



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



**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 (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**

NOTA TÉCNICA:

**Diagnóstico da expansão da adoção da
tecnologia de Tratamento de Dejetos
Animais (TDA) no território brasileiro
entre 2010 e 2019**

Acordo de doação do IBRD/TF 17368-BR (Projeto ABC Cerrado)

Brasília – Dezembro, 2019.

Coordenadores

Sidney Almeida Filgueira de Medeiros

Fernanda Garcia Sampaio

Eleneide Doff Sotta

Consultores responsáveis

Leidiane Ferronato Mariani

Gladis Backes Bühring

Sumário

1. APRESENTAÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA.....	4
2.1. Levantamento de dados	4
2.2. Estimativas	6
2.2.1. Estimativas a partir da quantidade de animais	6
2.2.2. Estimativas a partir de capacidade elétrica instalada	14
2.2.3. Resumo dos parâmetros.....	16
2.3. Premissas e incertezas	19
3. RESULTADOS	23
3.1. Dados consolidados – Biodigestão	23
3.1.1. Biodigestores para uso energético do biogás em operação em 2019	23
3.1.2. Biodigestores com início da operação para uso energético do biogás entre 2010 e 2019.....	33
3.2. Dados consolidados – Compostagem	36
3.3. Dados consolidados para biodigestão e compostagem	37
3.4. Fontes de financiamento	37
3.5. O sistema TDA-Map	39
4. CONCLUSÕES.....	43
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. APRESENTAÇÃO

A adoção das tecnologias do Plano ABC, como a biodigestão e a compostagem diminui as emissões de GEE (gases de efeito estufa) provenientes do setor agropecuário. Para mensuração destas emissões foram utilizadas categorias de animais considerados pelas metodologias do Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC, sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*) de 2006 com maior expressividade no país, no sentido de geração de dejetos líquidos em grandes volumes e concentração, e com maior risco de impacto ambiental no solo e na água, em função da maior dificuldade de destinação adequada, sendo: animais ruminantes gado de leite e gado de corte, e animais não ruminantes suínos.

Esforços foram empenhados para que os resultados reflitam a realidade do país. Foram levantadas informações referentes à evolução do número e capacidade, em m³ de dejetos tratados por dia e ano, e a redução dos GEE em tCO₂eq (toneladas de dióxido de carbono equivalente). Para tanto foram consultadas diversas fontes de dados, considerando a data base o ano de 2010 com avanços anuais até o momento atual.

Portanto, o objetivo deste relatório é realizar um levantamento de dados sobre tecnologias para tratamento de dejetos de animais, especificamente biogás e compostagem existentes no Brasil. Isto inclui a quantificação e qualificação da adoção de tecnologias para tratamento de dejetos de animais no país desde 2010 e seu impacto na redução de emissões de gases de efeito estufa, em resposta aos compromissos de redução de emissão de GEE no setor agropecuário.

A digestão anaeróbia, ou biodigestão, é um processo microbiológico, onde a matéria orgânica é degradada na ausência de oxigênio, e representa uma possibilidade potencial de diminuir a carga orgânica dos dejetos, resultando no biogás. Tem sido avaliada como uma das tecnologias mais eficientes em termos energéticos e ambientalmente benéfica para a produção de bioenergia de acordo com Fehrenbach et al. (2008), e com possibilidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em relação aos combustíveis fósseis pela utilização dos recursos disponíveis localmente. A

redução de GEE ocorre pela recuperação e destruição de metano por queima/combustão direta em queimadores/flares ou no uso energético.

A compostagem é o tratamento de dejetos que consiste, basicamente na mistura de dejetos in natura em leitos formados por maravalha, serragem ou palha. A mistura permanece na unidade de compostagem por um período compreendido entre 2 a 3 meses, até sua maturação total (relação C/N < 20) (Oliveira, 2003).



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



METODOLOGIA

2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse contrato foi adaptada da desenvolvida pela consultora Leidiane Mariani em seu doutorado¹ em parceria com a equipe do Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás (CIBiogás) entre 2015 e 2017 para aplicação no levantamento de dados de plantas de biogás existentes no Brasil. Entre 2018 e o início de 2019, esses dados foram atualizados pelo CIBiogás e a metodologia melhorada e adaptada para obtenção de melhores resultados. Esses resultados podem ser acessados em “Nota Técnica 002/2019 - Panorama do biogás no Brasil em 2018” do CIBiogás².

Algumas das adaptações realizadas na metodologia de cálculo foram nos parâmetros utilizados nas estimativas. Para a suinocultura, em função das diferentes categorias de animais, os dados para produção de dejetos foram obtidos de documentos publicados pela Rede BiogásFert³, instrução normativa sobre suinocultura do IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina) e CIBiogás (nota técnica nº 001/2018).

2.1. Levantamento de dados

Um dos pontos de partida do levantamento foram os dados disponíveis nos projetos “Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono” e “Pecuária de Baixa Emissão de Carbono”, realizados pelo MAPA em cooperação com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), como publicações, relatórios internos de propriedades rurais visitadas ao longo da execução etc.

Além disso, devido à parceria com o CIBiogás, outra fonte de dados utilizados foi a base do CIBiogás de 2015 e 2018 de plantas de biogás para fins energéticos. Para tanto, foram selecionados os dados referentes a suinocultura e bovinocultura para atualização e detalhamento.

A partir disso, foram coletados dados por meio de:

¹ Tese disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/333144>

² <https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/#!/publicacoes/detalhe/75>

³ A Rede BiogásFert é resultado do projeto "Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC" desenvolvido pela Embrapa e diversos parceiros desde 2016.

- Pesquisa preliminar em ferramentas de busca na internet, sites de notícias, redes sociais e profissionais e plataformas de vídeos online.
- Coleta de dados no Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): apresenta dados de geradores de energia elétrica a partir de biogás, incluindo código, nome, capacidade outorgada e instalada e tipo de combustível dividido entre Resíduos da Agropecuária (RA), Resíduos Urbanos (RU) e Resíduos Industriais (RI).
- Coleta de dados no banco de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) Brasileiros da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB): lista todos os projetos que foram registrados no Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) entre 2005 e 2007 no âmbito do MDL e que envolviam a queima de biogás para redução de emissão GEE.
- Coleta de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes à pecuária e características regionais das atividades.
- Cooperação com o CIBiogás, Projeto GEF Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira/UNIDO, Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS), Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás), sindicatos, cooperativas, associações e outras instituições relacionadas ao setor de suinocultura, bovinocultura, biodigestores e compostagem.
- Consulta a fornecedores de equipamentos e consultores do setor de biogás e de compostagem. Importante destacar o apoio especial das seguintes empresas e instituições no fornecimento de dados: CHP Brasil; ER.BR Soluções em Energia e Biometano; Auma Energia; Leão Energia; Consultor Fabiano Coser; Consultor Cleandro Pazinato Dias; LLEletricidade; Catena Planejamento Territorial; Enermac Soluções em Energia; Freewil Implementos Rodoviários e Agrícolas; Renomaq, FEPAM-RS, dentre outras.
- Coleta e confirmação de dados de localização geográfica no Google Maps e Google Earth.

Todos os dados coletados foram organizados em uma planilha do Excel/Microsoft para serem comparados e agrupados da seguinte forma:

- Nome da unidade e/ou Nome do proprietário ou responsável;

- Localização: Latitude/Longitude e Município/Estado;
- Categoria: Atividade produtiva e Tipo de dejetos/substrato;
- Tipo de tecnologia de tratamento dos dejetos
- Situação da planta de tratamento e Data de início da operação;
- Volume de dejetos tratados
- Volume de biogás produzido e processado
- Origem dos recursos para investimento

2.2. Estimativas

A partir dos dados coletados foi possível estimar a produção de dejetos, de mitigação de emissões de GEE e de produção de biogás, no caso da biodigestão de cada propriedade com suínos e bovinos e depois consolidar os dados por estado e país.

Foram utilizadas duas rotas de cálculo, conforme disponibilidade de dados: partindo da quantidade de animais ou da capacidade elétrica instalada para geração de energia elétrica a partir de biogás (para o caso da biodigestão).

2.2.1. Estimativas a partir da quantidade de animais

2.2.1.1. Volume de dejetos tratado

O cálculo do volume anual de dejetos animal tratado por tecnologias de biodigestão ou compostagem leva em conta a quantidade de animais, a produção específica de dejetos e o tempo de confinamento diário e anual, conforme Equação 1.

$$Q_{dejetos\ ano} = \sum N \times TC_{dia} \times PE \times TC_{ano} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Q_{dejetos ano}	Quantidade de dejetos tratada (m ³ ano ⁻¹)
N	Quantidade de animais da categoria (cabeças)
TC_{dia}	Quantidade de horas por dia que os animais estão confinamento (h dia ⁻¹)
PE	Produção específica de dejetos por categoria (m ³ cab ⁻¹ h ⁻¹)
TC_{ano}	Quantidade de dias por ano em que há animais em confinamento (dias ano ⁻¹)

Os parâmetros aplicados a essa equação para cada categoria de animal são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de produção de dejetos de bovinos e suínos.

Categoria de animal ou Sistema de Produção	PE Produção específica de dejetos (m ³ animal ⁻¹ dia ⁻¹)	TC_{diário} Tempo de Confinamento diário (h dia ⁻¹)	TC_{anual} Tempo de Confinamento anual (dia ano ⁻¹)
Bovinos			
Bovino de leite ¹	0,0937	12	365
Bovino de corte ¹	0,0439	24	365
Suínos			
Leitão em Creche ²	0,0014	24	365
Terminação ³	0,0045	24	300
Matriz (fêmea) ²	0,0160	24	365
Matriz (macho) ²	0,0090	24	365
Unidade Produção de Leitões (UPL) ^{* 2}	0,0270	24	365
Unidade Produção Desmamados (UPD) ^{** 4}	0,016	24	365
Ciclo completo ^{*** 4}	0,0471	24	365

*Sistema de produção com matriz e leitões em maternidade e em creche. A PE é da matriz, mas inclui todo o rebanho.

** Sistema de produção com matriz e leitões em maternidade. A PE é da matriz, mas inclui todo o rebanho.

***Sistema de produção com matriz, leitões em maternidade e em creche e suínos em terminação. A PE é da matriz, mas inclui todo o rebanho.

Fonte: ¹ BiogásFert, 2018;

² Oliveira, 1993 apud BiogásFert, 2018;

³ IMA, 2014 e Tavares, 2016 apud BiogásFert, 2018;

⁴ IMA, 2014.

2.2.1.2. Redução de emissões por meio do tratamento de dejetos

Nas estimativas de redução de emissões de carbono por meio do tratamento de dejetos de animais por biodigestão ou compostagem, aplicaram-se as metodologias do IPCC Para alguns parâmetros das equações foram utilizados valores citados por pesquisadores brasileiros, por serem mais próximos ao nível tecnológico médio observado no país, o que é referenciado ao longo da metodologia.

A metodologia utilizada para estimativa de emissões da linha de base e da tecnologia de biodigestão é a AMS.III.D Versão 21 e com parâmetros do IPCC: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Capítulo 10: *Emissions from Livestock and Manure Management*. Os dados do IPCC para desenvolver os fatores de emissão para os dejetos são do Tier 2 (IPCC, 2006).

A linha de base considera o uso da tecnologia de lagoa aberta ou esterqueira para tratamento dos dejetos, que é comumente aplicada no Brasil. No caso da biodigestão, a premissa é que o biogás produzido pelo processo anaeróbio do biodigestor é composto por cerca de 60% de metano (CH₄), um gás com potencial causador de efeito estufa de 21⁴ vezes mais que o dióxido de carbono (CO₂). Assim, por meio da captura e queima do biogás, as emissões em relação a linha de base são evitadas. A queima pode ser realizada em *flares* ou por meio do aproveitamento para geração de energia elétrica, calor ou produção de biometano. Nesse estudo, o levantamento foi realizado para as unidades que realizam o uso energético do biogás.

No caso da compostagem, a metodologia aplicada foi a AMS.III.F versão 12.0 que calcula as emissões de metano evitadas através do tratamento biológico controlado de biomassa. Envolve a adoção de medidas que evitem a produção de metano pela biomassa ou outra matéria orgânica que, do contrário, teria sido abandonada até se decompor anaerobicamente em um local sem recuperação de metano. Na compostagem não é considerada a recuperação ou queima do metano e não é realizada combustão controlada do resíduo. Esta metodologia é aplicável à compostagem da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e resíduos de biomassa de atividades agrícolas ou agroindustriais, incluindo dejetos de animais.

