

POTENCIAL DE  
MITIGAÇÃO DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA DAS AÇÕES  
DE DESCARBONIZAÇÃO DA  
PECUÁRIA ATÉ 2030

EDUARDO DELGADO ASSAD  
CAMILA GENARO ESTEVAM  
CICERO ZANETTI DE LIMA  
EDUARDO DE MORAIS PAVÃO  
TALITA PRISCILA PINTO

## ▲ OBSERVATÓRIO DE CONHECIMENTO E INOVAÇÃO EM BIOECONOMIA

### **COORDENADOR DO FGV AGRO**

ROBERTO RODRIGUES

### **COORDENADORES DO OBSERVATÓRIO DE BIOECONOMIA**

DANIEL BARCELOS VARGAS

ANGELO COSTA GURGEL

CECÍLIA FAGAN COSTA

### **AUTORES DO ESTUDO**

EDUARDO DELGADO ASSAD

CAMILA GENARO

CICERO ZANETI DE LIMA

EDUARDO PAVÃO

TALITA PRISCILA PINTO

### **PATROCÍNIO**

ITAÚ UNIBANCO

ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS BRASILEIRAS

### **ESTE ESTUDO ESTÁ DISPONÍVEL EM:**

[HTTPS://EESP.FGV.BR/CENTROS/OBSERVATORIOS/BIOECONOMIA](https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia)

**DATA DO ESTUDO:** NOVEMBRO DE 2021

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **4**

2. CONTEXTUALIZAÇÃO **5**

- 2.1 - RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS
- 2.2 - INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA - ILPF
- 2.3 - GASES EFEITO ESTUFA

3. METODOLOGIA **10**

4. RESULTADOS **11**

- 4.1 - PANORAMA DAS PASTAGENS
- 4.2 - PANORAMA DO REBANHO
- 4.3 - TECNOLOGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO
  - RECUPERAÇÃO DAS PASTAGENS DEGRADADAS*
  - INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA*

5. CONSIDERAÇÕES  
FINAIS **20**

6. REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS **21**

7. APÊNDICE  
METODOLÓGICO **22**

# 1. INTRODUÇÃO

**E**ste relatório tem como objetivo apresentar uma avaliação quantitativa do potencial de mitigação de Gases de Efeito Estufa (GEEs) gerado pelo incremento das tecnologias de recuperação de pastagens degradadas e sistemas de produção de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Brasil até o ano de 2030.

Para atingir esse objetivo foi desenvolvido um **Modelo de projeção e mitigação para diferentes ações de descarbonização da pecuária**, considerando um cenário de redução de pastagens degradadas e, conseqüente, incremento de áreas de sistemas de ILPF no país até o ano de 2030.

A metodologia de cálculo foi baseada na estrutura metodológica dos protocolos para cálculos de inventários de emissões de GEEs que vêm sendo desenvolvidos há quase duas décadas pelo *World Resources Institute* (WRI) em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). Atualmente, as métricas estabelecidas pelo GHG Protocol são internacionalmente aceitas e utilizadas para o desenvolvimento de inventários corporativos, projetos e estudos relacionados a emissões e remoções de GEE.

Especificamente, em 2012 o WRI iniciou um projeto para criar novos recursos técnicos e desenvolver ferramentas para mensurar e gerir de forma mais efetiva as emissões agrícolas, o Projeto GHG Protocol Agropecuário. Inicialmente o projeto gerou dois recursos técnicos, as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) e a Ferramenta de Cálculo de Emissões e Remoções da Agropecuária.

As (DAB) consistem em um protocolo de contabilização de emissões das atividades agrícolas, pecuárias e de mudança de uso de solo. O protocolo propõe uma estrutura consistente e uniforme para o mapeamento e delimitação das fontes de emissões que devem ser incluídas no inventário de GEE de uma empresa do setor agrícola ou de uma unidade rural, assim como uma forma de reporte dos dados de emissão destes inventários. A Ferramenta de Cálculo é um produto proveniente de uma parceria entre WRI, Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas), que permite o cálculo das emissões de GEE utilizando fatores de emissões adequados para a realidade brasileira.

Combinando estes recursos e utilizando dados derivados dos relatórios de referência da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, foi possível calcular a trajetória de mitigação de emissões de GEE da pecuária por meio de modelagem de cenário considerando a adoção das estratégias citadas.

Esse trabalho faz parte das atividades do **Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia**. A próxima seção deste documento faz, de forma breve, uma contextualização das tecnologias foco do estudo: recuperação de pastagens degradadas e sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Na sequência é feita uma breve apresentação do método utilizado, seguida dos resultados do estudo.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

O agronegócio desempenha um papel fundamental para a economia brasileira e concedeu ao Brasil o protagonismo global na produção e exportação de produtos agropecuários. O setor responde por 27% do Produto Interno Bruto<sup>1</sup> do país, 20% de todos os empregos e 48% das exportações<sup>2</sup>. Essa relevância econômica é pautada em um cenário de crescimento setorial constante ao longo das últimas décadas.

A disponibilidade de terras agricultáveis e as condições climáticas, associadas à constante geração e adoção de tecnologias, possibilitou que o Brasil ocupasse papel de destaque na produção e comércio global de alimentos. Paralelo a esse crescimento, houve aumento da pressão sobre os recursos naturais, evidenciando a importância da sustentabilidade da agropecuária e da economia como um todo. Dessa forma, fez-se necessário a contínua busca por sistemas produtivos que sejam ao mesmo tempo mais eficientes e poupem recursos naturais.

Um dos grandes desafios relacionados ao crescimento econômico e setorial é o impacto ambiental e às mudanças climáticas. A agropecuária se destaca de forma dual: de um lado há a vulnerabilidade do setor a mudanças do clima e de outro há as emissões de GEEs geradas por seus processos de produção. Com isso há a iminente preocupação em garantir o avanço sustentável dos sistemas produtivos agrícolas, necessário inclusive para a sobrevivência do próprio setor.

Dados da oitava edição do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)<sup>3</sup> (2019) indicam que o setor é responsável por 28% das emissões totais de GEE no país, ficando em segundo lugar atrás do setor de mudanças do uso da terra. No entanto, apesar de apresentar elevadas emissões, o setor é fundamental quando se trata de estratégias e políticas de mitigação.

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), estabelece seis práticas que visam o desenvolvimento sustentável e com isso, a mitigação das emissões do setor, sendo elas: recuperação de pastagens degradadas; integração lavoura-pecuária-floresta; sistema de plantio direto; florestas plantadas; tratamento de dejetos animais, e fixação biológica de nitrogênio.

Dentre as seis atividades indicadas, destacam-se duas de relevância em relação ao potencial de mitigação de emissões quando se trata da pecuária bovina nacional: recuperação de pastagem degradadas e sistemas integrados de Lavoura Pecuária Floresta.

<sup>1</sup> Disponível em: [www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx](http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx)

<sup>2</sup> Disponível em: [www.indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm](http://www.indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm)

<sup>3</sup> Disponível em: [www.seeg.eco.br/](http://www.seeg.eco.br/)

## 2.1. RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS

**A**s pastagens degradadas são sistemas produtivos caracterizados por baixos níveis de tecnologia e manejo inadequado, como a falta de adubação de manutenção e ocorrência de sobrecarga animal, levando a uma degradação generalizada e manejo animal deficiente, o que resulta em baixo desempenho produtivo (Strassburg et al., 2014).

A degradação de pastagens, como apresentado na Figura 1, afeta diretamente a capacidade de suporte, caracterizada pelo número de animais por área de pastagem em que a produtividade é mantida sem o detrimento do desempenho da produção animal ou do desenvolvimento da pastagem. O processo de degradação, além de gerar prejuízos econômicos ao produtor, tem impactos negativos ao meio ambiente, com impactos nos recursos hídricos e incrementos de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.



Fonte: Extraído de Dias Filho (2017)

A degradação é, portanto, um processo contínuo que se destaca pela diminuição da capacidade de suporte dos animais e pela baixa qualidade da forragem. O manejo inadequado é o principal fator que ocasiona o empobrecimento do solo e a degradação da pastagem. Quanto mais avançado o estágio de degradação, maiores as quantidades de insumos e operações necessárias para sua recuperação, acarretando em custos incrementais ao longo do tempo.

Com a evolução do processo de degradação há perda de cobertura vegetal e diminuição de matéria orgânica no solo, causando emissão de CO<sub>2</sub>. Ao se recuperar as pastagens, o processo é invertido e o solo passa a acumular carbono (ASSAD, 2015).

O processo de degradação de pastagens tem como característica indicativa o suporte animal ao longo do tempo. Se há monitoramento da exploração pecuária, observa-se

Figura 1: Apresentação dos diferentes níveis de degradação presentes em pastagens

inicialmente queda da capacidade de suporte para uma mesma oferta de forragem. Se ações de manejo não forem colocadas em prática, quantidade e qualidade da forragem começam a decair refletindo diretamente no desempenho animal. Nessa fase é possível que haja áreas descobertas com ausência de forragem e exposição do solo. Além disso, podem surgir invasoras e pragas já que há perda de capacidade de recuperação natural por parte da pastagem cultivada devido à competição com espécies nativas (ZIMMER et al., 2012).

A reposição de nutrientes na pastagem melhora a qualidade da dieta animal, reduzindo o tempo de abate e com isso a emissão de gás metano (CH<sub>4</sub>) pela fermentação entérica (KURIHARA et al., 1999), além de aliviar a pressão para converter novas áreas naturais em pastagem.

Quando comparado a um pasto degradado, a recuperação de pastagem proporciona maior estoque de carbono ao sistema já que, com o acúmulo de matéria orgânica no solo, as perdas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera são interrompidas. Além disso, a transição de pastagens para um sistema de manejo de qualidade, caracterizado pelo incremento de produtividade vegetal, cobertura e proteção do solo e melhoria de parâmetros qualitativos do solo, fazem com que a pastagem se torne um sumidouro de CO<sub>2</sub>.

Segundo os dados mais recentes do Atlas Digital das Pastagens Brasileiras, disponibilizados pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG)<sup>4</sup>, referentes ao ano de 2018, as áreas de pastagens ocupam cerca de 167 milhões de hectares do território brasileiro. Desse total, cerca de 42%, ou 70,9 milhões de hectares, apresentam degradação moderada ou severa.

## 2.2. INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA - ILPF

O interesse pela sustentabilidade dos sistemas agrícolas e alimentares pode ser atribuído a preocupações ambientais que começaram a aparecer entre as décadas de 50 e 60 (PRETTY, 2008). As apreensões com a sustentabilidade se concentram na necessidade de desenvolver tecnologias e práticas agrícolas que não tenham efeitos adversos sobre o meio ambiente, sejam acessíveis aos agricultores, e conduzam a melhorias tanto produtivas quanto ambientais. A sustentabilidade em sistemas agrícolas incorpora conceitos de resiliência aliados à capacidade dos sistemas de perdurar por longos períodos.

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta apresenta-se como opção viável para alcançar maior sustentabilidade agrícola além de melhorar a produtividade pecuária brasileira. O sistema incorpora vários modelos (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015) que se relacionam e podem variar de acordo com o tempo ou espaço que estão inseridos.

---

<sup>4</sup>Disponível em: [www.pastagem.org/map](http://www.pastagem.org/map)

Os sistemas ILPF possibilitam a diversificação da produção, reduzindo os riscos da atividade agrícola relacionados ao clima e a variação de preços de mercado. Além disso, esses sistemas podem atuar como sumidouros de carbono atmosférico. Consistem em implementar rotação periódica de culturas, pastagens e gado na mesma área com plantio consorciado, sequencial ou rotacionado. Alterna-se de tempos em tempos o uso da terra entre lavoura e pecuária. A combinação de agricultura e pastagem dentro da mesma área leva a sinergias entre os componentes do sistema que podem gerar ganhos de produção, redução de custos e melhoria dos serviços ecossistêmicos de biodiversidade (VILELA et al., 2008).

Portanto, uma vez que o sistema apresenta o componente forrageiro e florestal, têm potencial de contribuir na retenção de carbono em solo e biomassa, bem como na redução de emissões de GEE. Adicionalmente, em sistemas de ILPF, parte do CO<sub>2</sub> removido poderá auxiliar na redução de emissões em outros setores além da agricultura, se a madeira for comercializada para o mercado de móveis ou para a geração de energia, por exemplo.

