	Includes multi-purpose cows, bulls, and young.
Africa and Middle East: Commercialized dairy sector based on grazing with low production per cow. Most cattle are multi-purpose, providing draft power and some milk within farming regions. Some cattle graze over very large areas. Cattle are smaller than those found in most other regions.	Dairy	46	Average milk production of 475 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	31	Includes multi-purpose cows, bulls, and young.
Indian Subcontinent: Commercialized dairy sector based on crop by-product feeding with low production per cow. Most bullocks provide draft power and cows provide some milk in farming regions. Small grazing population. Cattle in this region are the smallest compared to cattle found in all other regions.	Dairy	58	Average milk production of 900 kg head ⁻¹ yr ⁻¹ .
	Other Cattle	27	Includes cows, bulls, and young. Young comprise a large portion of the population.

¹ Emission factors should be derived on the basis of the characteristics of the cattle and feed of interest and need not be restricted solely to within regional characteristics.

² IPCC Expert Group, values represent averages within region, where applicable the use of more specific regional milk production data is encouraged. Existing values were derived using Tier 2 method and the data in Tables 10.A.1 and 10.A.2.

³ The following assumptions have been made in deriving these values: i) mature weights of animals have been used; ii) cows have been assumed to be non-lactating as lactation levels were low and, iii) the mix of bulls and castrates among "males" was undetermined as CFI value for castrates was not specified.

ANEXO B: Fatores De Emissão Padrão Do IPCC para Gestão do Estrume do Rebanho

Gado Bovino Leiteiro

Table 10A-4 Manure Management Methane Emission Factor Derivation for Dairy Cows											
Annual Average Temperature (°C)		Manure Management System MCFs									
		Lagoon ^a	Liquid/ Slurry ^b	Solid Storage	Drylot	Partial/ Paddock	Daily Spreading	Digester	Burned for Fuel	Other ^c	
Cool	10	66%	17%	20%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	10.0%	
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%	
	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	19	77%	38%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
Temp	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%	
	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
	Warm	29	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
30		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
31		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
32		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
33		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
34		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
35		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
36		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
37		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	
38		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%	

Region	Dairy Cow Characteristics				Manure Management System Usage (MS%)													
	Masc ^a	R ^b	VS ^c		kg	m ³ CH ₄ /kg VS	kg/d/head											
North America ^d	604	0.24	5.4	15.0%	27.0%	26.3%	0.0%	10.8%	18.4%	0.0%	0.0%	2.6%						
Western Europe	600	0.24	5.1	0.0%	35.7%	36.8%	0.0%	20.0%	7.0%	0.0%	0.0%	0.5%						
Eastern Europe	550	0.24	4.5	0.0%	17.5%	60.0%	0.0%	18.0%	2.5%	0.0%	0.0%	2.0%						
Oceania	500	0.24	3.5	16.0%	1.0%	0.0%	0.0%	76.0%	8.0%	0.0%	0.0%	0.0%						
Latin America	400	0.13	2.9	0.0%	1.0%	1.0%	0.0%	36.0%	62.0%	0.0%	0.0%	0.0%						
Africa	275	0.13	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	36.0%	62.0%	0.0%	0.0%	0.0%						
Middle East	275	0.13	1.9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	80.0%	20.0%	0.0%	0.0%	17.0%						
Indian Subcontinent	275	0.13	2.8	4.0%	38.0%	0.0%	0.0%	20.0%	29.0%	2.0%	7.0%	0.0%						
	275	0.13	2.6	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	27.0%	19.0%	1.0%	51.0%	0.0%						

^a Average dairy cow mass for each region (default estimates are ±10%).

^b R₀ estimates are ±15%.

^c Average VS production per head per day for the average dairy cow (default estimates are ±20%).

^dFor North America, "Other" manure management system MCFs represent deep pits, which have the same MCF values as Liquid Slurry.

^e Lagoon and Liquid Slurry MCFs are calculated based on the vmo/H₂O-Aerobium region relationship (Manning, et al. 2003). North American manure management system usage values are estimated using data from the 1992 and 1997 USDA Census of Agriculture and National Animal Health Monitoring System Reports. R₀ values are from Mount (1976) and Bryant, et al. (1976). For Western and Eastern Europe manure management system usage, mass and VS values based on the analysis of animal GHG inventories of Asian Countries submitted to the secretariat UNFCCC in 2004. For the rest of the world, the default information for dairy cows are developed by Gibbs and Lalonde (1993), and manure management system usage and R₀ estimates are from UNFCCC in 1992). Methane conversion factor data are from Woodbury and Holmbeck (1993). MCFs for lagoons and liquid slurry systems are based on data obtained from an analysis of data from the United States.