Para o cálculo de emissões de N₂O (óxido nitroso) foi utilizada a metodologia que consta no IPCC (2006), considerando-se a produção direta de óxido nitroso durante a compostagem. Na biodigestão e no armazenamento dos dejetos em esterqueiras o fator de emissão (EF₃) dos dejetos é 0 (zero), portanto, emissões de N₂O não foram consideradas nestes sistemas.

A equação aplicada para todos os tipos de tratamento desse estudo é a mesma, sendo que o que difere é o valor do MCF (*Manure Management System*), ou seja, o fator de conversão de metano para o projeto para o sistema de gerenciamento de dejetos. O parâmetro MCF é importante, pois tem como objetivo refletir o efeito que o manejo dos dejetos possui sobre a emissão de metano.

O MCF para compostagem refere-se a compostagem em leiras com infrequente mistura e aeração. Entretanto, existem diversos fatores que influenciam a

⁴ Apesar de o IPCC aplicar um GWP de 28 vezes para o CH₄ em 2014, optou-se por utilizar o valor 21, utilizado pelo governo brasileiro (MCTIC) no último inventário nacional de emissões.

emissão de gases durante a compostagem, e a eficácia do processo depende do controle do teor de matéria orgânica e de água do dejetos utilizado, da umidade, da atividade microbiana e da relação carbono/nitrogênio (Sardá et al., 2010).

Os biodigestores são estruturas que promovem a digestão anaeróbia da biomassa, e que apresenta diversas vantagens, como a redução da carga de matéria orgânica, o auxílio no controle da proliferação de insetos e redução de emissão de odores e gases (como o CO₂ e CH₄) na atmosfera através da queima, ou para outros fins, como, por exemplo, a geração de energia.

O processo de digestão anaeróbia depende de alguns fatores, como o pH, a alcalinidade, os ácidos voláteis, teor de sólidos dos dejetos, e o tempo de retenção dos dejetos no biodigestor. O controle dos fatores que afetam a digestão anaeróbia possibilita a otimização da eficiência do sistema de tratamento dos resíduos orgânicos.

Portanto, primeiramente calcula-se a linha de base (baseline) do projeto, ou seja, a quantidade de metano que seria emitida para a atmosfera durante um certo período para a tecnologia comumente utilizada (esterqueira), conforme Equação 2. Após isso, são calculadas as emissões do projeto (Equação 3), definidas como a quantidade de metano que seria emitida para a atmosfera durante um determinado período, considerando o tratamento dos dejetos pelas tecnologias de biodigestão ou de compostagem.

$$Q_{CO_2 \text{ ano}_{base}} = GWP \times \rho_{CH_4} \times Ufb \sum MCF_{base} \times B_0 \times N \times \frac{PM}{P_{padr\tilde{a}o}} \times SV \times TC_{ano} \times MS \times \frac{TC_{dia}}{24} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Q_{CO_2 \text{ ano}_{trat}} = GWP \times \rho_{CH_4} \times Ufb \sum MCF_{trat} \times B_0 \times N \times \frac{PM}{P_{padr\tilde{a}o}} \times SV \times TC_{ano} \times MS \times \frac{TC_{dia}}{24} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- Q_{CO₂ ano_{base}}** Quantidade total de emissões da linha de base (ton CO₂eq).
- Q_{CO₂ ano_{trat}}** Quantidade total de emissões do novo sistema de tratamento (ton CO₂eq).
- Q_{CO₂ ano}** Redução de emissões (ton CO₂eq).
- GWP_{CH₄}** Potencial de aquecimento global do metano comparado ao dióxido de carbono.
- ρ_{CH₄}** Densidade do gás metano em temperatura de 20°C e a 1 atm de pressão.
- Ufb** Fator de correção por incertezas.
- MCF** (*Manure Management System*) Fator anual de conversão de metano para o sistema de tratamento escolhido.

B₀	Capacidade máxima de produção de metano por dejetos produzido para a categoria animal, em m ³ CH ₄ ⁻¹ kgSV ⁻¹ de matéria seca. Este parâmetro varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada categoria de animal.
N	Quantidade média de animais por categoria no ano (cabeças).
SV	Valor padrão para a taxa dos sólidos voláteis dos dejetos por dia por tipo de categoria animal, em kg SV cab ⁻¹ dia ⁻¹ . Também varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada categoria animal.
MS	Fração de dejetos manuseados no sistema de gerenciamento de dejetos (%).
PM	Peso médio do animal em um confinamento definido por categoria, conforme média dos animais no local (kg).
P_{padrão}	Peso médio padrão do IPCC do animal (kg).
TC_{ano}	Quantidade de dias por ano em que há animais em confinamento (dias ano ⁻¹).
TC_{dia}	Quantidade de horas por dia que os animais estão confinamento (h dia ⁻¹).

A partir desses resultados, é possível estimar a redução de emissões pela implantação de certa tecnologia de tratamento de dejetos em um projeto, seguindo a Equação 4.

$$Q_{CO_2 \text{ ano}} = Q_{CO_2 \text{ ano}_{baseline}} - Q_{CO_2 \text{ ano}_{trat}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Os parâmetros aplicados às equações de estimativa de emissões são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de redução de emissões por biodigestão e compostagem.

Parâmetros	Suínos						Bovinos	
	Terminação	Matriz	Leitão em creche	UPD	UPL	Ciclo Completo	Vacas	Gado de corte
MCF _{baseline}	78%							
MCF _{projeto biodigestão}	10%							
MCF _{projeto compostagem}	1%							
Ufb	0,94							
% CH ₄ no biogás	60%							
ρ CH ₄ (ton m ⁻³)	0,00067							
GWP _{CH4}	25							
MS (%)	100%							
SV (kg SV cab ⁻¹ dia ⁻¹)	0,32 ¹	2,9 ²	2,5 ²					
B ₀ (m ³ CH ₄ ⁻¹ kgSV ⁻¹)	0,33 ³	0,32 ¹	0,21 ¹	0,23 ¹				
PM (Kg) ¹	73,25	215	15,93	73,25	73,25	73,25	640	360
P _{padrão} (kg) ²	50	198	50	50	50	50	500	365
TC _{dia} (h dia ⁻¹)	24	24	24	24	24	24	12	24
TC _{ano} (dia ano ⁻¹)	300	365	365	365	365	365	365	365

¹ BiogásFert, 2018; ² IPCC, 2006; ³ CIBiogás, 2018

Os parâmetros para SV e B₀ utilizados para cálculo das emissões de metano não são todos referenciados pelo IPCC. No entanto, os parâmetros aqui adotados são

referências principalmente obtidos da Rede BiogásFert, liderada pela Embrapa, e para a categoria de suínos terminação pelo CIBiogás.

A opção pelo uso de outros parâmetros justifica-se pela tentativa de mostrar resultados mais próximos a realidade do Brasil. Os parâmetros do IPCC são dados muito genéricos, por exemplo, são usados os mesmos valores para todos os países da América Latina. Além disso, o IPCC somente contempla duas categorias de suínos (terminação e reprodutores), o que também justifica o uso de parâmetros que considerem as outras categorias presentes neste relatório. Na tabela 3 é possível comparar os parâmetros sugeridos pelo IPCC para a América Latina e os parâmetros utilizados neste relatório.

Tabela 3. Parâmetros comparativos entre IPCC e usados no relatório.

Categorias		SV (kg SV cab ⁻¹ dia ⁻¹)		Bo (m ³ CH ₄ ⁻¹ kgSV ⁻¹)	
		Relatório	IPCC	Relatório	IPCC
Suínos	Terminação	0,32 ¹	0,3 ²	0,33 ³	0,29 ²
	Matriz	0,32 ¹	0,3 ²	0,32 ¹	0,29 ²
	Leitão em creche	0,32 ¹	-	0,32 ¹	-
	UPD	0,32 ¹	-	0,32 ¹	-
	UPL	0,32 ¹	-	0,32 ¹	-
	Ciclo completo	0,32 ¹	-	0,32 ¹	-
Bovinos	Vacas	2,9 ²	2,9 ²	0,21 ¹	0,13 ²
	Gado de corte	2,5 ²	2,5 ²	0,23 ¹	0,10 ²

¹ BiogásFert, 2018;

² IPCC, 2006;

³ CIBiogás, 2018

Emissões diretas de N₂O na compostagem

A compostagem embora apresente vantagens no tratamento de dejetos, como favorecer a produção de gás carbônico em detrimento do metano, ainda existem alguns fatores que podem ser limitantes na compostagem quando mal manejada, com possibilidade de aumentarem as emissões de GEE, principalmente através do óxido nitroso. O N₂O tem potencial de aquecimento global 310 vezes superior ao do dióxido de carbono (IPCC – SAR, 1995)⁵.

⁵ O GWP do N₂O é de 310, parâmetro utilizado pelo governo brasileiro (MCTIC) no último inventário nacional de emissões.

A metodologia adotada foi reportada do IPCC: *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4. Capítulo 10: *Emissions from Livestock and Manure Management*, e com dados de excreção de N (nitrogênio) do IMA (2014). O cálculo de estimativa de N₂O pode ser realizado pela Equação 5.

$$N2O_d = \sum(N \times N_{ex} \times MS \times EF3) \times \frac{44}{28} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

N2O_d	Emissões diretas de N ₂ O provenientes de sistemas de manejo de dejetos de animais (Kg ano ⁻¹)
N	Número de animais por categoria.
N_{ex}	Total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (Kg N ⁻¹).
MS	Proporção do N excretado pelos sistemas de manejo dos dejetos pelos animais do rebanho no tipo de sistema de manejo.
EF₃	Fator de emissão de N ₂ O para o sistema de manejo por cada tipo de sistema de manejo de dejetos.
44/28	Conversão de emissão de (N ₂ O-N) em emissões de N ₂ O.

A conversão de emissões de N₂O em tonCO_{2eq} pode ser feita pela Equação 6.

$$tonCO_{2eqN2O} = \sum(tonN_2O \times GWP_{N2O}) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

tonCO_{2eqN2O}	Toneladas de CO ₂ equivalentes por ano.
GWP_{N2O}	Potencial de aquecimento global do óxido nitroso comparado ao dióxido de carbono.
tonN₂O	Toneladas de N ₂ O por ano.

Na tabela 4 constam os parâmetros utilizados para o cálculo de emissões de N₂O na compostagem.

Tabela 4. Parâmetros para cálculo de emissões de N₂O.

Parâmetros	Suínos				Suinocultura não categorizada*
	Terminação	Leitão em creche	UPL	Ciclo completo	
MS ¹			100%		
EF ₃ ¹			0,01		

GWP _{N2O} ²	310				
N _{ex} (kg ano ⁻¹) ³	8	0,40	25,70	85,70	25,70

¹ IPCC, 2006;

² IPCC – SAR, 1995;

³ IMA, 2014

* Suinocultura não categorizada refere-se aos casos em que existe a informação de que os dejetos provêm da suinocultura, mas não especifica qual a categoria de suínos. Estes parâmetros de suinocultura não categorizada são os dados da categoria UPL, visto que este é um dos sistemas de produção de suínos mais recorrente no país.

As categorias de suínos com dados de excreção de N pelo IMA são as constantes na tabela 4, e não incluem todas as categorias. A categoria de suinocultura não categorizada foi utilizada porque os dados obtidos sobre compostagem não informam a categoria animal, somente um número geral de suínos. Portanto, para compostagem somente foram utilizados os parâmetros de suinocultura não categorizada.

Para o cálculo de redução de emissões para a compostagem, é necessário considerar as emissões de N₂O no sistema de tratamento. A Equação 7 mostra a quantidade total de redução de emissões pela compostagem.

$$Q_{CO_2 \text{ ano}} = Q_{CO_2 \text{ ano}_{baseline}} - \sum(Q_{CO_2 \text{ ano}_{trat}} + tonCO_{2eq}N2O) \quad (\text{Eq. 7})$$

2.2.1.3. Produção de biogás

No caso da tecnologia de biodigestão, estima-se a produção diária de biogás por meio da equação de redução de emissões de carbono apresentada anteriormente, de modo simplificado e com modificações que permitem utilizar parâmetros mais adaptados à realidade tecnológica das propriedades analisadas.