Dados mais recentes disponibilizados pela Rede ILPF apontam que até o ano de 2015 o Brasil contava com 11,47 milhões de hectares em sistemas integrados e há estimativas de que até 2020 esse valor tenha atingido 17,4 milhões de ha<sup>5</sup>. Além disso, entre 2005 e 2015, houve crescimento de cerca de 10 milhões de hectares de áreas com sistemas ILPF no Brasil.

## 2.3. GASES EFEITO ESTUFA

**A**s estratégias apresentadas anteriormente têm por objetivo a mitigação dos gases de efeito estufa. Os GEEs são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte da radiação infravermelha. Muitos deles, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e ozônio (O<sub>3</sub>), ocorrem de forma natural na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta. No entanto, devido às atividades antrópicas, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O vem aumentando na atmosfera (MACHADO, 2005).

Os GEEs mais representativos relacionados às atividades agropecuárias são dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Segundo classificação do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), os principais processos do setor que resultam nas emissões são: fermentação entérica, manejo de dejetos dos animais, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas, emissão de óxido nitroso de insumos e emissões e remoções de dióxido de carbono proveniente das mudanças de uso de solos.

A fermentação entérica ocorre em uma das etapas da digestão dos animais herbívoros ruminantes, como bovinos, búfalos, ovelhas e cabras. O processo digestivo desses animais resulta na geração de gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), que é utilizado pelas bactérias metanogênicas para reduzir dióxido de carbono, resultando na formação do gás metano, que é então expelido via eructação para a atmosfera. Animais herbívoros monogástricos (não ruminantes), como cavalos e suínos, também emitem metano, entretanto, em menor quantidade, por não fermentarem o alimento ingerido durante a digestão (ASSAD, 2019).

---

<sup>5</sup> Fonte: [www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/ilpf-em-numeros](http://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/ilpf-em-numeros)



A emissão pelo manejo de dejetos animais ocorre quando o material orgânico dos dejetos é decomposto sob condições anaeróbias, onde bactérias metanogênicas podem produzir quantidades relevantes de CH<sub>4</sub>. Essas condições são favorecidas quando os dejetos são estocados na forma líquida, o que é mais comum em sistemas de manejo de animais em confinamento. Por possuírem nitrogênio, os dejetos também levam a emissões de N<sub>2</sub>O durante seu manejo.

O metano está em segundo lugar como gás que mais contribui para o aquecimento do planeta através da absorção de radiação na atmosfera, perdendo somente para o dióxido de carbono. O aumento de sua concentração está fortemente ligado com a expansão da população humana, visto que as principais fontes emissoras deste gás, além da fermentação entérica são os aterros sanitários, uso de combustíveis fósseis e práticas agrícolas (Zotti & Paulino, 2009).

No Brasil, o metano emitido pelo setor agropecuário equivale a 76,1%<sup>6</sup> da emissão total de metano no país, logo ações visando a mitigação das emissões são necessárias para diminuir os impactos da agropecuária brasileira na produção de gases de efeito estufa.

Diante desse cenário, a pecuária se destaca por emitir grandes quantidades de GEEs oriundas da fermentação entérica e do manejo de dejetos. No entanto, o setor apresenta um grande potencial de redução e mitigação das emissões de GEEs, através da implementação de estratégias de recuperação de pastagens degradadas e adoção de sistemas de ILPF.

---

<sup>6</sup> Fonte: Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

### 3. METODOLOGIA

Para avaliação do potencial de mitigação de emissões de GEEs através da adoção de tecnologias de recuperação de pastagens degradadas e implementação de sistemas de produção de ILPF, foi desenvolvido um modelo de projeção visando o cálculo do potencial de mitigação das emissões para a pecuária bovina brasileira até o ano de 2030.

A metodologia de cálculo e fatores de emissão utilizados seguem os relatórios técnicos de referência do setor agropecuário, subsetores de manejo de dejetos animais e fermentação entérica, do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Os fatores de emissões consideram as diferentes categorias de animais, idade e sexo, bem como percentual de utilização de cada tipo de manejo para tratamento dos dejetos e condições climáticas. Dessa forma, foram utilizados os mais atualizados e regionalizados fatores de emissões disponíveis publicamente. As principais premissas para a construção do modelo e projeções estão presentes no **Quadro 1**.

Para o cálculo das emissões do rebanho bovino, foram consideradas as fontes de emissões provenientes da fermentação entérica e do manejo de dejetos. Também foram consideradas as emissões provenientes da aplicação de insumos (adubos e corretivos), utilizadas nas etapas de reforma e manutenção dos sistemas produtivos. O Apêndice metodológico, apresentado ao final deste documento, contém mais informações sobre o modelo e as projeções realizadas neste relatório.

Variável	Valor	Unidade	Fonte
Área de pastagens	170.662,14*	1.000 ha	LAPIG, 2021 <sup>7</sup>
Área de pastagens degradadas	64.705,32*	1.000 ha	LAPIG, 2021
Rebanho bovino	212.908,00**	1.000 cabeças	ANUALPEC, 2021 <sup>8</sup>
Crescimento das pastagens do Brasil	-0,36	% a.a.	FIESP
Crescimento do rebanho bovino nacional (2010-2019)	0,33	% a.a.	PPM-IBGE, 2021
<b>Recuperação de pastagens degradadas</b>			
Aplicação de insumos: ureia	100	kg/ha/ano	Premissa do estudo (conhecimento dos autores e conversas com especialistas)
Aplicação de insumos: calcário	2.000	kg/ano (a cada 4 anos)	Premissa do estudo (conhecimento dos autores e conversas com especialistas)
<b>Sistema ILPF</b>			
Componente animal: taxa de lotação	2,5	cabeças/ha	Premissa do estudo (conhecimento dos autores e conversas com especialistas)
Componente florestal: floresta de eucalipto	400	plantas/ha	Premissa do estudo (conhecimento dos autores e conversas com especialistas)

**QUADRO 1.** Principais premissas assumidas para construção e desenvolvimento do modelo de projeção e mitigação para diferentes ações de descarbonização da pecuária

\* Dados referentes ao ano de 2018 segundo a classificação estadual disponibilizada pelo LAPIG em 23 de maio de 2021. \*\* Dados referentes ao ano de 2018.

<sup>7</sup> Disponível em: [www.lapig.iesa.ufg.br/p/38972-atlas-das-pastagens](http://www.lapig.iesa.ufg.br/p/38972-atlas-das-pastagens).

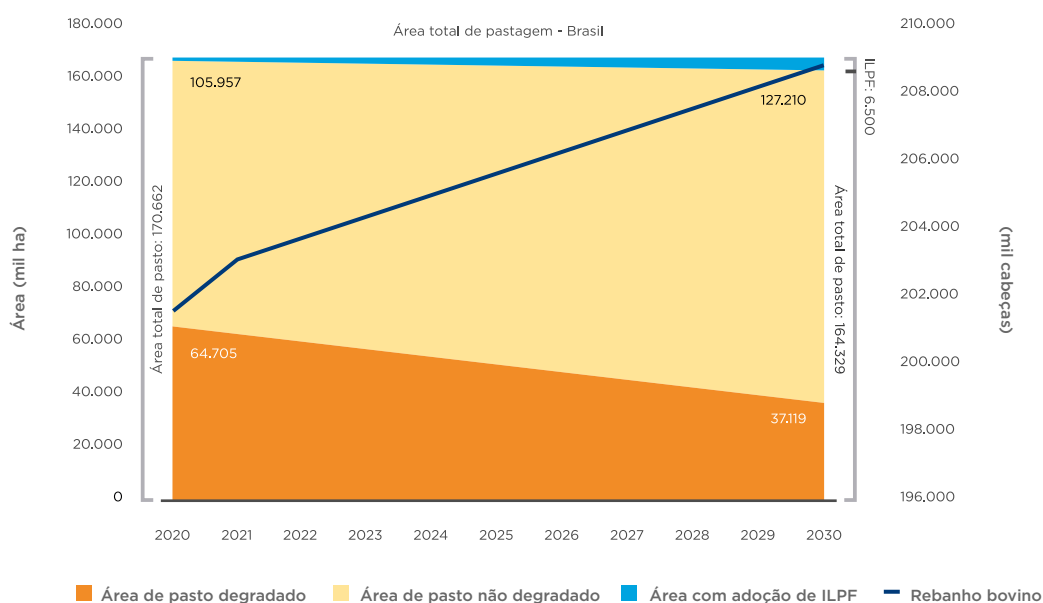
<sup>8</sup> Disponível em: [www.anualpec.com.br/](http://www.anualpec.com.br/)

## 4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados encontrados neste estudo. O ponto de partida foi mapear, segundo dados do LAPIG<sup>9</sup>, as áreas de pastagens brasileiras divididas em diferentes estágios de degradação. Para os cálculos de aplicação da tecnologia de recuperação foram consideradas as áreas em estágio moderado e severo de degradação. Ao todo, as duas categorias somam 64,7 Mha do total de 170,8 Mha de áreas de pastagens do Brasil em 2018, o que representa cerca de 38% da área de pastagens. Outros 105,9 Mha não apresentam sinais de degradação ou apresentam sinais leves de degradação.

### 4.1. PANORAMA DAS PASTAGENS

Figura 2, a seguir, apresenta as trajetórias de evolução das pastagens e do rebanho considerando suas respectivas taxas de crescimento. Dado o histórico recente das pastagens do Brasil, espera-se uma redução na área total atingindo, em 2030, cerca de 164,3 Mha. Em relação a 2018 são cerca de 6,5 Mha liberados para diferentes usos, como por exemplo, sistemas integrados de produção. Ao mesmo tempo, espera-se uma aceleração da recuperação de pastagens onde 27,5 Mha seriam recuperados até 2030, cerca de 2,3 Mha por ano. Como resultado dessa dinâmica, espera-se um aumento da capacidade de suporte das pastagens do Brasil atingindo 1,27 cabeça por hectare em 2030, considerando o crescimento recente do rebanho bovino brasileiro. Como veremos a seguir, esse potencial pode ser ampliado drasticamente com a adoção de sistemas integrados de produção que combinam diferentes componentes de produção - florestal, pecuária, e agricultura.



Fonte: Resultados da pesquisa.

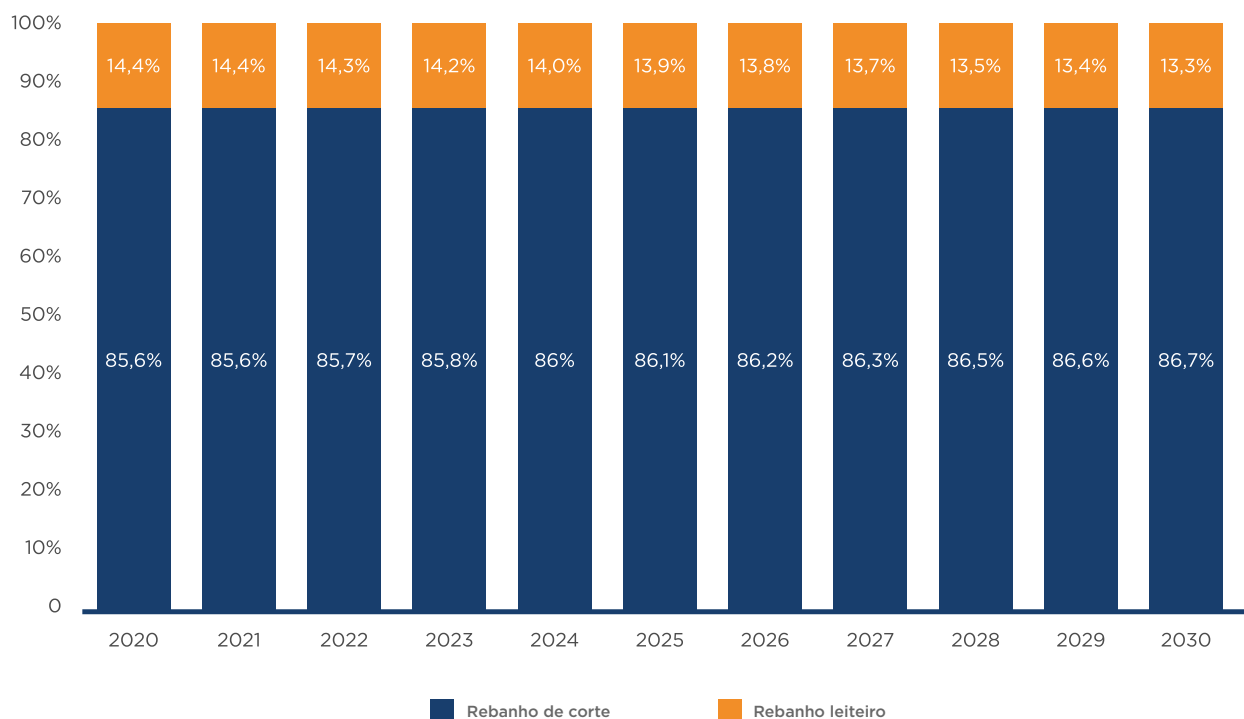
<sup>9</sup> Disponível em: [www.pastagem.org/map](http://www.pastagem.org/map)

**Figura 2:** Projeção da evolução da condição das áreas de pastagem e incremento de adoção de ILPF no Brasil entre 2020 e 2030

## 4.2. PANORAMA DO REBANHO

O rebanho bovino brasileiro atingiu 201,4 milhões de cabeças no ano de 2020, sendo 85,6% representado pela pecuária bovina de corte e o restante pela pecuária bovina leiteira. De acordo com as estimativas do Anualpec para o ano de 2021, o rebanho nacional atualmente conta com 202,9 milhões de cabeças, sendo 173,7 milhões representados pela pecuária de corte (85,6%) e 29,2 milhões pela pecuária de leite (14,4%). A estimativa também indica um crescimento de 5,2% para o rebanho bovino de corte e uma redução de 4,5% para o rebanho leiteiro até o final de 2030.