Emission Factors (EF) for each region are calculated based on eq 10.23.

[illegible]

Gado Bovino Corte

Annual Average Temperature (°C)			Manure Management System MCFs								
			Lagoon ¹	Liquid/ ¹ Shurry ²	Solid Storage	Drylot	Pasture/ ¹ Range/ ¹ Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other
Cool	10		66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11		68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12		70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13		71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14		73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
Temp	15		74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16		75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17		76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18		77%	34%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19		77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20		78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	21		78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22		78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23		79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24		79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
Warm	25		79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	26		79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27		80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	29		80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
Region	Other Cattle Characteristics			Manure Management System Usage (MSUs)							
	Mats ¹ kg	R ² m ³ /CF ₄ /kg VS	VS ³ kg/hd/day								
North America	339	0.19	2.4	0.0%	0.2%	0.0%	18.4%	81.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Western Europe	420	0.18	2.6	0.0%	25.2%	39.0%	0.0%	32.0%	1.8%	0.0%	2.0%
Eastern Europe	391	0.17	2.7	0.0%	22.5%	44.0%	0.0%	20.0%	0.0%	0.0%	13.5%
Oceania	330	0.17	3.0	0.0%	0.0%	0.0%	9.0%	91.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Latin America	365	0.1	2.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	99.0%	0.0%	0.0%	1.0%
Africa	173	0.1	0.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	99.0%	1.0%	0.0%	1.0%
Middle East	173	0.1	1.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	79.0%	2.0%	0.0%	17.0%
Asia	319	0.1	2.3	0.0%	0.0%	0.0%	46.0%	5.0%	2.0%	0.0%	2.0%
Indian Subcontinent	110	0.1	1.4	0.0%	1.0%	0.0%	4.0%	22.0%	20.0%	1.0%	53.0%

¹ Average other cattle mass for each region (default estimates are ±25%).
² R₂ estimates are ±15%.
³ Average VS production per head per day for the average non-dairy cow (default estimates are ±35%).

¹ Lagoon and Liquid/Shurry MCFs are calculated based on the van't Hoff-Archibald equation relating methane production to biological activity. Lagoon MCFs are also calculated based on longer (up to a year) retention times (Mangano, et al. 2001).

Emission Factors (EF) for each region are calculated based on eq 10.23.

Sources: For North America, other cattle mass are from Salley (2000) and USDA's Agricultural Waste Management Field Handbook and VS values are estimated based on an analysis of feed data from Petersen, et al. (2003). North American manure management system usage values are estimated using data from the 1992 and 1997 USDA's Centers of Agriculture and National Animal Health Monitoring System Reports. R₂ data are values reported in Huichanote (1981). For Western and Eastern Europe manure management system usage, average mats, R₂ and VS values based on the analysis of national GHG inventories of Annex 1 countries submitted to the secretariat UNFCCC in 2004. For the rest of the world, the detailed information for cattle are developed in Gibbs and Johnson (1993), and manure management system usage and R₂ estimates are from Salley et al. (1992). Methane conversion factors data are from Woodbury and Huichanote (1999). MCFs for lagoons and liquid/shurry systems are based on data obtained from an analysis of these systems in the United States.

[illegible]