A premissa é que a produção de biogás é o inverso da redução de emissões esperada para a tecnologia de biodigestão, por isso, na equação o MCF é substituído pelo parâmetro eficiência da produção de biogás (E). Esse parâmetro varia conforme o tipo de biodigestor utilizado e o manejo do dejetos para a produção de biogás, sendo aplicado aqui um valor conservador referente à tecnologia lagoa coberta.

$$Q_{biogás \text{ ano}} = \sum \frac{E_{biodigestão} \times SV \times B_0}{\%CH_4} \times Q_{dejetos \text{ ano}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

$Q_{biogás_{ano}}$	Produção anual de biogás.
E	Eficiência da tecnologia de biodigestão.
B₀	Capacidade máxima de produção de metano por dejetos produzidos para a categoria animal, m ³ CH ₄ /kg de SV de matéria seca. Este parâmetro varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada categoria de animal.
SV	Concentração dos sólidos voláteis nos dejetos, em g _{SV} L ⁻¹ .
$Q_{dejetos_{ano}}$	Produção anual de dejetos.
%CH₄	Concentração média de metano no biogás.

Os parâmetros para cálculo da estimativa de produção de biogás estão na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros para cálculo da produção de biogás por meio da tecnologia de biodigestão.

Parâmetros	Suínos						Bovinos	
	Leitão em creche	Terminação	Matriz	UPD	UPL	Ciclo Completo	Vacas	Gado de corte
E _{biodigestão (lagoa coberta)}	60% ¹							
% CH ₄ no biogás	60%							
SV (g _{SV} L ⁻¹)	35,38 ²	80,35 ¹	35,38 ²	35,38 ²	35,38 ²	35,38 ²	68,59 ²	80,19 ²
B ₀ (m ³ CH ₄ kgSV ⁻¹)	0,32 ²	0,33 ¹	0,32 ²	0,32 ²	0,32 ²	0,32 ²	0,21 ²	0,23 ²

¹ CIBiogás, 2018.

² BiogásFert, 2018.

2.2.2. Estimativas a partir de capacidade elétrica instalada

A estimativa realizada a partir da capacidade elétrica instalada utiliza parâmetros e equações para estimar a produção de biogás (consumo do motorizador), volume de dejetos tratados e redução de emissões de carbono quando o biogás produzido na biodigestão é aplicado na geração de energia elétrica.

$$Q_{biogás_{ano}} = P \times E_{eletrica} \times T_{geração} \times TC_{ano} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

Q_{biogás_ano} Quantidade de biogás por ano (m³ ano⁻¹).

P Capacidade elétrica instalada (MW).

- E_{elétrica}** Eficiência de conversão de biogás em energia elétrica (MWh m⁻³).
- T_{geração}** Quantidade de horas diária de geração de energia elétrica (h dia⁻¹).
- TC_{ano}** Quantidade de dias por ano em que há animais em confinamento (dias ano⁻¹).

$$Q_{dejetos\ ano} = \frac{E_{dejetos/biogás}}{Q_{biogás\ ano}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

- Q_{dejetos ano}** Quantidade de dejetos por ano.
- E_{dejetos/biogás}** Fator de produção de dejetos por volume de biogás, por categoria animal (m³dejetos m⁻³biogás).
- Q_{biogás ano}** Quantidade de biogás por ano (m³ ano⁻¹).

$$Q_{CO_2\ ano} = \frac{E_{emissões/biogás}}{Q_{biogás\ ano}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

- Q_{CO2 ano}** Redução de emissões de CO₂ por ano.
- E_{emissões/biogás}** Fator de emissão de carbono por volume de biogás, por categoria animal (tCO₂ m⁻³biogás).
- Q_{biogás ano}** Quantidade de biogás por ano (m³ ano⁻¹).

Os parâmetros para cálculo da estimativa de produção de biogás a partir da capacidade elétrica instalada estão na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros para cálculo da produção de biogás por meio da tecnologia de biodigestão.

Parâmetros	Suínos						Bovinos		Suinocultura não categorizada*
	Terminação	Matriz	Leitão em creche	UPD	UPL	Ciclo Completo	Vacas	Gado de corte	
E _{elétrica} (MWh m ⁻³) ¹	0,00014								
T _{geração} (h dia ⁻¹) ²	10								
E _{dejetos/biogás} (m ³ dejetos m ⁻³ biogás) ³	0,038	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,069	0,054	0,088
E _{emissões/biogás} (tCO ₂ m ⁻³ biogás) ⁴	3,498	2,015	6,757	2,719	1,611	0,923	1,898	2,369	1,611

¹ Dado medido na Granja Colombari-PR pelo CIBiogás.

² Número médio de horas por dia em que o grupo motorgerador está gerando energia. Este é um valor conservador, visto que várias plantas geram energia de 12 até 24 horas por dia.

³ Calculado. Produção de dejetos (m³ dia⁻¹ cab⁻¹) dividido pela produção de biogás (m³ dia⁻¹ cab⁻¹).

⁴ Calculado. Redução de emissão pela biodigestão (tCO₂eq ano⁻¹ cab⁻¹) dividido pela produção de biogás (m³ dia⁻¹ cab⁻¹).

* Suinocultura não categorizada refere-se a casos em que existe a informação de que os dejetos provêm da suinocultura, mas não especifica qual a categoria de suínos. Estes parâmetros de suinocultura não categorizada são os dados da categoria UPL, visto que este é um dos sistemas de produção de suínos mais recorrente no país.

2.2.3. Resumo dos parâmetros

Para simplificar os cálculos, a Tabela 7 apresenta os parâmetros calculados conforme a metodologia descrita.

Tabela 7. Resumo de parâmetros diários calculados por meio da metodologia apresentada.

Parâmetros resumidos	Suínos					Bovinos		Suinocultura não categorizada	
	Terminação	Matriz	Leitão em creche	UPD	UPL	Ciclo Completo	Vacas		Gado de corte
Rota de estimativa por quantidade de animais									
Produção/Tratamento de dejetos ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ¹	0,0045	0,016	0,0014	0,016	0,027	0,0471	0,0039	0,0018	0,027
Redução emissão - biodigestão ($\text{tonCO}_2\text{eq dia}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ²	0,0014	0,0010	0,0003	0,0013	0,0013	0,0013	0,0035	0,0052	0,0013
Redução emissão - compostagem ($\text{tonCO}_2\text{eq dia}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ³	0,0015	0,0011	0,0003	0,0015	0,0012	0,0004	0,0040	0,0059	0,0012
Produção de biogás ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ⁴	0,119	0,181	0,016	0,181	0,306	0,533	0,674	0,797	0,306
Rota de estimativa por capacidade elétrica instalada									
Produção de dejetos/Quantidade de biogás ($\text{m}^3 \text{ dejetos m}^{-3} \text{ biogás}$) ⁵	0,038	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,069	0,054	0,088
Produção de dejetos/Energia gerada ($\text{m}^3 \text{ MW}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) ⁵	269,4	630,9	630,9	630,9	630,9	630,9	495,9	387,3	630,9
Redução emissões/Quantidade de biogás ($\text{tonCO}_2\text{eq m}^{-3} \text{ biogás}$) ⁵	3,498	2,015	6,757	2,719	1,611	0,923	1,898	2,369	1,611
Redução emissões/Energia gerada ($\text{tonCO}_2\text{eq MW}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) ⁵	24987,0	14392,7	48262,0	19418,0	11507,0	6596,4	13557,1	16921,2	11507,0
Produção de biogás ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ MW}^{-1}$) ⁵	7142,9								

*Não incluem emissões de N₂O.

¹ Calculado por meio da equação 1, aplicando-se os parâmetros da Tabela 1.

² Calculado por meio das equações 2, 3 e 4, aplicando os parâmetros das Tabelas 2 e 3.

³ Calculado por meio das equações 2, 3, 5, 6 e 7, aplicando os parâmetros das Tabelas 2, 3 e 4.

⁴ Calculado por meio da equação 8 usando parâmetros da Tabela 5.

⁵ Calculado por meio das equações 9, 10 e 11 usando os parâmetros da Tabela 6.

Tabela 8. Resumo de parâmetros anuais calculados por meio da metodologia apresentada.

Parâmetros resumidos	Suínos						Bovinos		Suinocultura não categorizada
	Terminação	Matriz	Leitão em creche	UPD	UPL	Ciclo Completo	Vacas	Gado de corte	
Rota de estimativa por quantidade de animais									
Produção/Tratamento de dejetos ($m^3 \text{ ano}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ¹	1,350	5,840	0,511	5,840	9,855	17,192	17,082	15,768	9,855
Redução emissão - biodigestão ($\text{tonCO}_2\text{eq ano}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ²	0,417	0,365	0,107	0,492	0,492	0,492	1,279	1,888	0,492
Redução emissão - compostagem ($\text{tonCO}_2\text{eq ano}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ³	0,434	0,413*	0,119	0,558*	0,432	0,140	1,449*	2,137*	0,432
Produção de biogás ($m^3 \text{ ano}^{-1} \text{ cab}^{-1}$) ⁴	35,796	66,118	5,785	66,118	111,574	194,635	246,047	290,820	111,574
Rota de estimativa por capacidade elétrica instalada									
Produção de dejetos/Quantidade de biogás ($m^3 \text{ dejetos m}^{-3} \text{ biogás}$) ⁵	0,038	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,069	0,054	0,088
Produção de dejetos/Energia gerada ($m^3 \text{ MW}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ⁵	98.325	230.280	230.280	230.280	230.280	230.280	181.003	141.357	230.280
Redução emissões/Quantidade de biogás ($\text{tonCO}_2\text{eq m}^{-3} \text{ biogás}$) ⁵	3,498	2,015	6,757	2,719	1,611	0,923	1,898	2,369	1,611
Redução emissões/Energia gerada ($\text{tonCO}_2\text{eq MW}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ⁵	9.120.238	5.253.322	17.615.641	7.087.586	4.200.051	2.407.673	4.948.344	6.176.246	4.200.051
Produção de biogás ($m^3 \text{ ano}^{-1} \text{ MW}^{-1}$) ⁵	2.607.143								

*Não incluem emissões de N₂O.

¹ Calculado por meio da equação 1, aplicando-se os parâmetros da Tabela 1.

² Calculado por meio das equações 2, 3 e 4, aplicando os parâmetros das Tabelas 2 e 3.

³ Calculado por meio das equações 2, 3, 5, 6 e 7, aplicando os parâmetros das Tabelas 2, 3 e 4.

⁴ Calculado por meio da equação 8 usando parâmetros da Tabela 5.

⁵ Calculado por meio das equações 9, 10 e 11 usando os parâmetros da Tabela 6.

2.3. Premissas e incertezas

No desenvolvimento deste relatório foram consideradas premissas para delimitar o foco de atuação e incertezas das estimativas:

- Neste relatório foram consideradas as propriedades com plantéis de suínos e bovinos de leite e de corte com tratamento dos dejetos por biodigestão e compostagem.
- As emissões de CO₂, CH₄ e outros gases de efeito estufa da avicultura depende do tipo de cama (maravalha, casca de arroz, serragem) número de lotes na mesma cama e manejo da cama. Isto torna complexa a dinâmica de cálculo de emissões, aliado as precárias informações sobre o tratamento de resíduos da avicultura no país. Aliado a isso, a experiência de campo mostra que na maioria dos casos o dejetos da avicultura é destinado diretamente à fertilização do solo, sem tratamento. Por tanto, não foram considerados os dejetos da avicultura neste relatório.
- Foram considerados apenas biodigestores de escala produtiva, ou seja, não foram contabilizados biodigestores domésticos, como os biodigestores sertanejos e modelo chinês e indiano.
- Na biodigestão foram consideradas somente as propriedades com uso energético do biogás. As propriedades que somente queimam o biogás em *flare* não foram contabilizadas. Conforme experiências a campo, observa-se que nos casos em que o biogás é queimado em *flare*, sem uso final energético pelo produtor, nem sempre a queima ocorre adequadamente ou o *flare* não está em funcionamento.
- As poucas propriedades encontradas que somente aproveitam o biogás em motobomba para fertirrigação a biogás não foram contabilizadas nesse levantamento, pois não continham informações para estimar o volume de dejetos tratados nestas plantas, já que somente uma parte do volume de biogás gerado é aproveitado pelas bombas.
- Grupos motogeradores a biogás podem ter baixa eficiência na conversão em energia elétrica, apresentar problemas operacionais e ter paradas por problemas técnicos, e assim, pode haver casos em que o biogás pode estar

sendo lançado no ambiente sem a devida queima. Por isso, é importante haver programas de incentivo ao aumento da eficiência de queima do biogás, para assim, garantir-se a mitigação das emissões e sempre haver *flare* de segurança junto aos biodigestores.