A **Figura 3**, a seguir, apresenta a projeção da proporção dos rebanhos da pecuária bovina de corte e leite até o ano de 2030. Os dados indicam estabilidade na proporção dos rebanhos, sendo que a participação da pecuária de corte apresenta variação entre 85,5%-86,7% em relação ao rebanho bovino nacional.

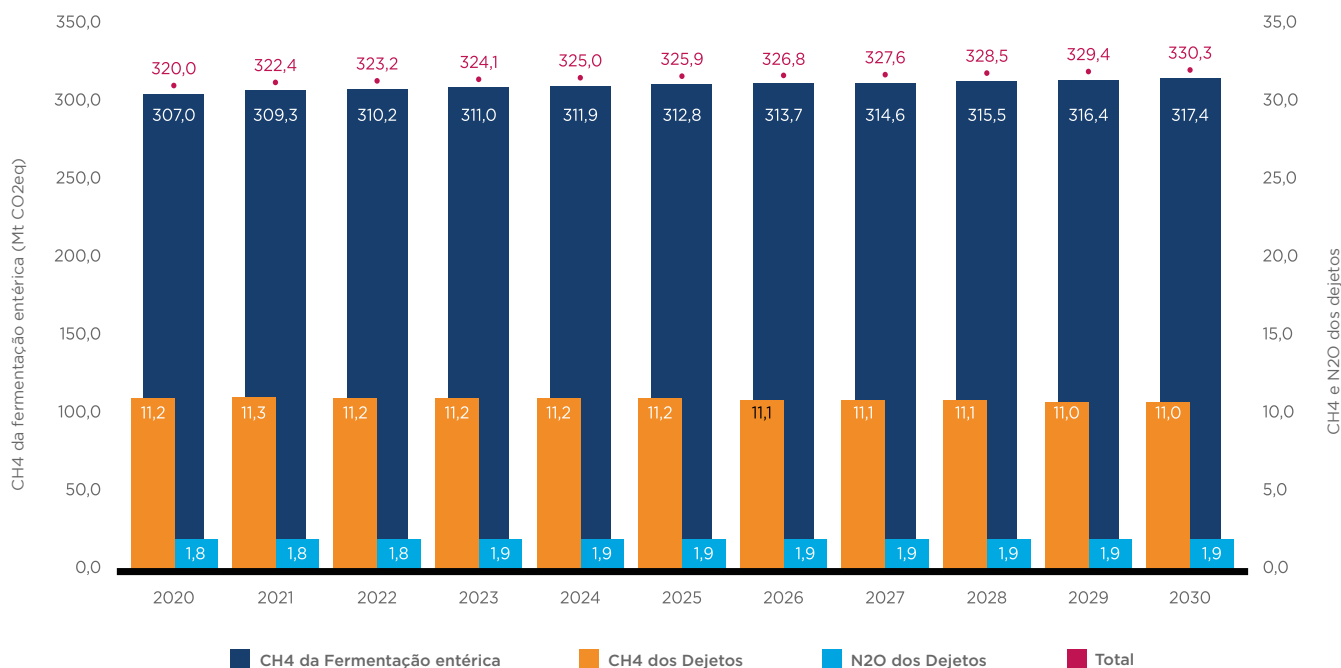


**Fonte:** Resultados da pesquisa.

A **Figura 4**, a seguir, apresenta as emissões totais de gases de efeito estufa, em milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Mt CO<sub>2</sub>eq), provenientes do rebanho bovino de corte e leite, segregados pelos gases: metano proveniente do processo de fermentação entérica e do manejo de dejetos e óxido nitroso proveniente apenas dos dejetos.

**Figura 3:** Projeção da participação do rebanho nacional de corte e leite até 2030

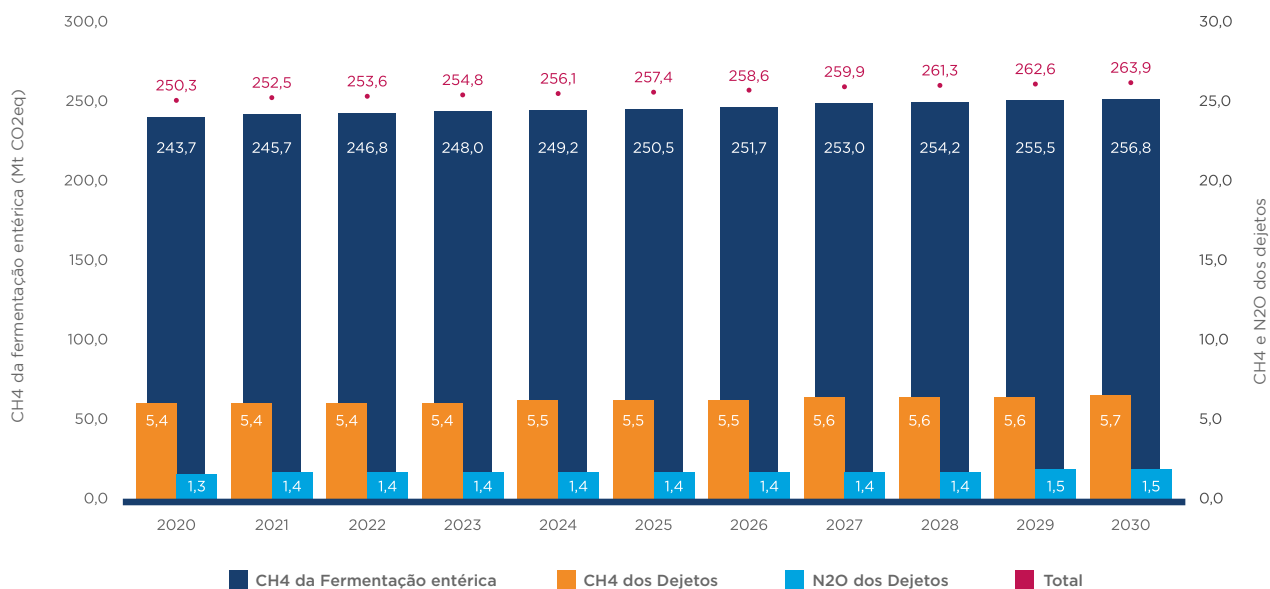
Os resultados por tipo de GEE indicam o quão expressiva é a emissão de metano proveniente da fermentação entérica, que representa, em média, 96% do total. Já as emissões geradas pelo manejo dos dejetos animais representam, em média, apenas 4% do total, sendo o metano responsável por 3,3% e o óxido nitroso 0,7%. Em suma, as emissões totais de metano oriundas do rebanho bovino equivalem a 99,3% das emissões totais analisadas para a pecuária.



Fonte: Resultados da pesquisa.

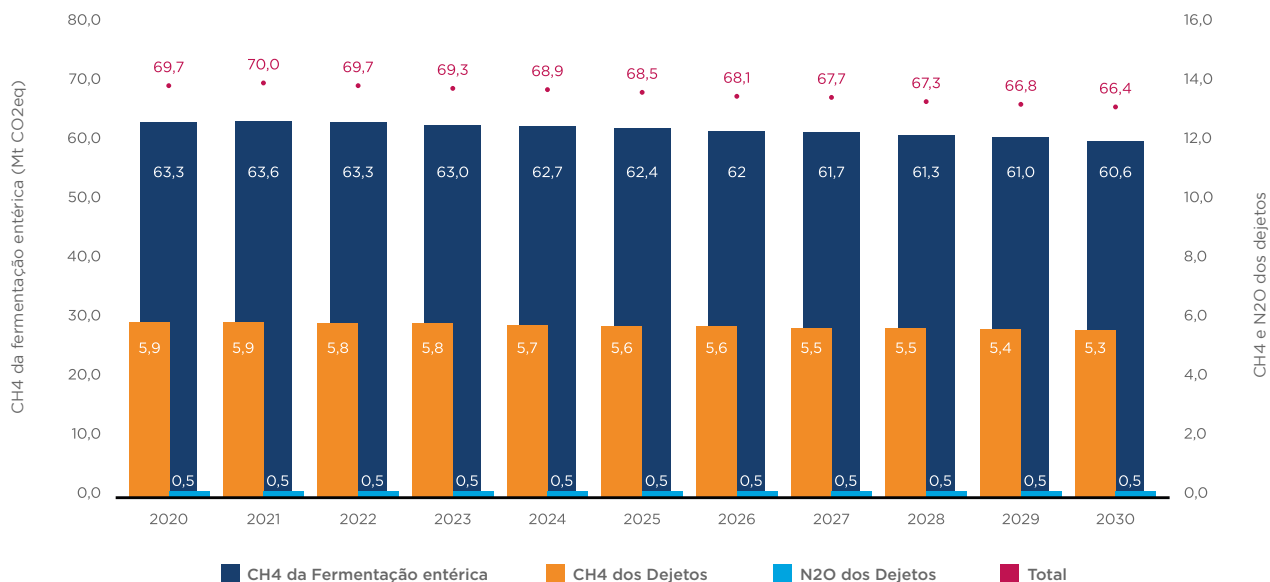
Considerando as emissões totais de GEEs apenas para a bovinocultura de corte (**Figura 5**), nota-se que as proporções de emissões são próximas às do rebanho total, sendo que o metano representa em torno de 99,1%, dos quais aproximadamente 97% são provenientes da fermentação entérica e apenas 2,1% do manejo dos dejetos animais. Já o óxido nitroso representa 0,5% das emissões. Esse é um resultado esperado, visto que o rebanho de corte responde por cerca de 86% do rebanho nacional. Em 2030, projeta-se uma emissão total de 263.9 Mt CO2eq, sendo 5,4% de aumento em relação a 2020.

**Figura 4:** Projeção das emissões de gases de efeito estufa derivadas do rebanho bovino de corte e leiteiro, por tipo de gás, entre 2020 e 2030



Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando as emissões provenientes da bovinocultura leiteira (**Figura 6**), observa-se que o padrão de dominância das emissões totais de metano se mantém, entretanto, ao se desagregar por fontes de emissão nota-se que a fermentação entérica corresponde a 91% e o manejo dos dejetos animais a 8,4%. Essa variação se justifica devido às práticas de manejo e tratamentos de dejetos utilizados em sistemas de produção de bovinocultura leiteira, como manejo em pilhas/amontoa e lagoas anaeróbicas, sistemas caracterizados por emitirem maiores quantidades de metano e óxido nitroso por animal. Já as proporções de óxido nitroso se mantêm equivalentes, em torno de 0,5% do total.



Fonte: Resultados da pesquisa.