ANEXO C: Distinção entre sistemas de manejo de dejetos

TABLE 10.18 DEFINITIONS OF MANURE MANAGEMENT SYSTEMS	
System	Definition
Pasture/Range/Paddock	The manure from pasture and range grazing animals is allowed to lie as deposited, and is not managed.
Daily spread	Manure is routinely removed from a confinement facility and is applied to cropland or pasture within 24 hours of excretion.
Solid storage	The storage of manure, typically for a period of several months, in unconfined piles or stacks. Manure is able to be stacked due to the presence of a sufficient amount of bedding material or loss of moisture by evaporation.
Dry lot	A paved or unpaved open confinement area without any significant vegetative cover where accumulating manure may be removed periodically.
Liquid/Slurry	Manure is stored as excreted or with some minimal addition of water in either tanks or earthen ponds outside the animal housing, usually for periods less than one year.
Uncovered anaerobic lagoon	A type of liquid storage system designed and operated to combine waste stabilization and storage. Lagoon supernatant is usually used to remove manure from the associated confinement facilities to the lagoon. Anaerobic lagoons are designed with varying lengths of storage (up to a year or greater), depending on the climate region, the volatile solids loading rate, and other operational factors. The water from the lagoon may be recycled as flush water or used to irrigate and fertilize fields.
Pit storage below animal confinements	Collection and storage of manure usually with little or no added water typically below a slatted floor in an enclosed animal confinement facility, usually for periods less than one year.
Anaerobic digester	Animal excreta with or without straw are collected and anaerobically digested in a large containment vessel or covered lagoon. Digesters are designed and operated for waste stabilization by the microbial reduction of complex organic compounds to CO ₂ and CH ₄ , which is captured and flared or used as a fuel.
Burned for fuel	The dung and urine are excreted on fields. The sun dried dung cakes are burned for fuel.
Cattle and Swine deep bedding	As manure accumulates, bedding is continually added to absorb moisture over a production cycle and possibly for as long as 6 to 12 months. This manure management system also is known as a bedded pack manure management system and may be combined with a dry lot or pasture.
Composting - in-vessel*	Composting, typically in an enclosed channel, with forced aeration and continuous mixing.
Composting - Static pile*	Composting in piles with forced aeration but no mixing.
Composting - Intensive windrow*	Composting in windrows with regular (at least daily) turning for mixing and aeration.
Composting - Passive windrow*	Composting in windrows with infrequent turning for mixing and aeration.
Poultry manure with litter	Similar to cattle and swine deep bedding except usually not combined with a dry lot or pasture. Typically used for all poultry breeder flocks and for the production of meat type chickens (broilers) and other fowl.
Poultry manure without litter	May be similar to open pits in enclosed animal confinement facilities or may be designed and operated to dry the manure as it accumulates. The latter is known as a high-rise manure management system and is a form of passive windrow composting when designed and operated properly.
Aerobic treatment	The biological oxidation of manure collected as a liquid with either forced or natural aeration. Natural aeration is limited to aerobic and facultative ponds and wetland systems and is due primarily to photosynthesis. Hence, these systems typically become anoxic during periods without sunlight.

* Composting is the biological oxidation of a solid waste including manure usually with bedding or another organic carbon source typically at thermophilic temperatures produced by microbial heat production.

ANEXO D: Tabela IPCC de excreção de nitrogênio (Nex) por 1000 kg de massa animal por dia

TABLE 10.19 DEFAULT VALUES FOR NITROGEN EXCRETION RATE ^a (KG N (1000 KG ANIMAL MASS) ⁻¹ DAY ⁻¹)								
Category of animal	Region							
	North America	Western Europe	Eastern Europe	Oceania	Latin America	Africa	Middle East	Asia
Dairy Cattle	0.44	0.48	0.35	0.44	0.48	0.60	0.70	0.47
Other Cattle	0.31	0.33	0.35	0.50	0.36	0.63	0.79	0.34
Swine ^b	0.40	0.50	0.54	0.52	1.47	1.47	1.47	0.40
Market	0.42	0.51	0.55	0.53	1.57	1.57	1.57	0.42
Breeding	0.24	0.42	0.46	0.46	0.55	0.55	0.55	0.24
Poultry	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
Hens >= 1 yr	0.83	0.96	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
Pullets	0.62	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Other Chickens	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
Broilers	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Turkeys	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Ducks	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Sheep	0.42	0.85	0.90	1.13	1.17	1.17	1.17	1.17
Goats	0.45	1.28	1.28	1.42	1.37	1.37	1.37	1.37
Horses (and mules, asses)	0.30	0.26	0.30	0.30	0.46	0.46	0.46	0.46
Camels ^c	0.38	0.38	0.38	0.38	0.46	0.46	0.46	0.46
Buffalo ^c	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Mink and Polecat (kg N head ⁻¹ yr ⁻¹) ^d	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
Rabbits (kg N head ⁻¹ yr ⁻¹)	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
Fox and Raccoon (kg N head ⁻¹ yr ⁻¹) ^d	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09

The uncertainty in these estimates is $\pm 50\%$.
^aSummarized from 1996 IPCC Guidelines, 1997; European Environmental Agency, 2002; USA EPA National NH₃ Inventory Draft Report, 2004; and data of GHG inventories of Annex I Parties submitted to the Secretariat UNFCCC in 2004.
^bNitrogen excretion for swine are based on an estimated country population of 90% market swine and 10% breeding swine.
^cModified from European Environmental Agency, 2002.
^dData of Hutchings *et al.*, 2001.