- Existem casos em que as datas de instalação do biodigestor e do grupo motogerador são diferentes entre si, ou seja, só se inicia a produção de energia elétrica após algum tempo ou anos da instalação do biodigestor. Ocorrem casos também em que existe a conexão em geração distribuída segundo dados do banco de dados da Aneel, mas não está sendo produzida energia por problemas no motogerador. Assim, na falta de informação referente à instalação do biodigestor e à data de conexão na rede, utilizou-se como referência a data da coleta dos dados (2019).
- O cálculo das reduções de emissões considerou o mês e ano do início da operação (cálculo proporcional). Na inexistência da informação completa, considerou-se o ano todo.
- Por causa da dificuldade na obtenção de dados de compostagem, os dados obtidos são genéricos, constando de máquinas instaladas e número de suínos com dejetos tratados por máquina nos últimos 10 anos, sem localização e demais informações. Porém, em conversas com atores do setor, percebeu-se que o uso de tecnologias para compostagem do dejetos bruto não vem crescendo tanto quanto de biodigestão, e talvez por isso a dificuldade de coletar dados.
- Houve dificuldade de coletar dados de financiamento dos sistemas de tratamento. Algumas informações sobre financiamento foram obtidas em contatos diretamente realizados com os proprietários e através do projeto GEF/UNIDO de biogás.
- Quando inexistia a informação da localização geográfica exata da propriedade, foi inserido o ponto de localização no centro do município.
- Considera-se que todos os sistemas de tratamento continuam operando continuamente após o início da operação.

- Os dados das plantas de biogás do banco de dados de geração de energia elétrica da Aneel apenas indicam origem geral do substrato, por exemplo, RA para Resíduos Agropecuários, não havendo informações detalhadas sobre a origem dos dejetos. Assim, buscas foram feitas para maior detalhamento (entre suinocultura e bovinocultura de leite), mas algumas vezes sem sucesso. Nestes casos a premissa é que seja suinocultura, maioria dos casos de GD em biogás no Brasil.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Dados consolidados – Biodigestão

Os principais resultados foram agrupados e consolidados em tabelas, gráficos e mapas e apresentados por unidade de federação ou por ano de início de operação do uso energético do biogás. A condição de uso energético do biogás é utilizada como forma de dar mais segurança de que os dados gerados são de real mitigação de GEE.

3.1.1. Biodigestores para uso energético do biogás em operação em 2019

Primeiramente apresentam-se os dados referentes ao panorama atual do uso da biodigestão como sistema de tratamento de dejetos da pecuária do Brasil, especificamente para os casos em que o biogás produzido é aproveitado para geração de energia elétrica ou térmica ou produção de biometano combustível.

Os dados levantados indicam a existência de 371 biodigestores em operação em 2019 no Brasil tratando 14.471.182 m³/ano. Na Tabela 9 são apresentados os dados de quantidade de propriedades com biodigestores, de volume de dejetos tratados e de volume de biogás produzido por um ano nestas propriedades, além da mitigação de emissões de GEE em toneladas de carbono equivalente (tCO₂eq).

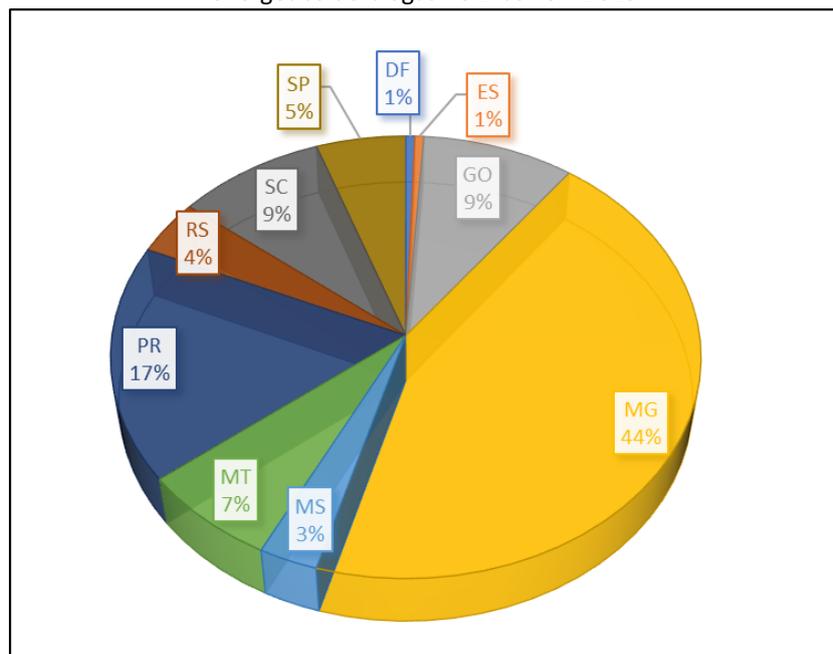
Tabela 9. Propriedades com biodigestores em operação em 2019 por estado.

Estado	Quantidade de propriedades	Volume de dejetos tratados (m ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás produzido (m ³ ano ⁻¹)	Mitigação de emissões (tCO ₂ eq ano ⁻¹)
DF	2	121.183	1.371.983	584.075
ES	2	68.661	915.107	945.494
GO	34	968.901	11.973.472	18.654.168
MG	164	5.192.130	65.250.785	69.886.088
MS	11	584.084	6.145.277	9.439.691
MT	26	3.642.794	43.357.573	22.077.781
PR	64	1.486.992	21.841.836	16.867.475
RS	15	263.525	3.425.920	1.385.453
SC	33	1.659.593	19.452.268	8.657.606
SP	20	483.319	8.369.185	10.264.604
TOTAL	371	14.471.182	182.103.406	158.762.434

Fonte: Elaboração própria.

Analisando-se os dados obtidos detalhadamente, observa-se que 44% das propriedades rurais com biodigestores no Brasil são de Minas Gerais e 17% são do Paraná (Figura 1). Importante lembrar que apenas foram considerados nesse levantamento biodigestores em que é feito aproveitamento energético do biogás.

Figura 1. Distribuição por estado da quantidade de propriedades com biodigestores fazendo uso energético do biogás no Brasil em 2019.



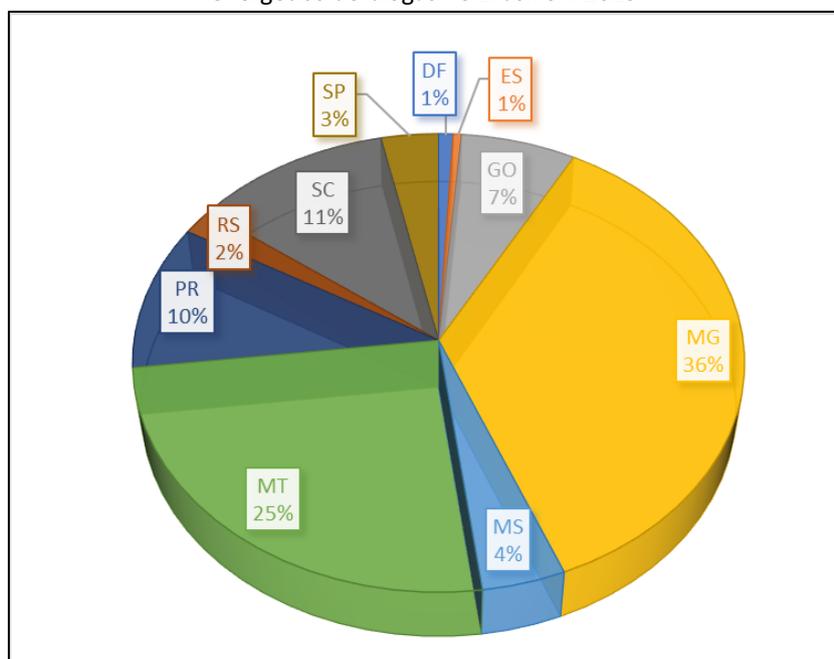
Fonte: Elaboração própria.

Em Minas Gerais, provavelmente o grande crescimento do uso do biogás como fonte para geração de energia elétrica em Geração Distribuída (GD) pela Resolução Aneel 484/2012 seguiu a tendência de crescimento também da energia solar fotovoltaica em GD no Estado. O destacado potencial de produção de biogás do estado somado à maior facilidade de acesso e conexão à rede proporcionada pela concessionária estadual de distribuição de energia elétrica, podem ter incentivado o aumento da quantidade de biodigestores em operação. Além disso, Minas Gerais foi um dos primeiros estados a isentar ICMS sobre a energia elétrica gerada em GD e tem tarifas elevadas de energia elétrica comparadas a outros estados, tornando o investimento mais atrativo.

No caso do Paraná, acredita-se que a concentração de biodigestores com uso energético do biogás se deve ao incentivo dado pelos projetos de pesquisa e desenvolvimento na região executados pela Itaipu Binacional e pelo CIBiogás desde 2008, além do grande potencial existente na região.

Quando se analisa o volume de dejetos tratados pela biodigestão, o estado do Mato Grosso passa a se destacar com 25% do total, porém, Minas Gerais ainda fica em primeiro lugar, com 26% do volume tratado em todo o Brasil (Figura 2). Isso se deve ao fato de a pecuária intensiva no Mato Grosso ser praticada em propriedades de maior escala que em Minas Gerais e outros estados do país, havendo maior concentração de dejetos a serem tratados.

Figura 2. Distribuição por estado do volume de dejetos tratados em biodigestores que fazem uso energético do biogás no Brasil em 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Foram realizadas estimativas para fins de comparação entre a produção total de dejetos de suínos e bovinos de leite no país e o volume de dejetos tratados segundo esse levantamento. Para isso, utilizaram-se dados de efetivo de rebanho do IBGE e aplicou-se a metodologia proposta neste relatório para cálculo do volume de dejetos produzido.

Na Tabela 10 são apresentados os dados de estimativa de produção de dejetos de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de suínos por unidade de

federação do Brasil (dados do IBGE), comparando-se com os dados obtidos nesse diagnóstico. Esses dados foram calculados aplicando-se o parâmetro de produção de dejetos para suinocultura não categorizada (9,855 m³ de dejetos por cabeça).

Tabela 10. Comparação dos dados obtidos com a suinocultura existente do Brasil.

Unidade da Federação	Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de suínos ¹	Número de estabelecimentos com biodigestor	Proporção	Volume de dejetos produzidos ^{1*} (m ³ /ano)	Volume de dejetos tratados (m ³ /ano)	Proporção
Minas Gerais	1507	139	9,2%	38.489.520	4.317.747	11,2%
Espírito Santo	109	2	1,8%	1.429.074	68.661	4,8%
São Paulo	813	18	2,2%	9.684.302	437.463	4,5%
Paraná	3974	45	1,1%	53.101.992	1.229.450	2,3%
Santa Catarina	7272	24	0,3%	79.532.176	1.179.753	1,5%
Rio Grande do Sul	5880	5	0,1%	54.684.715	82.033	0,2%
Mato Grosso do Sul	491	10	2,0%	11.751.122	577.749	4,9%
Mato Grosso	1043	23	2,2%	18.977.517	3.295.192	17,4%
Goiás	1388	20	1,4%	15.639.629	664.702	4,3%
Distrito Federal	75	2	2,7%	1.393.063	121.183	8,7%

*Utilizado parâmetro de suinocultura não categorizada.

¹ Fonte: Adaptada do Censo Agropecuário 2017, IBGE.

Adicionalmente, na Tabela 11 são apresentados os dados de estimativa de produção de dejetos de estabelecimento agropecuários com mais de 21 cabeças de bovinos de leite por unidade de federação do Brasil, comparando-se com os dados obtidos nesse diagnóstico. Para a estimativa de produção de dejetos foi aplicado o parâmetro de produção de dejetos de vacas já utilizado no diagnóstico (17,082 m³ dejetos por cabeça).

Tabela 11. Comparação dos dados obtidos com a bovinocultura de leite existente do Brasil.