**Figura 5:** Projeção das emissões de gases de efeito estufa derivadas do rebanho bovino de corte, por tipo de gás, entre 2020 e 2030

**Figura 6:** Projeção das emissões de gases de efeito estufa derivadas do rebanho bovino leiteiro, por tipo de gás, entre 2020 e 2030

Os resultados apresentados destacam a relevância das emissões de metano em sistemas de produção de bovinocultura, em especial aquelas com origem na fermentação entérica. Diferentemente do manejo dos dejetos animais onde o sistema produtivo e o sistema de tratamento de manejo influenciam diretamente nas emissões, a fermentação entérica é menos sensível às diferentes estratégias de manejo. Consequentemente, a parcela das emissões da fermentação entérica se mantém praticamente constante ao longo do período analisado, tanto para o rebanho de corte quanto para o de leite.

Considerando a dinâmica de emissões de GEEs do rebanho nacional, nota-se o quanto a intensificação de sistemas produtivos, como a recuperação de pastagens e a implementação de ILPF, se mostram estratégias necessárias para a redução das emissões de metano e promoção da sustentabilidade da pecuária através do incremento de oferta e qualidade nutricional e redução do tempo de abate do rebanho.

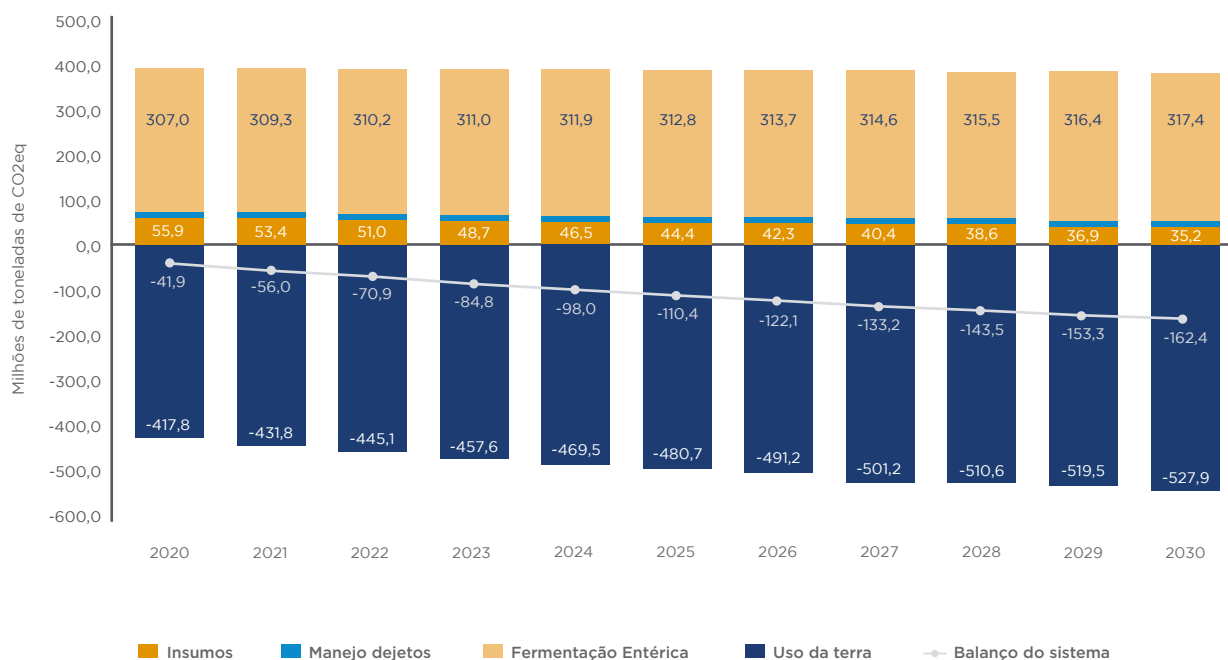
## 4.3. TECNOLOGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO

Como apresentado anteriormente, dentre as diferentes tecnologias que contribuem para a descarbonização da agricultura, este relatório manteve como foco a quantificação de duas delas: recuperação de pastagens degradadas e integração lavoura pecuária floresta. As seções a seguir apresentam os resultados encontrados no estudo considerando a aplicação dessas duas tecnologias até o ano de 2030.

### 4.3.1 RECUPERAÇÃO DAS PASTAGENS DEGRADADAS

A **Figura 7**, a seguir, apresenta o balanço das emissões de GEE oriundas da tecnologia de recuperação de pastagens e da pecuária até 2030. Foram consideradas as emissões provenientes do uso de insumos (uréia e calcário) adicionados no processo de recuperação, bem como as remoções da mudança do uso do solo. Já para a pecuária são consideradas as emissões oriundas da fermentação entérica e manejo dos dejetos dos animais.

Conforme apresentado na seção anterior, considera-se a adição anual de uréia (100 kg/ha/ano); já o calcário considera-se a adição em ciclos de 4 anos (2.000 kg/ano) a partir de 2019 até 2027. A utilização desses insumos no processo de recuperação gera até 2030 uma emissão acumulada de **551,7 Mt CO<sub>2</sub>eq**. Esse valor equivale, em média, a 42,4 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano no período e representa somente cerca de 10% das emissões totais do processo de recuperação.



Fonte: Resultados da pesquisa.

A fermentação entérica dos ruminantes é sem dúvida a principal fonte de emissões do sistema de produção da pecuária, representando cerca de 95% das emissões. São projetadas as emissões de **4.082,8 Mt CO<sub>2</sub>eq** até 2030, cerca de 314 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano. O manejo dos dejetos dos animais representa cerca de 4% do total das emissões do sistema. São projetadas as emissões de **170,3 Mt CO<sub>2</sub>eq** até 2030, equivalente a 13,1 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano.

A mudança do uso da terra é o fator determinante para inverter o sinal das emissões de GEE no sistema de pecuária. A tecnologia de recuperação das pastagens, associada à produção da pecuária, é capaz de remover carbono da atmosfera fixando-o no solo. Considera-se a remoção de carbono da transição do uso da terra entre as áreas de pastagens degradadas para as pastagens recuperadas, como também a remoção de carbono das pastagens sem sinais de degradação ou degradação leve. Assim, ao se recuperar 27,5 Mha até 2030 acumula-se um total de **6.028 Mt CO<sub>2</sub>eq** no solo, equivalente a 463,7 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano. Os dados mais recentes disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)<sup>10</sup> mostram que em 2016 as emissões de GEEs por parte do setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF) foram de 397,4 Mt CO<sub>2</sub>eq. Portanto, a tecnologia de recuperação de pasto degradado seria capaz de neutralizar as emissões advindas do setor LULUCF e ainda gerar créditos em termos de remoção de CO<sub>2</sub>eq da atmosfera, contribuindo para um balanço de mitigação positivo para o Brasil.

A recuperação das pastagens degradadas gera incrementos de biomassa vegetal, permitindo assim o aumento da capacidade de suporte dos sistemas produtivos. Dessa forma, ao prover mais oferta de alimento para os animais e uma dieta de melhor qualidade, reduz-se o tempo

<sup>10</sup> Disponível em: [www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene](http://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene)

**Figura 7:** Projeção das emissões de gases de efeito estufa derivadas da pecuária e recuperação de pastagens degradadas entre 2020 e 2030

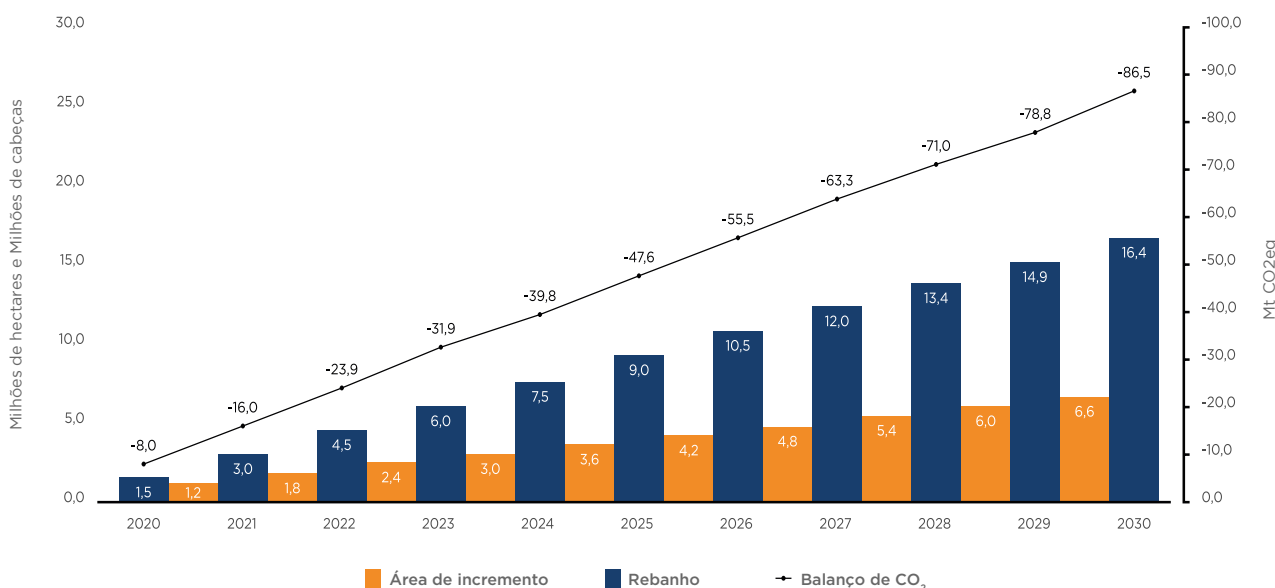


de abate e o tamanho total do rebanho, e consequentemente, as emissões de metano da fermentação entérica por quantidade de carne produzida (KURIHARA, MAGNER, HUNTER, & MCCRABB, 1999). Essa dinâmica ainda não é captada pelo modelo, portanto, os resultados apresentados até aqui podem ser considerados conservadores.

O balanço final do sistema, ou seja, das emissões da pecuária associadas às remoções da recuperação das pastagens é de uma remoção total de carbono até 2030 de **1.223,6 Mt CO<sub>2</sub>eq**, equivalente a 94,1 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano.

## 4.3.2 INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

A **Figura 8**, a seguir, apresenta as trajetórias de evolução da adoção, em área, de sistemas ILPF, bem como o incremento do rebanho e o balanço de emissões e remoções do sistema. Até o ano de 2030, é projetada a adoção de 6,5 Mha de ILPF provenientes das áreas liberadas para diferentes usos resultantes da dinâmica de redução total das pastagens. Considerou-se uma capacidade de suporte constante de 2,5 cabeças por hectare nos sistemas ILPF ao longo do período. Dessa forma, o incremento do rebanho ocorre estritamente pelo aumento da área de adoção do sistema. A projeção acumulada do balanço de emissões e remoções atinge 86,5 Mt CO<sub>2</sub>eq em 2030. As áreas destinadas à ILPF seriam capazes de dar suporte para até 16,3 milhões de animais em 2030.