Conversão NEX para base anual (importante) ainda por 1.000 kg de peso vivo animal

Gado de Corte -> $0,36 \times 365 \approx 131$ kg N/1000 kg/ano

Gado Leiteiro -> $0,48 \times 365 \approx 175$ kg N/1000 kg/ano

Conversão NEX para cabeça de gado utiliza o TAM (Typical Animal Mass)

Para os exercícios utilizaram-se os valores específicos das Tabelas 10.A.4 e 10.A.5. em que TAM=400 kg para bovino leiteiro e TAM = 3-5 kg para bovino outros, ambos para América Latina.

Gado de Corte -> $131 \times 305/1000 = 40,077$ kg N/cab/ano

Gado Leiteiro -> $175 \times 400/1000 = 70,08$ kg N/cab/ano

ANEXO E: Fatores de Emissão Padrão do IPCC para emissões diretas de N₂O dos sistemas de manejo

TABLE 10.21 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR DIRECT N ₂ O EMISSIONS FROM MANURE MANAGEMENT					
System	Definition	EF ₃ [kg N ₂ O-N (kg Nitrogen excreted) ⁻¹]	Uncertainty ranges of EF ₃	Source ^a	
Pasture/Range/ Paddock	The manure from pasture and range grazing animals is allowed to lie as is, and is not managed.	Direct and indirect N ₂ O emissions associated with the manure deposited on agricultural soils and pasture, range, paddock systems are treated in Chapter 11, Section 11.2, N ₂ O emissions from managed soils.			
Daily spread	Manure is routinely removed from a confinement facility and is applied to cropland or pasture within 24 hours of excretion. N ₂ O emissions during storage and treatment are assumed to be zero. N ₂ O emissions from land application are covered under the Agricultural Soils category.	0	Not applicable	Judgement by IPCC Expert Group (see Co-chairs, Editors and Experts; N ₂ O emissions from Manure Management).	
Solid storage ^b	The storage of manure, typically for a period of several months, in unconfined piles or stacks. Manure is able to be stacked due to the presence of a sufficient amount of bedding material or loss of moisture by evaporation.	0.005	Factor of 2	Judgement of IPCC Expert Group in combination with Amon <i>et al.</i> (2001), which shows emissions ranging from 0.0027 to 0.01 kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹ .	
Dry lot	A paved or unpaved open confinement area without any significant vegetative cover where accumulating manure may be removed periodically. Dry lots are most typically found in dry climates but also are used in humid climates.	0.02	Factor of 2	Judgement of IPCC Expert Group in combination with Kulling (2003).	
Liquid/Slurry	Manure is stored as excreted or with some minimal addition of water to facilitate handling and is stored in either tanks or earthen ponds.	With natural crust cover	0.005	Factor of 2	Judgement of IPCC Expert Group in combination with Sommer <i>et al.</i> (2000).
		Without natural crust cover	0	Not applicable	Judgement of IPCC Expert Group in combination with the following studies: Harper <i>et al.</i> (2000), Lague <i>et al.</i> (2004), Monteny <i>et al.</i> (2001), and Wagner-Riddle and Marinier (2003). Emissions are believed negligible based on the absence of oxidized forms of nitrogen entering systems in combination with low potential for nitrification and denitrification in the system.
Uncovered anaerobic lagoon	Anaerobic lagoons are designed and operated to combine waste stabilization and storage. Lagoon supernatant is usually used to remove manure from the associated confinement facilities to the lagoon. Anaerobic lagoons are designed with varying lengths of storage (up to a year or greater), depending on the climate region, the volatile solids loading rate, and other operational factors. The water from the lagoon may be recycled as flush water or used to irrigate and fertilise fields.	0	Not applicable	Judgement of IPCC Expert Group in combination with the following studies: Harper <i>et al.</i> (2000), Lague <i>et al.</i> (2004), Monteny <i>et al.</i> (2001), and Wagner-Riddle and Marinier (2003). Emissions are believed negligible based on the absence of oxidized forms of nitrogen entering systems in combination with low potential for nitrification and denitrification in the system.	
Pit storage below animal confinements	Collection and storage of manure usually with little or no added water typically below a slatted floor in an enclosed animal confinement facility.	0.002	Factor of 2	Judgement of IPCC Expert Group in combination with the following studies: Amon <i>et al.</i> (2001), Kulling (2003), and Sneath <i>et al.</i> (1997).	