Unidade da Federação	Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 21 cabeças de bovinos de leite ¹	Número de estabelecimentos com biodigestor de bovinos de leite	Proporção	Volume de dejetos produzidos ¹ (m ³ /ano)	Volume de dejetos tratados (m ³ /ano)	Proporção
Minas Gerais	216.460	17	0,008%	50.664.426	549.319	1,08%
Espírito Santo	17.141			3.367.016		
São Paulo	40.920	2	0,005%	9.016.102	45.856	0,51%
Paraná	87.063	7	0,008%	14.921.332	98.436	0,66%
Santa Catarina	71.051	1	0,001%	11.780.003	14.738	0,13%
Rio Grande do Sul	129.877	2	0,002%	15.760.519	7.125	0,05%
Mato Grosso do Sul	24.087	1	0,004%	3.829.357	6.335	0,17%
Mato Grosso	34.825			7.299.702		
Goiás	72.353	4	0,006%	18.555.135	105.974	0,57%
Distrito Federal	921			133.752		

¹ Fonte: Adaptada do Censo Agropecuário 2017, IBGE.

Os dados demonstram que a proporção de estabelecimentos com tecnologia de tratamento e também do volume de dejetos tratados por biodigestão da suinocultura é maior que de estabelecimentos de bovinocultura de leite no Brasil. Destacam-se Minas Gerais e Mato Grosso na suinocultura, especialmente no volume de dejetos tratados.

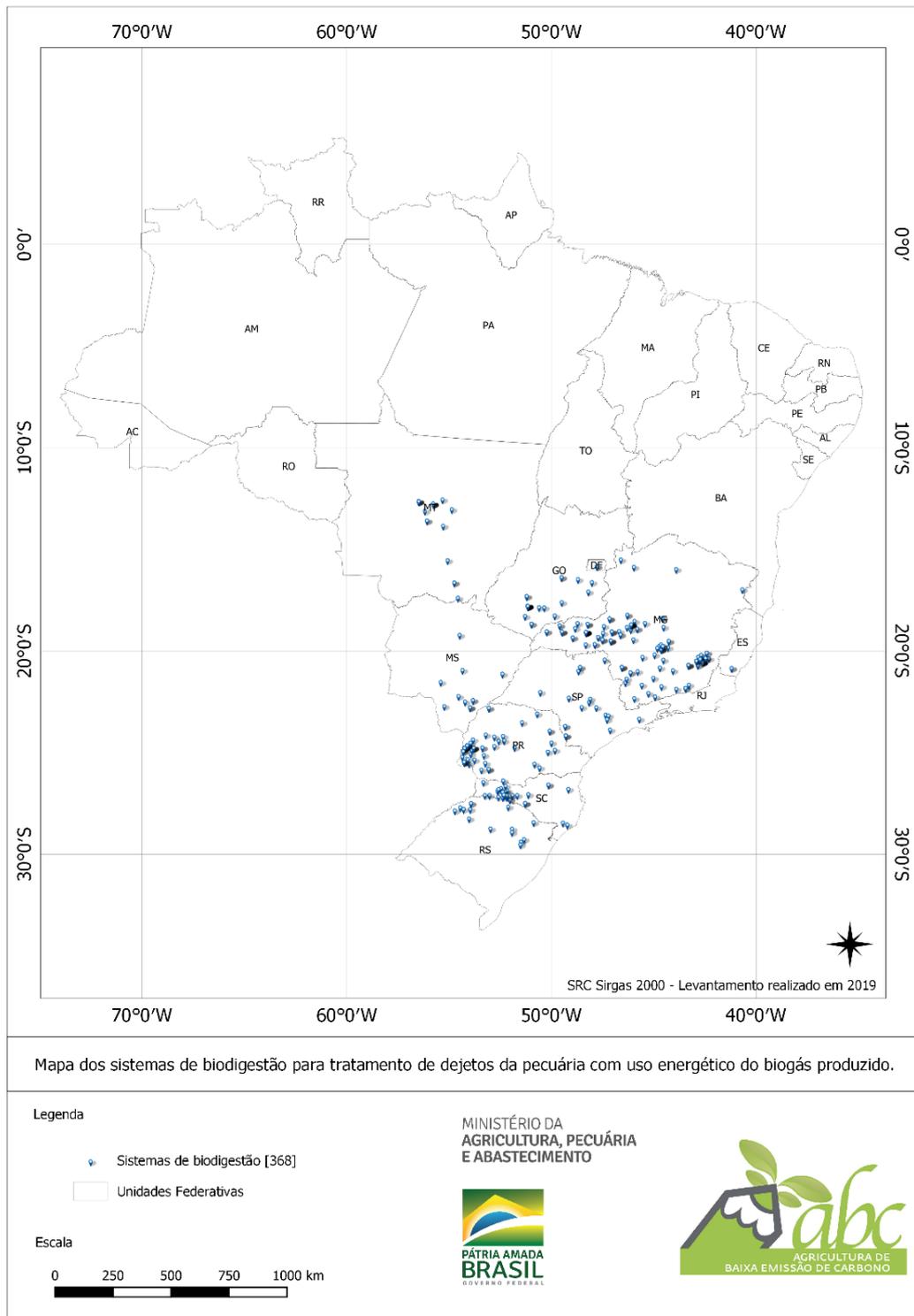
Porém, para a realização de uma comparação mais acertada, seria importante haver dados mais precisos de quantidade de animais confinados dentre todo o rebanho brasileiro. Os dados de efetivo de suínos e bovinos publicados pelo IBGE consideram todo o rebanho (confinados e não-confinados), porém nem todo o volume de dejetos gerado é passível de coleta, especialmente na bovinocultura. Para fazer o tratamento de dejetos pela biodigestão e compostagem, os animais precisam estar confinados para que a coleta dos dejetos seja feita automaticamente ou com pouco esforço dos produtores e, assim, seja viável técnica e economicamente o tratamento no sentido de horas dedicadas e tecnologia.

A seguir, os resultados do levantamento são apresentados em mapas para possibilitar melhor visualização dos dados e análise para tomada de decisão. No mapa da Figura 3 são apresentados os dados das tabelas anteriores, ou seja, os pontos referem-se à localização das propriedades rurais com biodigestores para tratamento dos dejetos da pecuária em que o biogás produzido é utilizado para fins energéticos.

Observando o mapa da Figura 3, nota-se que, apesar de apresentar a localização de todos os biodigestores, ele não possibilita a visualização da concentração com precisão, pois há propriedades rurais muito próximas entre si por estarem apresentadas no centroide do município. Assim, optou-se por apresentar os dados em mapas de calor, onde a coloração mais escura indica maior concentração.

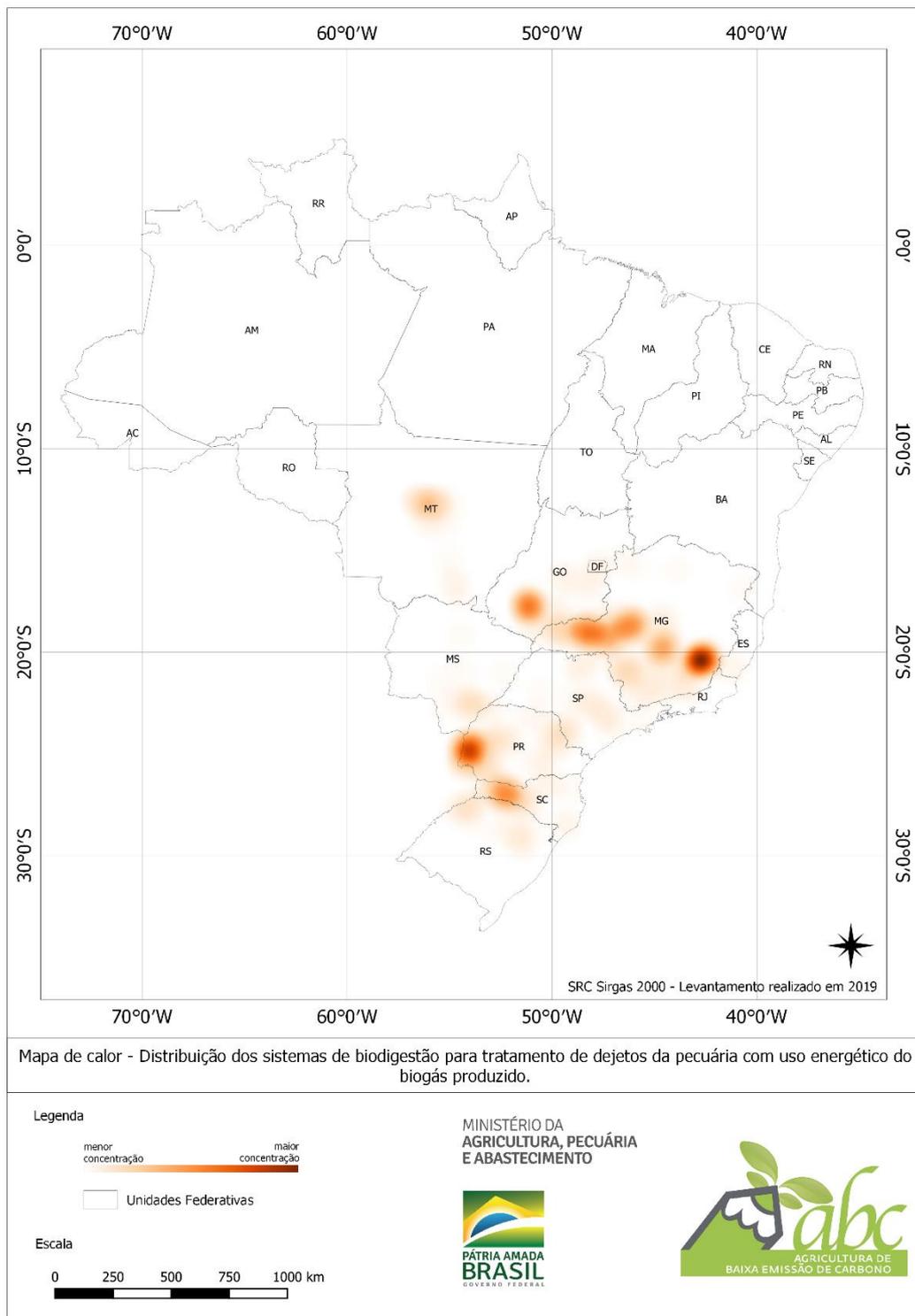
Assim, na Figura 4 é apresentado o mapa de calor dos biodigestores, onde a maior concentração está no sul de Minas Gerais e de Goiás, oeste do Paraná, oeste de Santa Catarina e centro do Mato Grosso.

Figura 3. Mapa de localização dos biodigestores de dejetos animais com uso energético do biogás existentes no Brasil em 2019.



Fonte: Elaboração própria.