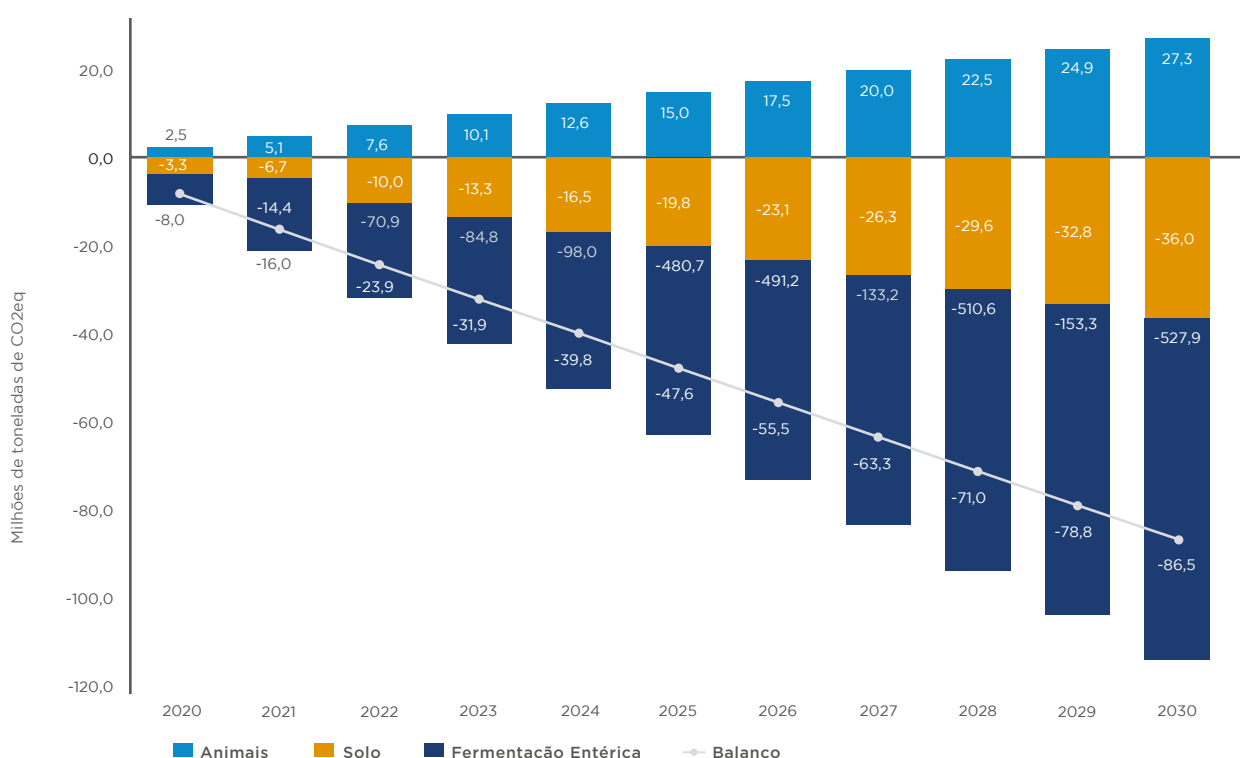
Fonte: Resultados da pesquisa.

**Figura 8:** Projeção da evolução do incremento da área de adoção e rebanho dos sistemas de ILPF e balanço de carbono entre 2020 e 2030

Tecnologias como a reintegração de sistemas agrícolas, pecuários e florestais têm capacidade de reduzir as emissões associadas à produção agrícola moderna, além de promover ganhos de produtividade (GARRETT et al., 2017). A sinergia entre sistemas integrados tem papel fundamental para a produção global de alimentos e conservação do meio ambiente (GARRETT et al., 2017) e tem se revelado Pareto-eficiente, já que os elementos tornam-se parte de um único sistema que, devido a essa sinergia, apresenta a melhoria da produção de todas as partes.

A busca por esses novos sistemas tem como objetivo principal a mudança na estrutura de uso da terra, integrando componentes produtivos que maximizem os efeitos positivos sobre o meio ambiente, fornecendo benefícios substanciais à conservação do solo, qualidade da água (POFFENBARGER et al., 2017), aumentando a produtividade e recuperando recursos naturais em áreas degradadas.

A **Figura 9**, apresenta a dinâmica anual do balanço de emissões do sistema ILPF segmentado de acordo com a composição do sistema, sendo: remoção do componente florestal (carbono estocado na madeira), incremento do estoque de carbono no solo e emissões provenientes dos processos de fermentação entérica e manejo dos dejetos dos animais. Vale destacar que a adoção do sistema ILPF em 6,5 Mha gera no solo um acúmulo de 36 Mt CO<sub>2</sub>eq, uma média de 3,2 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano. Somente o acúmulo de carbono no solo já neutraliza as emissões do rebanho bovino considerando uma taxa de lotação de 2,5 cabeças por hectare. As emissões do rebanho totalizam 27,3 Mt CO<sub>2</sub>eq em 2030.

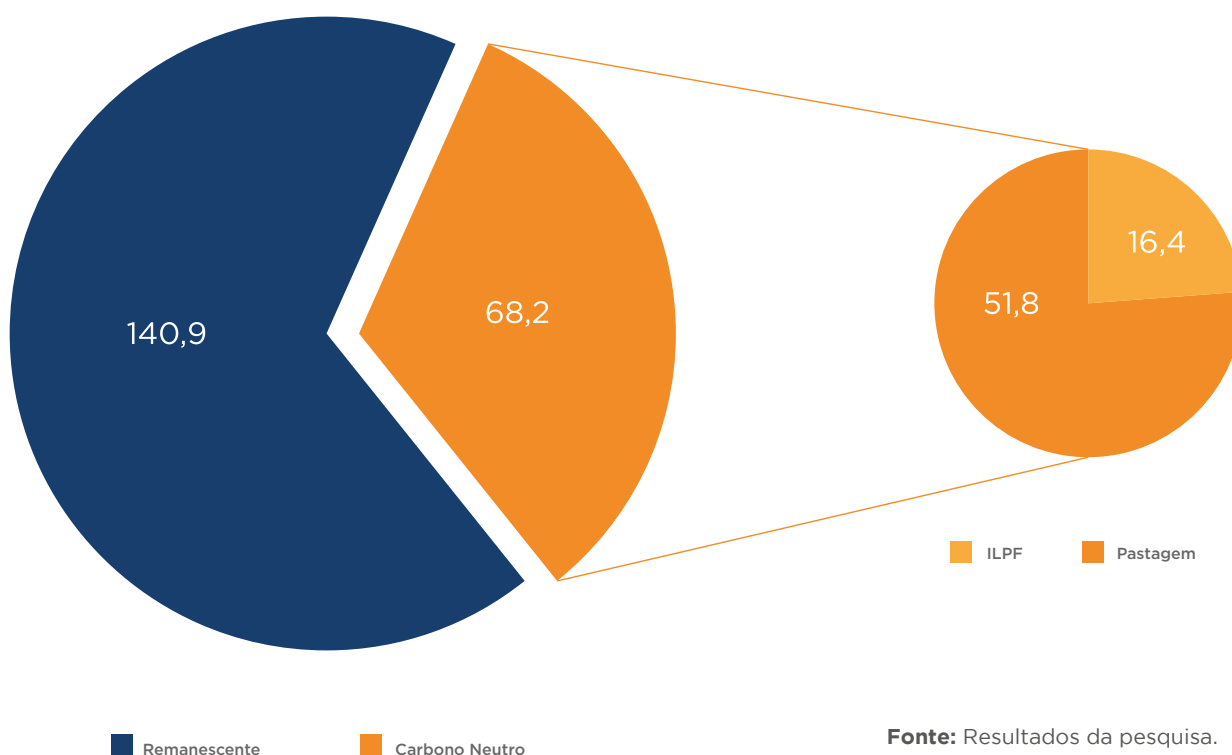


**Fonte:** Resultados da pesquisa.

**Figura 9:** Projeção da evolução do balanço de emissões do sistema ILPF, por componente do sistema, entre 2020 e 2030

A tecnologia ILPF apresenta um grande potencial de adoção e mitigação de gases de efeito estufa. Adicionalmente, o sistema com dois componentes ou até três componentes (pecuária, lavoura, floresta) agrega renda de forma sustentável à produção agropecuária brasileira sem geração de um passivo ambiental. Conforme apresentado, no cenário considerado, a implementação do sistema permitiria mitigar 86,5 Mt CO<sub>2</sub>eq até 2030. A produção animal proveniente do sistema ILPF seria carbono neutro, ou seja, os componentes de solo e floresta são capazes de mitigar as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) do rebanho bovino e, adicionalmente, permitem compensar uma parcela de metano emitido pelo rebanho presente em sistemas convencionais de pastagem.

Os resultados mostram que haveria a compensação das emissões de 51,8 milhões de cabeças que estariam em sistemas convencionais. Dessa forma 32,6% do rebanho nacional, ou 68,2 milhões de cabeças, poderia ser considerado carbono neutro (**Figura 10**). Isso significa que para cada cabeça presente no sistema ILPF (com três componentes: lavoura-pecuária-floresta) haveria a compensação das emissões de outras 3,2 cabeças em pastagens. Esse é um resultado considerado conservador, visto que o sistema ILPF já ocorre no Brasil e garante a sustentabilidade do próprio rebanho e de uma parcela do rebanho presente em sistemas convencionais de pastagem. Os números apresentados revelam, portanto, qual seria o benefício adicional do cenário projetado.



Fonte: Resultados da pesquisa.

**Figura 10:** Projeção da composição adicional de rebanho nacional carbono neutro em 2030 (milhões de cabeças)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou contribuir com uma análise quantitativa do potencial de mitigação de Gases de Efeito Estufa (GEEs) gerado pelo incremento das tecnologias de recuperação de pastagens degradadas e sistemas de produção de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) no Brasil até o ano de 2030. Para tal, desenvolveu-se um Modelo de projeção e mitigação para diferentes ações de descarbonização da pecuária, considerando um cenário de redução gradual de pastagens degradadas e, conseqüente, incremento de áreas de sistemas de ILPF no país até o ano de 2030.

Os resultados indicam que, considerando a trajetória recente da evolução das pastagens brasileiras, a área total de pastagem em 2030 seria 3,7% menor, contando com 164,3 Mha. Dessa forma, haveria a liberação de 6,5 Mha para diferentes usos quando comparado a área adotada em 2018. Em paralelo seriam recuperados 27,5 Mha de pastos degradados. Essa dinâmica de uso da terra poderia oferecer ganhos de produtividade ao rebanho bovino, que atingiria uma taxa de lotação de 1,27 cabeça por hectare.

Considerando essa evolução da pecuária, até 2030 haveria a remoção líquida total de carbono de 1.223,6 Mt CO<sub>2</sub>eq, em média 94,1 Mt CO<sub>2</sub>eq/ano, invertendo, dessa forma, as emissões do sistema de pecuária associadas às pastagens. Ou seja, a adoção em larga escala de uma tecnologia de descarbonização é capaz de transformar uma atividade agropecuária, tradicionalmente emissora, em mitigadora de GEEs. Além disso, o excedente de mitigação poderia compensar uma parcela das emissões diretas e indiretas provenientes de outras atividades agropecuárias.

Adicionalmente, a adoção do sistema ILPF em 6,5 Mha com taxa de lotação de 2,5 cabeças por hectare, promoveria um acúmulo de 36 Mt CO<sub>2</sub>eq no solo, volume mais do que suficiente para neutralizar as emissões do rebanho bovino presente nesta área. O balanço final das emissões provenientes desse sistema atingiria uma mitigação de 86,5 Mt CO<sub>2</sub>eq. Vale ressaltar que a tecnologia ILPF potencializa a capacidade de descarbonização do setor agropecuário quando associado a outras tecnologias, como recuperação de pastagens degradadas.

A dinâmica apresentada é possível já que o potencial de mitigação de Gases de Efeito Estufa das pastagens varia de acordo com a tecnologia de recuperação adotada - recuperação/reforma tradicional das pastagens ou sistemas integrados de produção. Espera-se, portanto, que haja uma remoção gradual e contínua de carbono atmosférico capturado na biomassa das forrageiras em processo de recuperação e reforma das pastagens, com fixação de carbono no solo, além da redução do desmatamento.

Na prática, o intuito é a aplicação de tecnologia para devolver aos sistemas sua capacidade produtiva para que estejam aptos a produzir a mesma quantidade de carne com menor tamanho de rebanho, liberar área para produção de outras culturas e/ou reflorestar vegetação nativa (seriam liberados cerca de 6,5 Mha), além de proporcionar a remoção de carbono por meio do solo pela melhoria na qualidade da pastagem. Além dos benefícios socioeconômicos gerados pela intensificação da pecuária ao produzir mais carne por hectare somada à redução do tempo de abate dos animais, melhorando assim a condição econômica dos pecuaristas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D. Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: A Evolução de um Novo Paradigma. Observatório ABC, 2015. [s.l.: s.n.].

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, Davi José et al (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, 2019. Cap. 11. p. 153-167.

DIAS FILHO, M. B. Degradação de pastagens: o que é e como evitar. Brasília: Embrapa, 2017. 19p.

GARRETT, R. D. et al. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136-146, jul. 2017.

GIL, J. D. B.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, p. 394-406, 2015.

KURIHARA, M. et al. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, v. 81, n. 1, p. 227-234, 1999.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Embrapa Solos**. Quim. Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.

POFFENBARGER, H. et al. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, U.S.A.. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 51-69, out. 2017.