ANEXO F: Fatores para cálculo das emissões indiretas de N₂O por sistema de manejo

TABLE 10.22 DEFAULT VALUES FOR NITROGEN LOSS DUE TO VOLATILISATION OF NH₃ AND NO_x FROM MANURE MANAGEMENT		
Animal type	Manure management system (MMS) ^a	N loss from MMS due to volatilisation of N-NH₃ and N-NO_x (%) ^b Frac_{GasMS} (Range of Frac_{GasMS})
Swine	Anaerobic lagoon	40% (25 – 75)
	Pit storage	25% (15 – 30)
	Deep bedding	40% (10 – 60)
	Liquid/slurry	48% (15 – 60)
	Solid storage	45% (10 – 65)
Dairy Cow	Anaerobic lagoon	35% (20 – 80)
	Liquid/Slurry	40% (15 – 45)
	Pit storage	28% (10 – 40)
	Dry lot	20% (10 – 35)
	Solid storage	30% (10 – 40)
	Daily spread	7% (5 – 60)
Poultry	Poultry without litter	55% (40 – 70)
	Anaerobic lagoon	40% (25 – 75)
	Poultry with litter	40% (10 – 60)
Other Cattle	Dry lot	30% (20 – 50)
	Solid storage	45% (10 – 65)
	Deep bedding	30% (20 – 40)
Other ^c	Deep bedding	25% (10 – 30)
	Solid storage	12% (5 – 20)
^a Manure Management System here includes associated N losses at housing and final storage system. ^b Volatilization rates based on judgement of IPCC Expert Group and following sources: Rotz (2003), Hutchings <i>et al.</i> (2001), and U.S EPA (2004). ^c Other includes sheep, horses, and fur-bearing animals.		

ANEXO G: Valores padrão para perda total de N no manejo de dejetos por sistema de manejo

TABLE 10.23 DEFAULT VALUES FOR TOTAL NITROGEN LOSS FROM MANURE MANAGEMENT		
Animal category	Manure management system ^a	Total N loss from MMS ^b FracLossMMS (Range of FracLossMMS)
Swine	Anaerobic lagoon	78% (55 – 99)
	Pit storage	25% (15 – 30)
	Deep bedding	50% (10 – 60)
	Liquid/Slurry	48% (15 – 60)
	Solid storage	50% (20 – 70)
Dairy Cow	Anaerobic lagoon	77% (55 – 99)
	Liquid/Slurry	40% (15 – 45)
	Pit storage	28% (10 – 40)
	Dry lot	30% (10 – 35)
	Solid storage	40% (10 – 65)
	Daily spread	22% (15 – 60)
Poultry	Poultry without litter	55% (40 – 70)
	Anaerobic lagoon	77% (50 – 99)
	Poultry with litter	50% (20 – 80)
Other Cattle	Dry lot	40% (20 – 50)
	Solid storage	50% (20 – 70)
	Deep bedding	40% (10 – 50)
Other ^c	Deep bedding	35% (15 – 40)
	Solid storage	15% (5 – 20)

^a Manure Management System here includes associated N losses at housing and final storage system.

^b Total N loss rates based on judgement of IPCC Expert Group and following sources: Rotz (2003), Hutchings *et al.* (2001), and U.S EPA (2004). Rates include losses in forms of NH₃, NO_x, N₂O, and N₂ as well from leaching and runoff from solid storage and dry lots. Values represent average rates for typical housing and storage components without any significant nitrogen control measures in place. Ranges reflect values that appear in the literature. Where measures to control nitrogen losses are in place, alternative rates should be developed to reflect those measures.