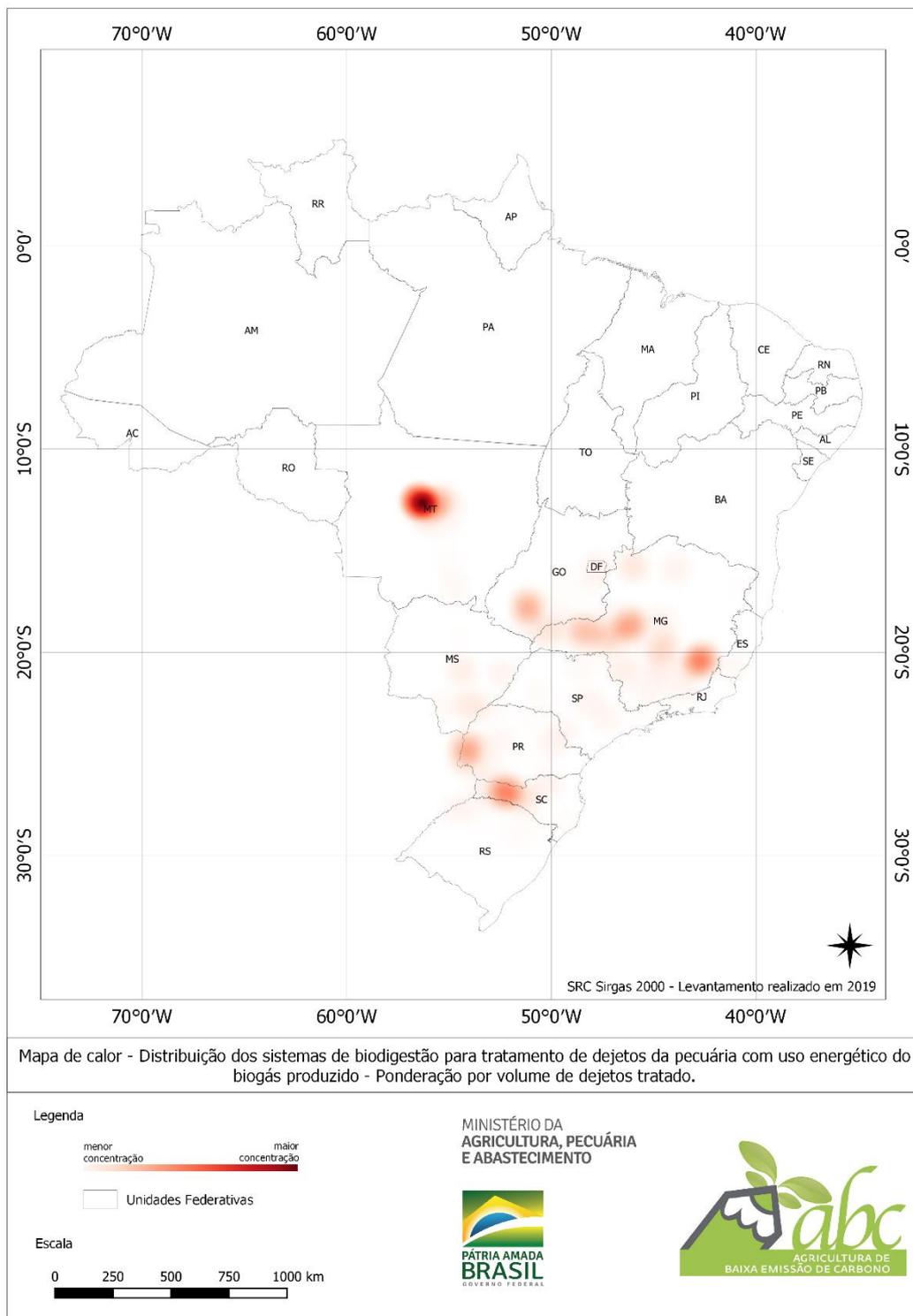
Figura 4. Mapa de calor biodigestores de dejetos animais com uso energético do biogás existentes no Brasil em 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Quando os dados do mapa são ponderados conforme o volume de dejetos tratado nos biodigestores (Figura 5), a cor mais escura indica que o maior volume é tratado atualmente na região central do estado do Mato Grosso.

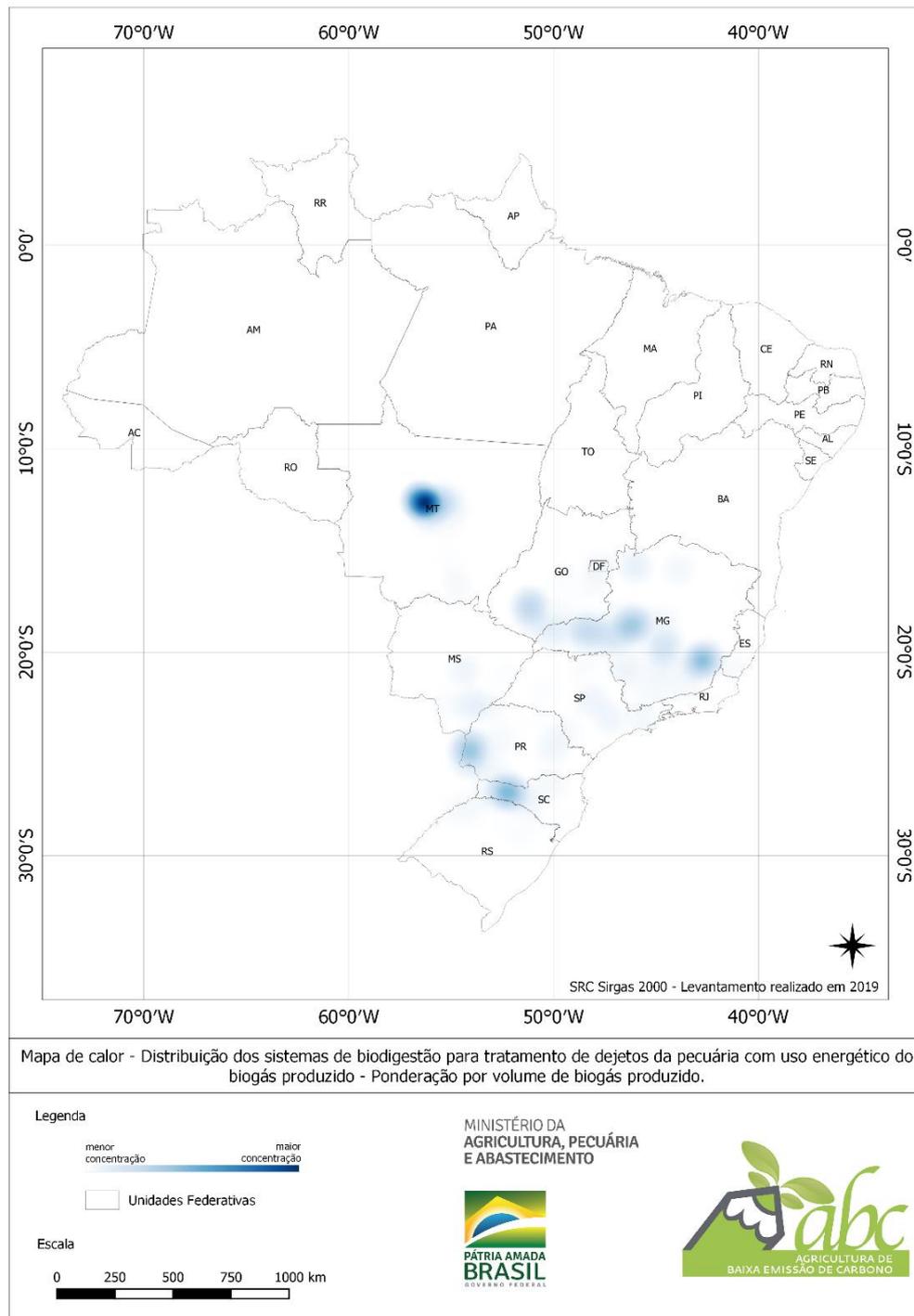
Figura 5. Mapa de calor dos biodigestores de dejetos animais com uso energético do biogás existentes no Brasil em 2019 – Ponderado por volume de dejetos tratados.



Fonte: Elaboração própria.

Da mesma forma, considerando-se que o volume de biogás produzido é calculado com base no volume de dejetos disponíveis e aplicando a Equação 8 desse relatório, conforme metodologia comumente aplicada no setor de biogás, o mapa de calor ponderado para volume de biogás também indica maior produção na região central do Mato Grosso (Figura 6).

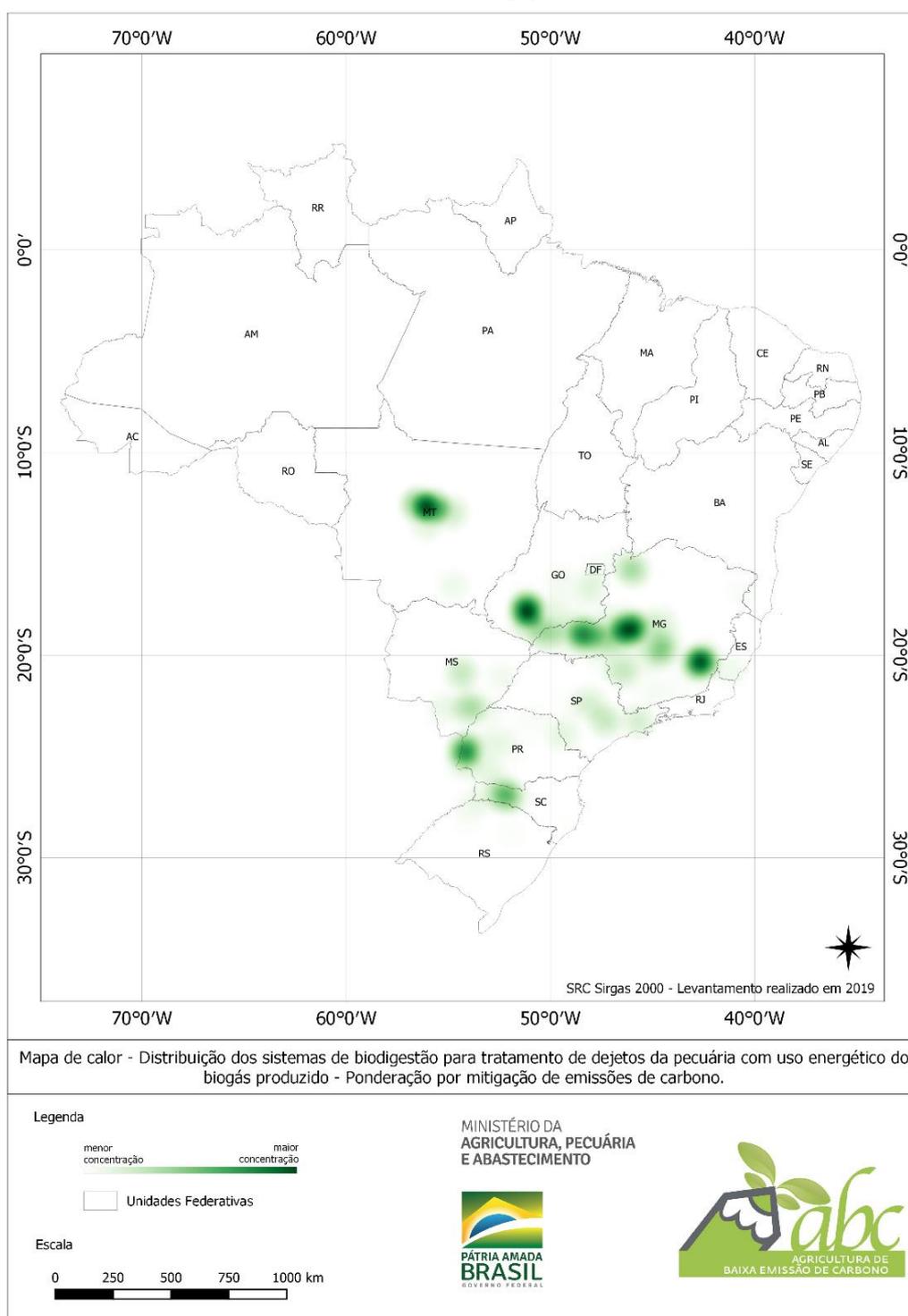
Figura 6. Mapa de calor dos biodigestores de dejetos animais com uso energético do biogás existentes no Brasil em 2019 – Ponderado por volume de biogás produzido.



Fonte: Elaboração própria.

No caso da estimativa de mitigação de emissões de carbono por meio do tratamento de dejetos, a metodologia e os parâmetros aplicados, mais próximos à metodologia do IPCC, indicam que a mitigação está ocorrendo especialmente no sul de Minas Gerais, sul de Goiás e centro do Mato Grosso.

Figura 7. Mapa de calor dos biodigestores de dejetos animais com uso energético do biogás existentes no Brasil em 2019 – Ponderado por mitigação de emissões de carbono.



Fonte: Elaboração própria.

3.1.2 Biodigestores com início da operação para uso energético do biogás entre 2010 e 2019

Para análise da possível influência do Plano ABC no aumento do uso do biodigestor como tecnologia de tratamento de dejetos no Brasil, é necessário analisar os dados do período do Plano, ou seja, de 2010 a 2019. Assim, nesse item do relatório são apresentados os dados dos biodigestores para tratamento de dejetos da pecuária que iniciaram o uso energético do biogás gerado entre 2010 a 2019. Essa consideração é feita para garantir que apenas sejam contabilizados os biodigestores em que o biogás estava sendo queimado, ou seja, as emissões de GEE estavam sendo realmente mitigadas pela demanda diária do biogás na propriedade rural para fins energéticos.

Assim, observa-se que 334 plantas com biodigestão foram instaladas no período de 2010 e 2019, tratando em 2019, 13.059.538 m³/ano de dejetos (Tabela 12). Todos esses dados foram agrupados por unidade de federação do Brasil.

Tabela 12. Propriedades rurais com pecuária que implantaram uso energético de biogás de biodigestores entre 2010 e 2019 no Brasil.