PRETTY, J. Agricultural Sustainability: Concepts, Principles and Evidence. **Philosophical Transactions Royal Society**, v. 1, n. 363, p. 447-465, 2008.

STRASSBURG, B. B. N. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, Sep. 2014.

VILELA, L. et al. Integração Lavoura-pecuária. **Embrapa Cerrados**, v. 1, n. 1, p. 933-962, 2008.

ZIMMER, A. H. et al. Degradação, recuperação e renovação de pastagens. Embrapa Gado de Corte. Documento 189. Brasília, DF: [s.n.]. 2012.

## 7. APÊNDICE METODOLÓGICO

O **Modelo de projeção e mitigação para diferentes ações de descarbonização da pecuária** considera a evolução temporal das principais variáveis da pecuária, como área de pastagem e tamanho do rebanho bovino (corte, leiteiro e confinados) em nível estadual para o Brasil. A evolução da área de pastagem no modelo depende do histórico recente da produtividade da pecuária que é captada pela taxa de crescimento  $g$ , portanto:

$$P_t = P_{t-1} \times e^g \quad (1)$$

onde  $P_t$  é a pastagem no tempo  $t$ ;  $P_{t-1}$  é a pastagem no tempo  $t-1$ ; e  $g$  é a taxa de crescimento da área de pastagem no Brasil. O rebanho total de bovinos é determinado de forma similar, onde:

$$R_{t,br} = R_{t-1,br} \times e^{gr} \quad (2)$$

onde  $R_{t,br}$  é o rebanho bovino total no Brasil em  $t$ ;  $R_{t-1,br}$  é o rebanho bovino total em  $t-1$ ; e  $gr$  é a taxa de crescimento do rebanho. Um ponto importante no modelo de projeção é a consideração da heterogeneidade espacial e dinâmica de crescimento regional do rebanho brasileiro em nível estadual. O modelo incorpora tal heterogeneidade ao considerar o histórico de produtividade da pecuária em nível estadual. Para isso, o modelo considera:

$$R_{t,uf} = \omega_{t,uf} \times R_{t,br} \quad (3)$$

Onde  $\omega_{t+1,uf} = \omega_{t,uf} \times e^{gr_{uf}}$ ;  $\omega_{t,uf} = \frac{R_{t,uf}}{\sum_{uf} R_{t,uf}}$ ; e  $\sum_{uf} \omega_{t,uf} = 1 \forall t$ . Onde  $\omega_{uf}$  é a participação de cada estado no rebanho total do Brasil; já  $gr_{uf}$  é a taxa de crescimento da parcela estadual do rebanho definida para cada estado  $uf$ .

### Emissões pela fermentação entérica

As emissões pela fermentação entérica foram baseadas na metodologia descrita no Volume 4, Capítulo 10, do IPCC *Guidelines* (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.4, C.10, Livestock). As equações utilizadas são:

Descrição	Modelo	Referência	Equação
Fermentação entérica por categoria animal	$Emissões = EF_T \times \left(\frac{N_T}{10^6}\right)$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.19 - IPCC <i>Guidelines</i>	(4)

**QUADRO 1.** Equação utilizada para determinar as emissões da fermentação entérica.

onde:

$Emissões$  = emissões de metano da fermentação entérica, Gg  $CH_4$ /ano

$EF_T$  = fator de emissão definido por categoria animal, Kg  $CH_4$ /cabeça/ano

$N_T$  = número de cabeças por categoria animal  $T$

Os valores dos parâmetros utilizados na equação (4) do Quadro A1 encontram-se na Tabela A2 ( $EF_T$ ).

## Emissões pelo manejo dos dejetos dos animais

### Emissões de $CH_4$

As emissões pelo manejo dos dejetos dos animais foram baseadas na metodologia descrita no Volume 4, Capítulo 10, do IPCC *Guidelines* (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.4, C.10, Livestock). As equações levam em consideração a população animal, percentual de utilização de cada tipo de tratamento e condições climáticas. As equações utilizadas são:

Descrição	Modelo	Referência	Equação
Emissão pelo manejo de dejetos dos animais, por categoria animal	$Emissões\ CH_4 = \sum_{uf,T} \frac{(EF_{uf,T} \times N_T)}{10^6}$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.22 - IPCC <i>Guidelines</i>	(5)
Fator de emissão	$EF_{uf,T} = (VS_{uf,T} \times 365) \times \left[ B_{0,T} \times 0,67 \times \sum_s \frac{MCF_s}{100} \times MS_{uf,s,T} \right]$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.23 - IPCC <i>Guidelines</i>	(6)

**QUADRO A2.** Equações utilizadas para determinar as emissões da fermentação entérica do manejo de dejetos.

onde:

### Equação (5)

$Emissões\ CH_4$  = emissões de  $CH_4$  do manejo de dejetos por categoria animal, Gg  $CH_4$ /ano

$EF_T$  = fator de emissão definido por categoria animal, Kg  $CH_4$ /cabeça/ano

$N_T$  = número de cabeças por categoria animal  $T$

### Equação (6)

$VS_{uf,T}$  = Sólido Volátil diário excretado para animais da categoria  $T$  (Kg/MS/animal/dia)

365 = Base para calcular produção anual de VS (dias/ano)

$B_{0,T}$  = Capacidade máxima de produção de metano para esterco produzido pela categoria animal,  $m^3/CH_4/kg$  de VS excretada

0,67 = Fator de conversão de  $m^3 CH_4$  para Kg de  $CH_4$

$MCF_s$  = Fatores de conversão de metano para cada sistema de manejo de esterco  $S$  por região climática  $K$  ( $uf$ ) (%)

$MS_{uf,S,T}$  = Fração de esterco da categoria de animais  $T$  manejados com sistema de manejo de dejetos  $S$  na região climática  $K$  ( $uf$ )

Os valores dos parâmetros utilizados nas equações (5) e (6) do Quadro A2 encontram-se nas Tabelas A7-8 e A10.

### Sólidos voláteis

Descrição	Modelo	Referência	Equação
Sólidos voláteis	$VS_{uf,T} = \left[ GE_{uf,T} \times \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE_{uf,T} \times GE_{uf,T}) \right] \times \left[ \frac{(1 - ASH_{uf,T})}{18,45} \right]$	Volume 4, Cap. 10 Equação 10.24 - IPCC Guidelines	(7)

**QUADRO A3.** Equação utilizada para estimativa de sólidos voláteis.

onde:

$VS_{uf,T}$  = excreção de sólido volátil por dia com base na matéria seca (MS), kg SV/dia

$GE_{uf,T}$  = consumo de energia bruta, MJ/dia

%DE = digestibilidade do alimento em porcentagem (%)

(UE x GE) = energia urinária expressa como fração de GE

$ASH_{uf,T}$  = teor de cinzas contido no dejetos, calculado como a fração do consumo de MS

18,45 = fator de conversão para GE dietético por kg MS (MJ/kg). Esse valor é uma constante de uma ampla gama de alimentos à base de forragem e grãos consumidos pelo gado

Os valores dos parâmetros utilizados na equação (7) do Quadro A3 encontram-se nas Tabelas A3-6.

### Emissões de $N_2O$

A metodologia de cálculo das emissões de óxido nitroso provenientes de manejo de dejetos animais é a mesma considerada para as emissões de metano. A quantificação das emissões diretas de  $N_2O$  pelo manejo de dejetos ( $N_2O_{D(MM)}$ ) foi feita pela multiplicação da excreção total de  $N$  ( $N_{ex,T}$ ) por cada espécie/categoria do rebanho ( $T$ ), do total de cabeças por categoria ( $N_T$ ), que acontece em cada tipo de sistema de manejo de dejetos ( $MS_{T,S}$ ) por um fator de emissão específico para o tipo de sistema de manejo utilizado ( $EF_{3,S}$ ), tal como mostrado a seguir:



Descrição	Modelo	Referência	Equação
Emissão direta de N <sub>2</sub> O pelo manejo de dejetos	$N_2O_{D(MM)} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T (N_T \times Nex_T \times MS_{T,S}) \right] \times EF_{3,S} \right] \times \frac{44}{28}$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.25 - IPCC Guidelines	(8)
Excreção de N por animais do rebanho	$Nex_T = Nrate_T \times \frac{TAM}{1000} \times 365$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.30 - IPCC Guidelines	(9)
Emissões indiretas de N <sub>2</sub> O pela deposição do N volatilizado do manejo de Dejetos	$N_2O_{G(MM)} = (N_{volatilization-MMS} \times EF_4) \times \frac{44}{28}$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.27 - IPCC Guidelines	(10)
Estimativa do N volatilizado com o manejo de dejetos	$N_{volatilization-MMS} = \sum_S \left[ \sum_T \left[ (N_T \times Nex_T \times MS_{T,S}) \times \left( \frac{FRAC_{GasMS}}{100} \right)_{T,S} \right] \right]$	Volume 4, Cap. 10, Equação 10.26 - IPCC Guidelines	(11)

**QUADRO A4.** Equações utilizadas para determinar as emissões de N<sub>2</sub>O pelo manejo de dejetos.

Os parâmetros utilizados nas equação (8) do Quadro A4 encontram-se nas Tabelas A10-11; equação (9) Tabelas A9 e A13; equação (10)  $EF_4 = 0.01$  (default IPCC); equação (11) Tabelas A10 e A12.

A excreção de N pelos animais ( $Nex_T$ ) foi estimada utilizando-se a Equação 9, que requer dados a taxa de excreção diária de N ( $Nrate_T$ ) e o peso vivo ( $TAM$ ) para cada categoria do rebanho que foi considerada modelo.

Durante o manejo dos dejetos, perdas de N por volatilização podem ocorrer, e o N volatilizado pode se depositar em outro local, gerando emissões de N<sub>2</sub>O, ou emissões indiretas. O cálculo das emissões indiretas ( $N_2O_{G(MM)}$ ) foi realizado pela Equação 10, seguindo o Tier 1. Foi necessário estimar a quantidade de N volatilizada ( $N_{volatilization-MMS}$ ), calculada pela Equação 11, sendo utilizados valores default para a fração do N do dejetos gerenciado que foi volatilizada ( $FRAC_{GasMS}$ ) para cada tipo de manejo de cada categoria do rebanho.

## Composição do rebanho nacional



Para a determinação das emissões de metano e óxido nitroso da fermentação entérica e manejo dos dejetos animais é necessário a classificação da população de bovinos. A população de bovinos pode ser dividida em bovinos de corte - pasto e confinados - e bovino leiteiro. A principal base de dados utilizada é da ANUALPEC, 2021 referente ao rebanho de bovinos de corte, bovinos confinados e bovinos leiteiros.

A Tabela A1, a seguir, apresenta o mapeamento feito entre as categorias de bovinos de corte da ANUALPEC ( $T_A$ ) com as categorias do IV Inventário Nacional ( $T$ ). Esse mapeamento é importante para manter a consistência dos resultados desse estudo com as demais publicações na área, como por exemplo, o IV inventário nacional. Portanto, utiliza-se as categorias  $T$  compostas pelos seguintes animais para o rebanho de corte: touros, menores de 1 ano de idade, entre 1-2 anos, fêmeas maiores de 2 anos, machos maiores de 2 anos. Feito esse mapeamento, foi determinado as parcelas de cada categoria animal no rebanho estadual de bovinos da ANUALPEC em 2020. Essas parcelas foram aplicadas na série temporal do total de rebanho bovino da ANUALPEC, conseqüentemente, essas parcelas são fixadas ao longo do tempo representando uma limitação da composição do rebanho pela falta de informações mais detalhadas. Assim, tem-se o rebanho bovino de corte definido por estado, tempo, e categoria animal  $(uf, t, T)$ .

O próximo passo foi a determinação do rebanho bovino em confinamento. Esse dado é obtido diretamente na base de dados da ANUALPEC por estado  $(uf)$  e tempo  $(t)$ . Contudo, a ANUALPEC não traz informações para todos os estados do Brasil, portanto, o item "Outros" (estados) foi desagregado conforme a Tabela 8, pág. 75, do IV inventário nacional (Relatório de referência, Setor Agropecuário, Subsetor Fermentação Entérica). Assim, tem-se o rebanho bovino confinado definido por estado, tempo e categoria animal  $(uf, t, T)$  onde  $T = \{conf\}$ .