^c Other includes sheep, horses, and fur-bearing animals.

ANEXO H: Entradas de N em solos manejados (utilizadas na estimativa direta de N₂O)

TABLE 11.1 DEFAULT EMISSION FACTORS TO ESTIMATE DIRECT N ₂ O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS		
Emission factor	Default value	Uncertainty range
EF ₁ for N additions from mineral fertilisers, organic amendments and crop residues, and N mineralised from mineral soil as a result of loss of soil carbon [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0.01	0.003 - 0.03
EF _{1FR} for flooded rice fields [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0.003	0.000 - 0.006
EF _{2CG, Temp} for temperate organic crop and grassland soils (kg N ₂ O–N ha ⁻¹)	8	2 - 24
EF _{2CG, Trop} for tropical organic crop and grassland soils (kg N ₂ O–N ha ⁻¹)	16	5 - 48
EF _{2F, Temp, Org, R} for temperate and boreal organic nutrient rich forest soils (kg N ₂ O–N ha ⁻¹)	0.6	0.16 - 2.4
EF _{2F, Temp, Org, P} for temperate and boreal organic nutrient poor forest soils (kg N ₂ O–N ha ⁻¹)	0.1	0.02 - 0.3
EF _{2F, Trop} for tropical organic forest soils (kg N ₂ O–N ha ⁻¹)	8	0 - 24
EF _{3PRP, CPP} for cattle (dairy, non-dairy and buffalo), poultry and pigs [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0.02	0.007 - 0.06
EF _{3PRP, SO} for sheep and 'other animals' [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0.01	0.003 - 0.03
Sources: EF ₁ : Bouwman et al. 2002a,b; Stehfest & Bouwman, 2006; Novoa & Tejeda, 2006 in press; EF _{1FR} : Akiyama <i>et al.</i> , 2005; EF _{2CG, Temp} , EF _{2CG, Trop} , EF _{2F, Trop} : Klemetsson <i>et al.</i> , 1999, IPCC Good Practice Guidance, 2000; EF _{2F, Temp} : Alm <i>et al.</i> , 1999; Laine <i>et al.</i> , 1996; Martikainen <i>et al.</i> , 1995; Minkinen <i>et al.</i> , 2002; Regina <i>et al.</i> , 1996; Klemetsson <i>et al.</i> , 2002; EF _{3, CPP} , EF _{3, SO} : de Klein, 2004.		

ANEXO I: Fatores de Emissão Indireta de N₂O padrão por volatilização e lixiviação

TABLE 11.3 DEFAULT EMISSION, VOLATILISATION AND LEACHING FACTORS FOR INDIRECT SOIL N ₂ O EMISSIONS		
Factor	Default value	Uncertainty range
EF ₄ [N volatilisation and re-deposition], kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹ ²²	0.010	0.002 - 0.05
EF ₅ [leaching/runoff], kg N ₂ O-N (kg N leaching/runoff) ⁻¹ ²³	0.0075	0.0005 - 0.025
Frac _{GASF} [Volatilisation from synthetic fertiliser], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N applied) ⁻¹	0.10	0.03 - 0.3
Frac _{GASM} [Volatilisation from all organic N fertilisers applied, and dung and urine deposited by grazing animals], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N applied or deposited) ⁻¹	0.20	0.05 - 0.5
Frac _{LEACH-(H)} [N losses by leaching/runoff for regions where $\Sigma(\text{rain in rainy season}) - \Sigma(\text{PE in same period}) > \text{soil water holding capacity}$, OR where irrigation (except drip irrigation) is employed], kg N (kg N additions or deposition by grazing animals) ⁻¹	0.30	0.1 - 0.8
Note: The term Frac _{LEACH} previously used has been modified so that it now only applies to regions where soil water-holding capacity is exceeded, as a result of rainfall and/or irrigation (excluding drip irrigation), and leaching/runoff occurs, and redesignated as Frac _{LEACH-(H)} . In the definition of Frac _{LEACH-(H)} above, PE is potential evaporation, and the rainy season(s) can be taken as the period(s) when rainfall > 0.5 * Pan Evaporation. (Explanations of potential and pan evaporation are available in standard meteorological and agricultural texts). For other regions the default Frac _{LEACH} is taken as zero.		