Estados	Quantidade de propriedades	Volume de dejetos tratados (m ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás produzido (m ³ ano ⁻¹)	Mitigação de emissões (tCO ₂ eq ano ⁻¹)
DF	2	121.183	1.371.983	584.075
ES	2	68.661	915.107	945.494
GO	24	770.675	9.729.244	15.038.764
MG	160	5.037.775	63.377.790	69.879.985
MS	11	584.084	6.145.277	9.439.691
MT	23	3.295.192	39.422.159	20.746.886
PR	56	1.348.051	18.880.172	16.848.431
RS	11	156.106	2.221.614	1.380.474
SC	25	1.194.491	14.195.126	8.635.035
SP	20	483.319	8.369.185	10.264.604
TOTAL	334	13.059.538	164.627.656	153.763.438

Fonte: Elaboração própria.

Para acompanhar a evolução anual da mitigação de emissões pelo uso de biodigestores, na Tabela 13 os mesmos dados são apresentados por ano e

acumulados. Assim, estima-se que foram tratados 35.412.997 m³ de dejetos entre 2010 e 2019 no Brasil por meio de biodigestão.

Tabela 13. Estimativas acumuladas por ano – Biodigestores instalados entre 2010 a 2019 no Brasil.

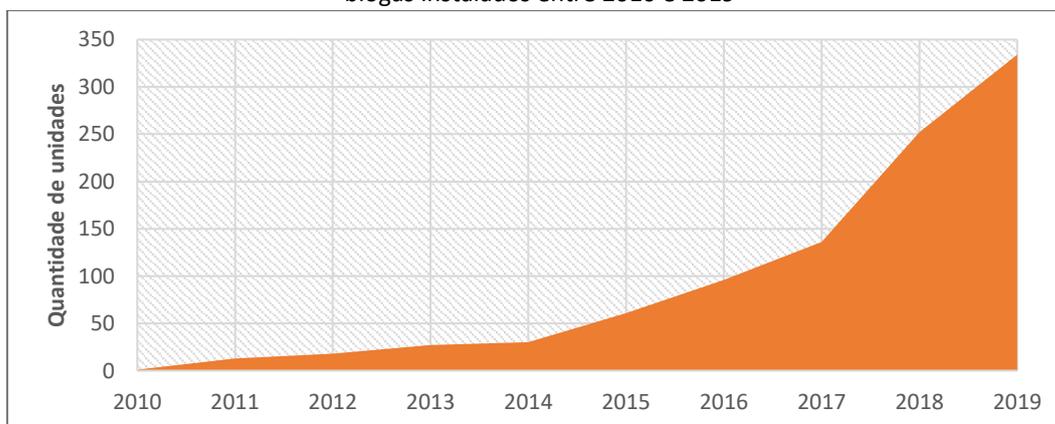
Ano	Quantidade de biodigestores com uso do biogás instalados entre 2010 e 2019		Dejetos tratados em biodigestores com uso do biogás instalados entre 2010 e 2019 (m ³)		Biogás biodigestores com uso energético do biogás instalados entre 2010 e 2019 (m ³)		Emissões de GEE mitigadas em biodigestores com uso do biogás instalados entre 2010 e 2019 (tCO ₂ eq)	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
2010	1	1	14.613	14.613	165.440	165.440	419	419
2011	12	13	542.861	557.474	7.076.417	7.241.857	9.732.453	9.732.871
2012	18	18	598.992	1.156.465	7.980.476	15.222.332	9.737.709	19.470.580
2013	9	27	839.133	1.995.598	12.449.376	27.671.709	15.137.583	34.608.163
2014	30	30	873.909	2.869.507	12.918.960	40.590.669	15.474.947	50.083.110
2015	31	61	2.862.103	5.731.610	36.736.026	77.326.695	23.265.112	73.348.222
2016	96	96	3.587.790	9.319.400	47.492.475	124.819.171	31.838.376	105.186.598
2017	40	136	4.687.331	14.006.731	62.342.033	187.161.204	42.385.114	147.571.712
2018	252	252	8.612.011	22.618.741	109.210.958	296.372.162	94.018.518	241.590.230
2019	82	334	12.794.255	35.412.997	160.996.904	457.369.066	149.494.955	391.085.184

Fonte: Elaboração própria.

Os dados da Tabela 13 são apresentados a seguir em gráficos para demonstrar o crescimento do uso de biodigestores como sistemas de tratamento de dejetos no Brasil entre 2010 e 2019, período de execução do Plano ABC pelo MAPA.

O crescimento da quantidade de unidades de biodigestão com aproveitamento energético de biogás na pecuária instaladas entre 2010 e 2019 são apresentados na Figura 8.

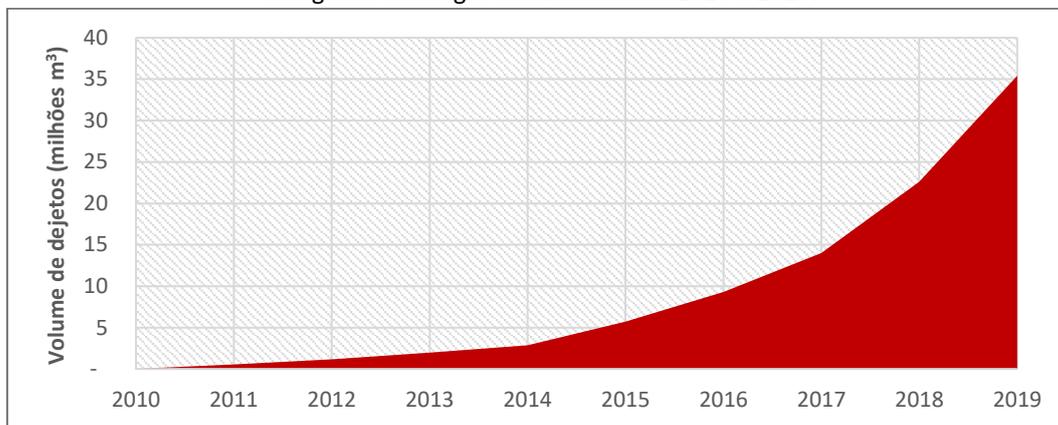
Figura 8. Quantidade de biodigestores para tratamento de dejetos da pecuária e com uso energético do biogás instalados entre 2010 e 2019



Fonte: Elaboração própria.

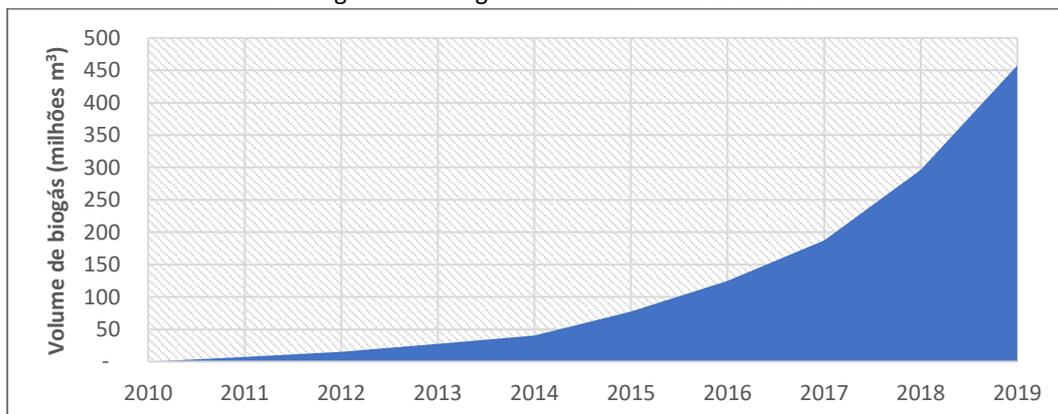
Na Figura 9 é apresentado o crescimento do volume de dejetos tratados e na Figura 10 o volume de biogás produzido nesse processo.

Figura 9. Volume de dejetos tratados em biodigestores para tratamento de dejetos da pecuária com uso energético do biogás instalados entre 2010 e 2019.



Fonte: Elaboração própria.

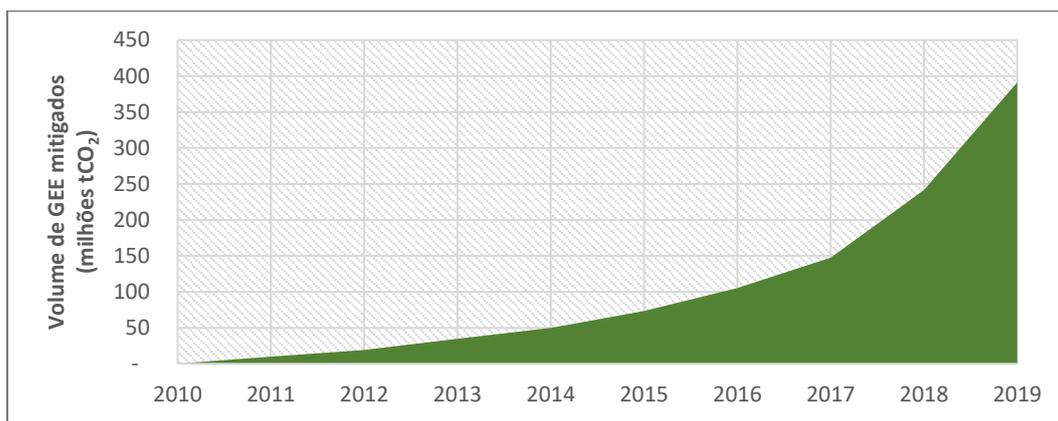
Figura 10. Volume de biogás produzido em biodigestores para tratamento de dejetos da pecuária com uso energético do biogás instalados entre 2010 e 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 11 é apresentado o volume de GEE mitigados por meio dos biodigestores instalados entre 2010 e 2019 no Brasil para pecuária.

Figura 11. Volume de GEE mitigados em biodigestores para tratamento de dejetos da pecuária com uso energético do biogás instalados entre 2010 e 2019.



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar que o crescimento do uso de biodigestores foi mais acentuado a partir de 2017, provavelmente devido a vários fatores que incentivaram o uso da tecnologia de biodigestão somados às ações do Plano ABC do Governo Federal desenvolvidas desde 2010.

3.2. Dados consolidados – Compostagem

No caso do levantamento de dados de compostagem utilizada como sistemas de tratamento de dejetos brutos da pecuária, houve dificuldade de obtenção de dados do mercado e ainda mais de dados detalhados de plantas em operação.

Porém, com a colaboração de uma das empresas que atuam no setor, foi possível obter o dado de que já instalaram 198 equipamentos no Brasil, com capacidade de tratamento diário de dejetos produzidos por 1.500 suínos por equipamento. Disto resulta que estariam sendo tratados dejetos de 297.000 suínos por dia por esses equipamentos por ano.

Com base nesses dados e na metodologia apresentada anteriormente, pode-se estimar que a quantidade de dejetos tratados por essa tecnologia anualmente é de 2.926.935 m³ ano⁻¹. Da mesma forma que no levantamento de dados de biodigestão, como esses dados não continham a data de início da operação, fixou-se a data como a de levantamento dos dados, ou seja, 2019.

Tabela 14. Dados consolidados sobre compostagem

Categoria de animal	Volume de dejetos tratados (m³ ano⁻¹)	Mitigação de emissões (tCO₂eq ano⁻¹)
Suínos	2.926.935	128.432,51

Em função da dificuldade enfrentada na obtenção de dados sobre compostagem no país, os números podem ter grandes imprecisões, talvez resultando em super ou subestimação dos dados.

3.3. Dados consolidados para biodigestão e compostagem

Com base nos dados apresentados no item 3.1 e 3.2, é possível estimar que 38.339.932 m³ de dejetos da pecuária foram tratados entre 2010 e 2019 no Brasil, sendo 92,4% por meio da tecnologia de biodigestão e 7,6% de compostagem.

Então, sendo a meta de tratamento do Governo Federal era de 4,4 milhões de m³ de dejetos animais e contribuir com a mitigação de 6,9 milhões de tCO₂eq., pode-se estimar que a meta foi cumprida em 8,7 vezes.

3.4. Fontes de financiamento

Pela dificuldade de obter dados da fonte dos recursos utilizados pelos produtores para investir nos sistemas de tratamento, optou-se por analisar as amostras encontradas e dados disponibilizados em conversas com atores do setor. Assim, concluiu-se que a grande maioria dos projetos são financiados, pois normalmente os produtores não têm capital próprio para investimento e há linhas de financiamento acessíveis para a melhoria do sistema de tratamento dos dejetos, como o Programa ABC, InovaAgro e Pronaf.

Em alguns casos, o sistema de tratamento e/ou de geração de energia é financiado juntamente com os investimentos de construção ou expansão da atividade pecuária, dificultando o acesso à dados específicos.