Já para o rebanho bovino leiteiro foi combinado informações da Pesquisa Pecuária Municipal do IBGE, com os dados da ANUALPEC. Na primeira etapa, foi identificado em nível municipal o total de vacas leiteiras (cabeças) e produção de leite (mil litros). Seguindo a metodologia do IV inventário nacional, foi estabelecido o *threshold* de 2.000 litros/cabeça/ano para determinar a classificação entre alta produção ou baixa produção leiteira. Portanto, produtividade maior ou igual ao *threshold* é classificado como alta produção. Ao final dessa etapa, tem-se com os dados da PPM-IBGE o rebanho bovino leiteiro definido por estado, tempo e categoria animal ( $uf, t, T$ ) onde  $T = \{alta, baixa\}$ . Na próxima etapa, foi determinado as parcelas estaduais por categoria na base de dados da PPM-IBGE. Essas parcelas foram utilizadas para a desagregação dos dados de rebanho bovino leiteiro da ANUALPEC. Assim, tem-se o rebanho bovino leiteiro definido por estado, tempo e categoria animal ( $uf, t, T$ ) onde  $T = \{alta, baixa\}$ .

A Tabela A14 apresenta a composição do rebanho bovino total por categoria animal de 2018 até 2050. As demais informações de composição do rebanho, como categoria animal por estado e ano não são apresentadas devido ao volume de dados e informações, contudo podem ser acessados por solicitação aos autores.

**TABELA A1.** Critério de mapeamento das categorias de animais do rebanho entre de corte entre Anualpec e o IV Inventário Nacional.

<b>Categoria ANUALPEC (<math>T_A</math>)</b>	<b>Categoria IV Inventário</b>	<b>Modelo (T)</b>
Touros	Touro	<i>touro</i>
Vacas	Fêmeas maiores 2 anos	<i>f_2a</i>
Nov 2 a 3	Fêmeas maiores 2 anos	<i>f_2a</i>
Nov 1 a 2	1 a 2 anos	<i>1_2a</i>
BEZas	Menores do que 1 ano	<i>1a</i>
BEZos	Menores do que 1 ano	<i>1a</i>
GAR 1 a 2	Menores do que 1 ano	<i>1a</i>
GAR 2 a 3	Machos maiores 2 anos	<i>m_2a</i>
Bois 3 a 4	Machos maiores 2 anos	<i>m_2a</i>
Bois +4	Machos maiores 2 anos	<i>m_2a</i>

**TABELA A2.** Fatores de emissão ( $EF_7$ ) da fermentação entérica dos bovinos por categoria animal ( $T$ ) e região geográfica.

Estados	touro	m_2a	f_2a	1a	1_2a	conf	alta	baixa
RO	71	67	75	34	52	63	60	89
AC	71	67	75	34	52	63	60	81
AM	71	67	75	34	52	63	86	79
RR	71	67	75	34	52	63	60	77
PA	71	67	75	34	52	63	83	82
AP	71	67	75	34	52	63	60	84
TO	71	67	75	34	52	63	60	82
MA	71	63	73	34	52	60	60	81
PI	71	63	73	34	52	60	86	79
CE	71	63	73	34	52	60	82	84
RN	71	63	73	34	52	60	60	84
PB	71	63	73	34	52	60	60	83
PE	71	63	73	34	52	60	86	86
AL	71	63	73	34	52	60	86	89
SE	71	63	73	34	52	60	86	84
BA	71	63	73	34	52	60	82	85
MG	71	67	78	34	52	64	87	90
ES	71	67	78	34	52	64	86	89
RJ	71	67	78	34	52	64	86	87
SP	71	67	78	34	52	64	88	88
PR	71	64	79	34	52	63	96	91
SC	71	64	79	34	52	63	90	92
RS	71	64	79	34	52	63	95	91
MS	71	72	79	34	52	67	60	89
MT	71	72	79	34	52	67	86	88
GO	71	72	79	34	52	67	81	89
DF	71	72	79	34	52	67	60	93

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência - Setor Agropecuária, Subsetor Fermentação entérica, Apêndice A, Tabelas 25-32.

**TABELA A3.** Ingestão de energia bruta (GE) por categoria animal (T) em MJ/Kg.

Estados	touro	m_2a	f_2a	1a	1_2a	conf	alta	baixa
RO	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
AC	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
AM	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
RR	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
PA	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
AP	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
TO	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
MA	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
PI	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
CE	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
RN	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
PB	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
PE	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
AL	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
SE	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
BA	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
MG	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
ES	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
RJ	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
SP	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
PR	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
SC	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
RS	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
MS	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
MT	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
GO	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5
DF	166.55	158	187.1	79.1	122.8	149.3	229.3	217.5

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 25, pág. 52 (Corte); Tabela 26, pág. 54 (Leite – alta/baixa).

**TABELA A4.** Taxa de digestibilidade (DE) por categoria animal (T) em valor absoluto (%/100).

<b>Estados</b>	<b>touro</b>	<b>m_2a</b>	<b>f_2a</b>	<b>1a</b>	<b>1_2a</b>	<b>conf</b>	<b>alta</b>	<b>baixa</b>
RO	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
AC	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
AM	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
RR	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
PA	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
AP	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
TO	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
MA	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
PI	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
CE	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
RN	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
PB	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
PE	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
AL	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
SE	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
BA	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
MG	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
ES	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
RJ	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
SP	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
PR	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
SC	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
RS	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
MS	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
MT	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
GO	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598
DF	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.684	0.598

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 25, pág. 52 (Corte); Tabela 26, pág. 54 (Leite – alta/baixa).

**TABELA A5.** Energia bruta (*UE x GE*) expressa como fração de *GE* por categoria animal (*T*) em MJ/dia.

<b>Estados</b>	<b>touro</b>	<b>m_2a</b>	<b>f_2a</b>	<b>1a</b>	<b>1_2a</b>	<b>conf</b>	<b>alta</b>	<b>baixa</b>
RO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
AC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
AM	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
RR	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
PA	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
AP	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
TO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
MA	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
PI	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
CE	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
RN	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
PB	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
PE	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
AL	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
SE	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
BA	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
MG	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
ES	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
RJ	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
SP	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
PR	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
SC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
RS	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
MS	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
MT	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
GO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
DF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 25, pág. 52 (Corte); Tabela 26, pág. 54 (Leite – alta/baixa).

**TABELA A6.** Teor de cinzas contidas nos dejetos (*ASH*) por categoria animal (*T*) em %.

<b>Estados</b>	<b>touro</b>	<b>m_2a</b>	<b>f_2a</b>	<b>1a</b>	<b>1_2a</b>	<b>conf</b>	<b>alta</b>	<b>baixa</b>
RO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
AC	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
AM	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
RR	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
PA	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
AP	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
TO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MA	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
PI	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CE	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
RN	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
PB	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
PE	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
AL	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
SE	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
BA	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MG	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
ES	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
RJ	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
SP	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
PR	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
SC	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
RS	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MS	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MT	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
GO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
DF	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 25, pág. 52 (Corte); Tabela 26, pág. 54 (Leite – alta/baixa).



**TABELA A7.** Capacidade máxima de produção de metano ( $B_0$ ) por categoria animal ( $T$ ) em Kg  $CH_4$ /VS.

Estados	touro	m_2a	f_2a	1a	1_2a	conf	alta	baixa
RO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
AC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
AM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
RR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
PA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
AP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
TO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
MA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
PI	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
CE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
RN	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
PB	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
PE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
AL	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
SE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
BA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
MG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
ES	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
RJ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
SP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
PR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
RS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
MS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
MT	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
GO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13
DF	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.13	0.13

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 25, pág. 52 (Corte); Tabela 26, pág. 54 (Leite – alta/baixa).

**TABELA A8.** Fator de conversão do metano (MCF) de acordo com cada sistema de manejo de tratamento de dejetos e variação climática por UF (%).

Estados	anlagoo	liq1	liq2	sstor	drylot	pasture	pstor1	pstor2	spread	andig	burned	csble	csble2	vessel	pile	iwin	pwin	atrat	oth
RO	0.79	0.44	0.71	0.05	0.02	0.02	0.3	0.71	0.01	0.1	0.1	0.3	0.71	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
AC	0.79	0.44	0.71	0.05	0.02	0.02	0.3	0.71	0.01	0.1	0.1	0.3	0.71	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
AM	0.8	0.5	0.8	0.05	0.02	0.02	0.3	0.8	0.01	0.1	0.1	0.3	0.8	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
RR	0.8	0.5	0.8	0.05	0.02	0.02	0.3	0.8	0.01	0.1	0.1	0.3	0.8	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
PA	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
AP	0.8	0.5	0.8	0.05	0.02	0.02	0.3	0.8	0.01	0.1	0.1	0.3	0.8	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
TO	0.8	0.5	0.8	0.05	0.02	0.02	0.3	0.8	0.01	0.1	0.1	0.3	0.8	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
MA	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
PI	0.8	0.5	0.8	0.05	0.02	0.02	0.3	0.8	0.01	0.1	0.1	0.3	0.8	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
CE	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
RN	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
PB	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
PE	0.79	0.44	0.71	0.05	0.02	0.02	0.3	0.71	0.01	0.1	0.1	0.3	0.71	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
AL	0.79	0.44	0.71	0.05	0.02	0.02	0.3	0.71	0.01	0.1	0.1	0.3	0.71	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
SE	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
BA	0.79	0.44	0.71	0.05	0.02	0.02	0.3	0.71	0.01	0.1	0.1	0.3	0.71	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
MG	0.78	0.31	0.5	0.04	0.015	0.015	0.03	0.5	0.005	0.1	0.1	0.03	0.5	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
ES	0.79	0.41	0.65	0.04	0.015	0.015	0.03	0.65	0.005	0.1	0.1	0.03	0.65	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
RJ	0.79	0.41	0.65	0.04	0.015	0.015	0.03	0.65	0.005	0.1	0.1	0.03	0.65	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
SP	0.78	0.29	0.46	0.04	0.015	0.015	0.03	0.46	0.005	0.1	0.1	0.03	0.46	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
PR	0.77	0.22	0.35	0.04	0.015	0.015	0.03	0.35	0.005	0.1	0.1	0.03	0.35	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
SC	0.78	0.29	0.46	0.04	0.015	0.015	0.03	0.46	0.005	0.1	0.1	0.03	0.46	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
RS	0.78	0.26	0.42	0.04	0.015	0.015	0.03	0.42	0.005	0.1	0.1	0.03	0.42	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
MS	0.78	0.31	0.5	0.04	0.015	0.015	0.03	0.5	0.005	0.1	0.1	0.03	0.5	0.005	0.005	0.01	0.01	0	0.01
MT	0.8	0.48	0.78	0.05	0.02	0.02	0.3	0.78	0.01	0.1	0.1	0.3	0.78	0.005	0.005	0.015	0.015	0	0.01
GO	0.79	0.41	0.65	0.04	0.015	0.015	0.03	0.65	0.005	0.1	0.1	0.03	0.65	0.005	0.005	0.01	0.02	0	0.01
DF	0.78	0.31	0.5	0.04	0.015	0.015	0.03	0.5	0.005	0.1	0.1	0.03	0.5	0.005	0.005	0.01	0.02	0	0.01

**NOTA:** anlagoo - “lagoa anaerobica”; liq1 - “Liquid/Slurry/with natural crust cover”; liq2 - “Liquid/Slurry/without natural crust cover”; sstor - “Solid storage”; drylot - “drylot”; pasture - “pasture”; pstor1 - “Pit storage < 30 month”; pstor2 - “Pit storage > 30 month”; spread - “Daily spread”; andig - “anaerobic digester”; burned - “burned”; csble - “Cattle and Swine deep bedding < 1 month”; csble2 - “Cattle and Swine deep bedding > 1 month”; vessel - “Composting In-vessel”; pile - “Composting static pile”; iwin - “Composting Intensive window”; pwin - “Composting Passive window”; atrat - “aerobic tratament”; oth: “other”. Fonte: Fonte: IV inventário nacional, Relatório de referência - Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 27, pág. 56.