Uma das fontes de informações amostral encontradas foi proveniente do projeto GEF/UNIDO, parceria realizada pelo MAPA ao longo do desenvolvimento dessa

consultoria. Os dados indicam que da amostra de 25 propriedades com biodigestão analisadas, 19 utilizaram recursos de financiamento bancário, ou seja, 76%.

Outra amostra analisada foi dos dados de financiamento do Programa ABC fornecidos pelo Banco Central para o MAPA periodicamente. Na Tabela 16 encontram-se a quantidade de financiamentos do Plano ABC para tratamento de dejetos de animais (TDA), entre os anos de 2013 a 2019.

Tabela 16. Financiamentos do Programa ABC para Tratamento de Dejetos de Animais por estado.

Estado	Quantidade de financiamentos
DF	1
ES	1
GO	1
MT	2
MG	20
PR	13
RS	3
SC	13
SP	9
TOTAL	63

Destaca-se que devido aos dados fornecidos pelo Banco Central não indicarem o nome do produtor ou propriedade financiada, não foi possível realizar o cruzamento desses dados com os dados coletados ao longo do levantamento.

Considerando que o levantamento indica que 532 sistemas de tratamento foram instalados desde 2010 (biodigestão e compostagem), pode-se concluir que 11,8% deles foram financiados pelo Programa ABC. A justificativa para esse reduzido número pode estar em disponibilidade de outros financiamentos tão ou mais atrativos quanto o do Programa ABC; baixa disponibilidade de recursos do Programa no momento do financiamento; e especialmente solicitação de recursos para o sistema de tratamento junto a outras melhorias na atividade pecuária, ou seja, em linhas de financiamento mais abrangentes.

De qualquer forma, como as informações indicam que a maioria dos sistemas vem sendo financiados por linhas relacionados à agricultura, pode-se concluir que, a

princípio, o Estado vem oferecendo recursos para financiar o tratamento de dejetos da pecuária.

3.5. O sistema TDA-Map

Um dos resultados desse diagnóstico é uma ferramenta webmap para apresentar online os dados de sistemas de tratamento de dejetos da pecuária existentes no Brasil e permitir a atualização das informações em futuros levantamentos. Essa ferramenta chama-se Mapa dos Sistemas de Tratamento de Dejetos da Pecuária do Brasil – TDA-Map e foi desenvolvida em parceria com o CIBiogás.

A arquitetura do sistema permite a apresentação dos dados das unidades de produção e uso energético de biogás e compostagem de forma organizada e a pesquisa com filtros de indicadores. É possível, ainda, clicando sobre o ícone da unidade no mapa, visualizar um resumo dos dados, como:

- dados da planta (setor, porte, início de operação e a situação);
- a tecnologia de tratamento dos dejetos (biodigestão ou compostagem);
- o uso energético do biogás, os dados de produção (fonte do substrato, volume diário e anual dos dejetos, produção diária e anual do biogás e as emissões de GEE evitados).

No mapa é possível aproximar e afastar a imagem, tendo uma visão mais detalhada ou mais geral do cadastro. O mapa utilizado pode ser o mapa político ou o mosaico de imagens de satélite, ambos da ferramenta gratuita Bing da Microsoft.

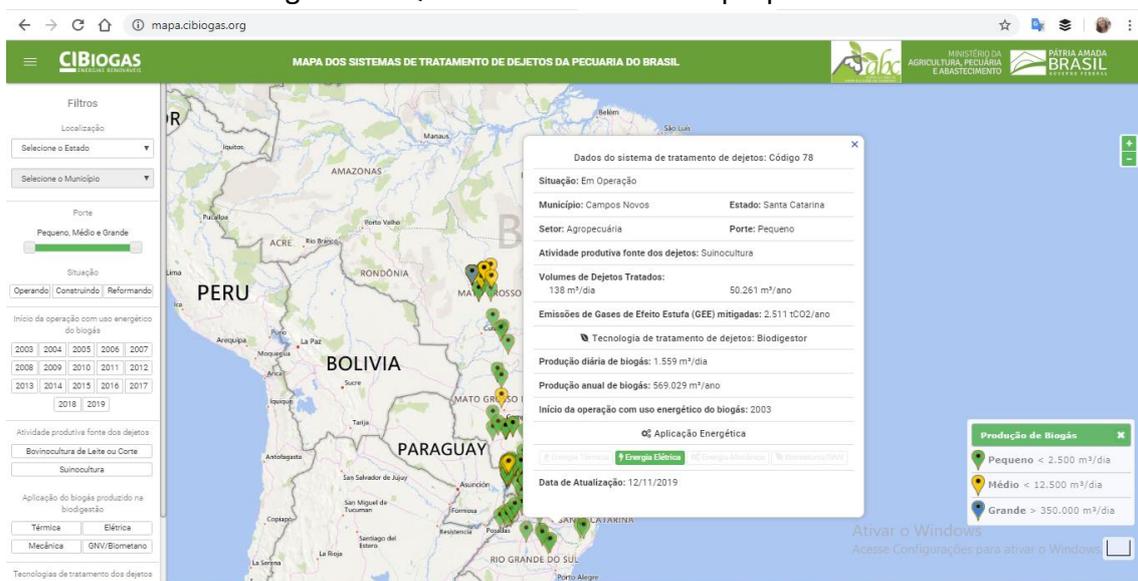
Nas capturas de tela abaixo podem ser visualizados o layout do sistema e as informações contidas.

Figura 12. Aparência da página inicial do *Mapa dos Sistemas de Tratamento de Dejetos da Pecuária do Brasil*.



A seguir a captura de tela mostra o que acontece quando o ícone da unidade do mapa é clicado, com apresentação de um resumo dos dados da planta.

Figura 13. Quadro resumo de cada propriedade.



Além disso, é possível gerar relatório dos dados consolidados, conforme filtro escolhido (lado esquerdo da tela, grifado em verde), podendo aparecer em tela (Figura 3) e em arquivo PDF (Figura 4).

Figura 14. Relatório na tela dos dados consolidados conforme filtros escolhidos na barra lateral esquerda.

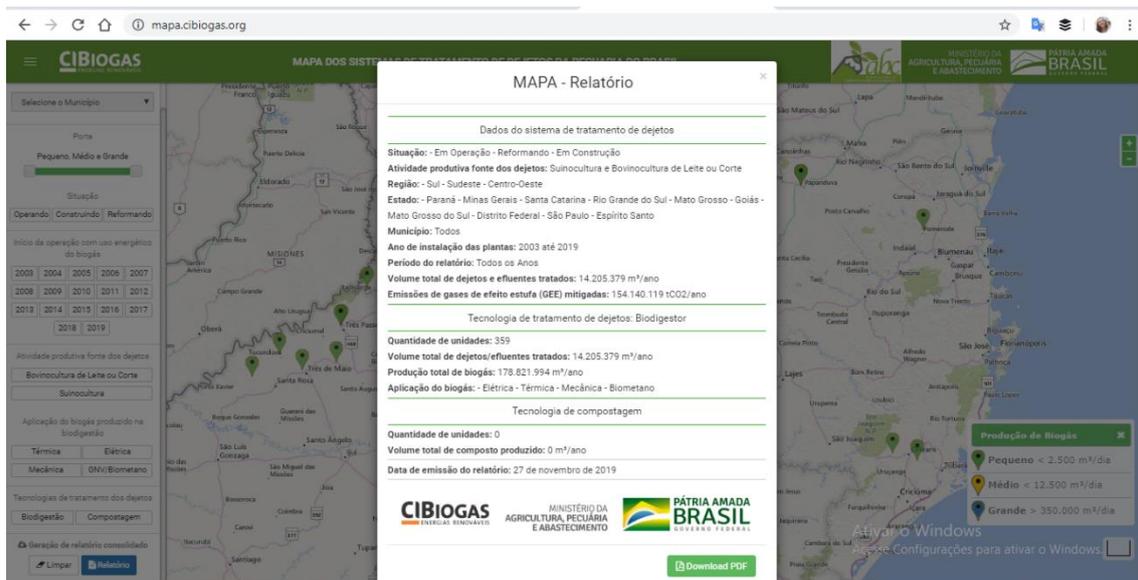


Figura 15. Relatório em arquivo PDF dos dados consolidados conforme filtros escolhidos na barra lateral esquerda.



Para acessar o sistema aberto e online o endereço é <https://mapa.cibiogas.org/>.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CONCLUSÕES

4. CONCLUSÕES

Nos últimos 10 anos, de 2010 até o momento (2019) foram tratados em torno de 38,3 milhões de m³ de dejetos da pecuária, estimativa realizada com base nos dados do diagnóstico. Considerando-se a meta do Governo Brasileiro de tratar 4,4 milhões de m³ de dejetos nesse período, o país teve sucesso e superou a meta em 8,7 vezes.

Da mesma forma, a meta de mitigação de emissões de 6,9 milhões de tCO₂eq foi cumprida em 56,7 vezes, considerando que a estimativa desse diagnóstico indica que foram mitigadas 391,2 milhões de tCO₂eq entre 2010 e 2019.

No tratamento de dejetos de animais (bovinos e suínos) a biodigestão é mais utilizada no país do que a compostagem, com mais de 90% do volume de dejetos tratado.

É importante considerar que os sistemas de tratamento de dejetos instalados precisam ser operados de forma adequada e eficiente, especialmente os de queima de biogás. Isso garante a real e contínua mitigação das emissões de GEE do país no longo prazo. Assim, é imprescindível que os produtores de suínos e bovinos tenham acesso à informação e conhecimento para implantar os sistemas de tratamento e para operá-los eficientemente.

Destaca-se que a biodigestão é um sistema de tratamento de dejetos que gera muito benefícios adicionais ao Brasil, como a geração de energia elétrica e térmica renovável e substituição de fontes fósseis e a substituição de fertilizantes químicos. Além disso, melhora a renda dos produtores através da redução de custos, quando o biogás é aplicado na geração de energia. Destaca-se que vem se observando avanço no uso da biodigestão para tratamento pela possibilidade existente de injeção de energia elétrica na rede pela GD (Resolução Aneel 482/2012). Por isso, é necessário que o incentivo à biodigestão seja visto e planejado de forma integrada pelos diversos órgãos de governo e pelas empresas, em seus benefícios e particularidades.

No caso da compostagem, a dificuldade de obtenção de dados pode indicar o baixo crescimento do uso da tecnologia no setor pecuário, ou a necessidade de um

esforço ainda maior de integração com fornecedores e associações de produtores para coleta de dados de forma presencial futuramente.

Destaca-se a cooperação técnica com o CIBiogás para uso da base de dados da empresa inicialmente e desenvolvimento do sistema TDA-Map para apresentação dos dados detalhados. Além disso, foi essencial a colaboração das empresas que vendem e instalam sistemas de biodigestão e compostagem, além dos fornecedores de motogeradores para geração de energia elétrica a partir do biogás, associações e instituições de pesquisa citados na Metodologia desse documento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIOGÁSFERT. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Documento 196. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018.

CIBIOGÁS. Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no oeste do paraná. Nota Técnica 001/2018. Foz do Iguaçu, PR, 2018.

FEHRENBACH, H.; GIEGRICH, J.; REINHARDT, G.; SAYER, U.; GRETZ, M.; LANJE, K.; SCHMITZ, J. Kriterien einer nachhaltigen Bioenergienutzung im globalen Maßstab. UBA-Forschungsbericht, nr. 206 41 112. Disponível em:<
[http://www.ifeu.de/nachhaltigkeit/pdf/summary %20criteria %20sustainable %20biomass DE.pdf](http://www.ifeu.de/nachhaltigkeit/pdf/summary%20criteria%20sustainable%20biomass%20DE.pdf)

IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina). Instrução Normativa Nº 11: Suinocultura. Florianópolis, SC, 2014.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. 87p.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra, Suíça, 1995. Disponível em:<
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/06/2nd-assessment-en.pdf>>.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Disponível em: <
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf>.

MARIANI, L. Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil. Tese de doutorado apresentada para o Programa de Pós-graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Unicamp. Campinas: 2018.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering, v.23, n.3, p.398-626, 2003.

SARDÁ, L. G. et al. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, Sept. 2010.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. AMS-III.F.: Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass - versão 12. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/NZ83KB7YHBIA7HL2U1PCNAOCHPUQYX>

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. AMS-III.D.: Methane recovery in animal manure management systems – versão 21. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/H9DVSB24O7GEZQYLYNWUX23YS6G4RC>