**TABELA A9.** Massa corporal típica de um animal de dada categoria (TAM) Kg/cabeça animal.

<b>Estados</b>	<b>touro</b>	<b>m_2a</b>	<b>f_2a</b>	<b>1a</b>	<b>1_2a</b>	<b>conf</b>	<b>alta</b>	<b>baixa</b>
RO	550	389	308	163	293	356	531	531
AC	550	389	308	163	293	356	531	531
AM	550	389	308	163	293	356	531	531
RR	550	389	308	163	293	356	531	531
PA	550	389	308	163	293	356	531	531
AP	550	389	308	163	293	356	531	531
TO	550	389	308	163	293	356	531	531
MA	550	362	288	163	293	331	531	531
PI	550	362	288	163	293	331	531	531
CE	550	362	288	163	293	331	531	531
RN	550	362	288	163	293	331	531	531
PB	550	362	288	163	293	331	531	531
PE	550	362	288	163	293	331	531	531
AL	550	362	288	163	293	331	531	531
SE	550	362	288	163	293	331	531	531
BA	550	362	288	163	293	331	531	531
MG	550	389	314	163	293	359	531	531
ES	550	389	314	163	293	359	531	531
RJ	550	389	314	163	293	359	531	531
SP	550	389	314	163	293	359	531	531
PR	550	372	329	163	293	358	531	531
SC	550	372	329	163	293	358	531	531
RS	550	372	329	163	293	358	531	531
MS	550	406	314	163	293	367	531	531
MT	550	406	314	163	293	367	531	531
GO	550	406	314	163	293	367	531	531
DF	550	406	314	163	293	367	531	531

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência - Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 30, pág. 61-62.

**TABELA A10.** Fração (MS) de cada tipo de sistema de manejo por categoria animal (T) e região climática (uf) (%/100).

Estados	sistema de manejo	touro	m_2a	f_2a	1a	1_2a	conf	alta	baixa
RO	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9778
AC	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9645
AM	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9401	0.9401
RR	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.7316
PA	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9847	0.9847
AP	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9552
TO	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9745
MA	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9699
PI	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9767	0.9767
CE	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9561	0.9561
RN	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9553	0.9553
PB	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0	0.9513
PE	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9562	0.9562
AL	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.928	0.928
SE	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9626	0.9626
BA	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.959	0.959
MG	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.8638	0.8638
ES	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9256	0.9256
RJ	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.814	0.814
SP	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.8823	0.8823
PR	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.8288	0.8288
SC	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.613	0.613
RS	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.7171	0.7171
MS	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.955	0.9515
MT	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.955	0.955
GO	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.9307	0.9307
DF	pasture	1	1	1	1	1	0.92	0.6409	0.6409
RO	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0217
AC	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0355
AM	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0596
RR	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.2684
PA	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.015
AP	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0448
TO	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0253
MA	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0295
PI	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.023
CE	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.043

RN	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.043
PB	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0481
PE	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0437
AL	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0719
SE	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0353
BA	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0405
MG	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.1349
ES	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0736
RJ	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.1855
SP	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.1169
PR	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.1684
SC	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.3849
RS	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.2816
MS	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0474
MT	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0448
GO	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.0681
DF	sstor	0	0	0	0	0	0.92	0	0.3588
RO	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
AC	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
AM	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
RR	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
PA	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
AP	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
TO	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
MA	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
PI	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
CE	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
RN	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
PB	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
PE	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
AL	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
SE	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
BA	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
MG	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
ES	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
RJ	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
SP	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
PR	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
SC	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
RS	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
MS	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
MT	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0

GO	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
DF	drylot	0	0	0	0	0	0.07	0	0
RO	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0.0005
AC	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0
AM	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0003	0.0003
RR	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0
PA	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0003	0.0003
AP	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0
TO	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0.0002
MA	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0.0006
PI	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0003	0.0003
CE	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0009	0.0009
RN	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0017	0.0017
PB	andig	0	0	0	0	0	0.01	0	0.0006
PE	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0001	0.0001
AL	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0001	0.0001
SE	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0021	0.0021
BA	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0005	0.0005
MG	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0013	0.0013
ES	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0008	0.0008
RJ	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0005	0.0005
SP	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0008	0.0008
PR	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0028	0.0028
SC	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0021	0.0021
RS	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0013	0.0013
MS	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0002	0.0011
MT	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0002	0.0002
GO	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0012	0.0012
DF	andig	0	0	0	0	0	0.01	0.0003	0
RO	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
AC	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
AM	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0596	0
RR	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
PA	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.015	0
AP	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
TO	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
MA	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0
PI	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.023	0
CE	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.043	0
RN	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.043	0
PB	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0	0

PE	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0437	0
AL	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0719	0
SE	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0353	0
BA	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0405	0
MG	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.1349	0
ES	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0736	0
RJ	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.1855	0
SP	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.1169	0
PR	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.1684	0
SC	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.3849	0
RS	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.2816	0
MS	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0448	0
MT	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0448	0
GO	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.0681	0
DF	anlagoo	0	0	0	0	0	0	0.3588	0

**NOTA:** anlagoo - “lagoa anaerobica”; liq1 - “Liquid/Slurry/with natural crust cover”; liq2 - “Liquid/Slurry/without natural crust cover”; sstor - “Solid storage”; drylot - “drylot”; pasture - “pasture”; pstor1 - “Pit storage < 30 month”; pstor2 - “Pit storage > 30 month”; spread - “Daily spread”; andig - “anaerobic digester”; burned - “burned”; csble - “Cattle and Swine deep bedding < 1 month”; csble2 - “Cattle and Swine deep bedding > 1 month”; vessel - “Composting In-vessel”; pile - “Composting static pile”; iwin - “Composting Intensive window”; pwin - “Composting Passive window”; atrat - “aerobic tratament”; oth: “other”. Fonte: Fonte: IV inventário nacional, Relatório de referência - Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabelas 21-22, págs. 46-47 (leite); pág. 45 (bovinos confinados).

**TABELA A11.** Fator de emissão (EF<sub>3</sub>) direta de N<sub>2</sub>O para estimativa das emissões de sistemas de manejo de dejetos.

Sistema de manejo	EF <sub>3</sub>
sstor	0.005
drylot	0.020
liq1	0.005
pstor1	0.002
pwin	0.010
poultry1	0.001
poultry2	0.001
andig	0.000

**NOTA:** anlagoo - “lagoa anaerobica”; liq1 - “Liquid/Slurry/with natural crust cover”; liq2 - “Liquid/Slurry/without natural crust cover”; sstor - “Solid storage”; drylot - “drylot”; pasture - “pasture”; pstor1 - “Pit storage < 30 month”; pstor2 - “Pit storage > 30 month”; spread - “Daily spread”; andig - “anaerobic digester”; burned - “burned”; csble - “Cattle and Swine deep bedding < 1 month”; csble2 - “Cattle and Swine deep bedding > 1 month”; vessel - “Composting In-vessel”; pile - “Composting static pile”; iwin - “Composting Intensive window”; pwin - “Composting Passive window”; atrat - “aerobic tratament”; oth: “other”. Fonte: Fonte: IV inventário nacional, Relatório de referência - Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 33, pág. 68.

**TABELA A12.** Fator de perda de N por volatilização de amônia para cada manejo dos dejetos ( $Frac_{GasMS}$ ), aplicado sobre as quantidades de N manejadas de cada categoria de animais do rebanho nacional.

<b>Categoria animal (T)</b>	<b>drylot</b>	<b>drylot</b>	<b>drylot</b>
touro	0.30	0.45	
m_2a	0.30	0.45	
f_2a	0.30	0.45	
1a	0.30	0.45	
1_2a	0.30	0.45	
conf	0.30	0.45	
alta		0.30	0.35
baixa		0.30	0.35

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 32, pág. 68.

**TABELA A13.** Taxa de excreção diária de N ( $NrateT$ ) por categoria animal e região climática ( $uF$ ) em Kg N/(1000 kg massa animal)/dia.

<b>Estados</b>	<b>touro</b>	<b>m_2a</b>	<b>f_2a</b>	<b>1a</b>	<b>1_2a</b>	<b>conf</b>	<b>alta</b>	<b>baixa</b>
RO	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
AC	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
AM	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
RR	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
PA	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
AP	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
TO	0.509	0.72	0.909	1.718	0.956	0.787	0.847	0.847
MA	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
PI	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
CE	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
RN	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
PB	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
PE	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
AL	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
SE	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
BA	0.509	0.773	0.972	1.718	0.956	0.846	0.847	0.847
MG	0.509	0.72	0.892	1.718	0.956	0.78	0.847	0.847
ES	0.509	0.72	0.892	1.718	0.956	0.78	0.847	0.847
RJ	0.509	0.72	0.892	1.718	0.956	0.78	0.847	0.847
SP	0.509	0.72	0.892	1.718	0.956	0.78	0.847	0.847
PR	0.509	0.753	0.851	1.718	0.956	0.782	0.847	0.847
SC	0.509	0.753	0.851	1.718	0.956	0.782	0.847	0.847
RS	0.509	0.753	0.851	1.718	0.956	0.782	0.847	0.847
MS	0.509	0.69	0.892	1.718	0.956	0.763	0.847	0.847
MT	0.509	0.69	0.892	1.718	0.956	0.763	0.847	0.847
GO	0.509	0.69	0.892	1.718	0.956	0.763	0.847	0.847
DF	0.509	0.69	0.892	1.718	0.956	0.763	0.847	0.847

**Fonte:** IV inventário nacional, Relatório de referência – Setor Agropecuária, Subsetor Manejo de dejetos, Tabela 30, pág. 61.



**TABELA A14.** Rebanho bovino total ( $N_T$ ) por categoria animal ( $T$ ) (mil cabeças).

Anos	1a	1_2a	touro	conf	f_2a	m_2a	alta	baixa	total
2018	68583	23263	1743	4907	69272	14206	11781	19151	212908
2019	67306	22833	1708	4775	68050	13931	11378	18797	208779
2020	64936	22051	1642	4614	65678	13403	11086	18007	201417
2021	65424	22251	1653	4671	66232	13510	11187	18012	202940
2022	65866	22338	1649	4718	66445	13520	11071	18005	203611
2023	66193	22454	1648	4758	66764	13537	11008	17923	204284
2024	66523	22571	1646	4800	67085	13553	10944	17837	204960
2025	66857	22690	1644	4843	67409	13568	10877	17749	205637
2026	67193	22811	1641	4886	67737	13582	10808	17659	206317
2027	67533	22933	1639	4930	68067	13596	10736	17565	206999
2028	67875	23056	1636	4975	68400	13608	10660	17473	207683
2029	68218	23180	1634	5021	68736	13621	10578	17382	208370
2030	68564	23306	1631	5067	69077	13633	10492	17288	209059
2031	68915	23432	1628	5114	69416	13646	10410	17189	209750
2032	69270	23558	1625	5161	69756	13658	10330	17085	210444
2033	69624	23686	1622	5208	70106	13674	10238	16980	211139
2034	69977	23815	1620	5255	70459	13690	10146	16875	211837
2035	70330	23944	1618	5303	70814	13705	10056	16769	212538
2036	70695	24075	1615	5350	71169	13723	9957	16656	213241
2037	71066	24208	1613	5398	71528	13740	9853	16540	213946
2038	71440	24342	1610	5447	71891	13758	9745	16420	214653
2039	71819	24479	1608	5497	72258	13774	9633	16295	215363
2040	72185	24615	1606	5545	72625	13795	9509	16194	216074
2041	72547	24753	1604	5593	72994	13817	9373	16107	216789
2042	72913	24893	1602	5642	73368	13839	9232	16017	217506
2043	73282	25036	1601	5691	73746	13861	9085	15923	218225
2044	73661	25178	1598	5741	74116	13884	8942	15827	218946
2045	74050	25320	1595	5790	74477	13908	8800	15729	219670
2046	74437	25461	1591	5839	74825	13931	8695	15616	220397
2047	74824	25603	1587	5885	75171	13959	8601	15495	221125
2048	75215	25748	1582	5930	75525	13993	8494	15369	221856
2049	75611	25895	1577	5975	75882	14027	8383	15239	222590
2050	76011	26046	1571	6022	76244	14061	8265	15105	223325



ESCOLA DE  
ECONOMIA DE  
SÃO PAULO

Rua Itapeva, 474 - Bela Vista  
CEP 01332-000 - São Paulo - SP - Brasil  
Telefone: (11) 3799-3645  
gvagro@fgv.br

<https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>