

GESTÃO DE DEJETOS DA
PRODUÇÃO ANIMAL PARA

MITIGAÇÃO DO METANO:

A CONTRIBUIÇÃO DO
BRASIL PARA A AÇÃO
CLIMÁTICA GLOBAL

Sobre este guia

Este guia foi elaborado a partir da experiência brasileira em mitigação do metano na pecuária, com o objetivo de apoiar países do Sul Global para a construção de estratégias nacionais de baixo carbono.

Coordenação Técnica

Alessandro Sanches Pereira, i17

Deisi Cristina Tapparo, i17

Autores

Heloisa Campeão Rodrigues, i17

Gladis Maria Backes Bühring, i17

Larissa Boing, i17

Crislaine Florzino Flor, i17

Deisi Cristina Tapparo, i17

Alessandro Sanches Pereira, i17

Contribuição técnica

Instituto 17

Camila Ester Hollas, Daniela Candido, Guilherme Novaes Silva Pinto, Jessica Yuki de Lima Mito, Karina Guedes Cubas Amaral, Larissa Boing, Leidiane Ferronato Mariani, Liliane Klemann, Marcelo Henrique Manzke Brandt, Matheus Bueno Patrício, Renata Dahmer, Waleska de Gaspari Kronitzky, William Michelin.

Ministério da Agricultura e Pecuária

Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil, Kleber Villela Araújo, Larissa Arnhold Graminho, Marcio Ribeiro da Silva, Paulo Alexandre Meneses Mendes; Ricardo Kobal Raski, Rodrigo Moreira Dantas, Roberto Soares Rocha, Sidney Almeida Filgueira de Medeiros, Tiago Augusto da Silva.

Embrapa Suínos e Aves

Airton Kunz, Ana Claudia Lazaroto, Eliane Cristine Soares, Evandro Carlos Barros, Fabiane Goldschmidt Antes, Geordano Dalmedico, Martha Mayumi Higarashi, Ricardo Luis Radis Steinmetz.

Revisão técnica

Airton Kunz, Embrapa Suínos e Aves.

Marina Bortoletti, *Climate and Clean Air Coalition*.

Raphael Esteves, *Climate and Clean Air Coalition*.

Ricardo Kobal Raski, Ministério da Agricultura e Pecuária.

Sidney Almeida Filgueira de Medeiros, Ministério da Agricultura e Pecuária.

Coordenação editorial

Jessica Yuki de Lima Mito - Coordenação editorial, i17.

Claudete Debértolis Ribeiro - Revisão editorial.

Marcelo Aramis - Projeto gráfico e editoração, Aramis Forma e Conteúdo.

Agradecimentos institucionais

Este guia contou com o apoio e parceria de:

- Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA)
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)
- *Climate and Clean Air Coalition* (CCAC)

Nota institucional

O Instituto 17 é um *think tank* do Sul Global dedicado à inovação em políticas públicas para o clima, a energia e o desenvolvimento sustentável. Atua na interface entre ciência, sociedade e governos, de modo a transformar conhecimento técnico em soluções práticas para o aceleramento do processo de transição para economias de baixo carbono e resilientes em toda a região.

Fontes de financiamento

Este guia foi produzido com apoio da *Climate and Clean Air Coalition* (CCAC), no âmbito do Projeto AGR-001-22.

Informações Legais

Essa publicação está sob a licença *Creative Commons* Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelos autores. Porém, nem as instituições ou os autores podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante de eventuais erros, imprecisões ou omissões de informações nele presentes.

A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o Instituto 17 seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito do Instituto 17.

Ficha catalográfica:

Instituto 17 Gestão de Dejetos da Produção Animal para Mitigação do Metano: A contribuição do Brasil para a ação climática global. Relatório técnico 03-2025. São Paulo/SP: Instituto 17, 2025.

126 p. il. color.

ISBN 978-65-989522-1-1

1. Bioenergia; 2. Plano ABC+ 3. Biogás. 4. Transição energética.
5. Mudanças climáticas. 6. Desenvolvimento sustentável



Instituto 17

GESTÃO DE DEJETOS DA
PRODUÇÃO ANIMAL PARA

MITIGAÇÃO DO METANO:

A CONTRIBUIÇÃO DO
BRASIL PARA A AÇÃO
CLIMÁTICA GLOBAL

2025

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE QUADROS DESTAQUE	11
LISTA DE SIGLAS	12
LISTA DE UNIDADES	13
APRESENTAÇÃO	14
PREFÁCIO	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo do guia	16
1.2 Como ler e usar este guia	17
Checklist do Capítulo 1	19
2 EMISSÕES GLOBAIS DA PECUÁRIA E O PAPEL DO MANEJO DE DEJETOS	20
2.1 Por que o metano é prioridade?	21
2.2 Evolução e distribuição das emissões	23
2.2.1 Diferenças regionais e por espécies	23
2.3 Implicações para a ação global	26
Checklist do Capítulo 2	27
3 MAPEAMENTO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL E IDENTIFICAÇÃO DE PRIORIDADES	28
3.1 Quais cadeias produtivas são mais representativas no país?	30
3.2 Quais são os sistemas de produção predominantes?	34
3.2.1 Exemplos de sistemas mais tecnificados	35
3.3 Como são gerados os dejetos nos sistemas intensivos?	38
3.3.1 Aspectos técnicos-chave	39
3.3.2 Intervalos de geração de dejetos no Brasil	39
3.3.3 Diferenças por sistema produtivo	40
3.4 Quais tecnologias já existem ou são viáveis?	41
3.5 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos	46
Checklist do Capítulo 3	50

4 PROJEÇÃO ESTRATÉGICA: DIMENSIONANDO O VOLUME DE DEJETOS NO TERRITÓRIO NACIONAL E SEU POTENCIAL ENERGÉTICO	51
4.1 Existem dados atualizados e confiáveis sobre o rebanho nacional?	53
4.2 Os coeficientes zootécnicos de geração de dejetos e biogás são compatíveis com a realidade nacional?	55
4.3 A projeção está territorializada para orientar políticas públicas regionais?	59
4.4 Quais formas de energia podem ser geradas a partir dos dejetos pecuários?	64
4.5 Além de viabilidade técnica, a tecnologia apresenta viabilidade econômica?	69
4.6 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos	75
Checklist do Capítulo 4	80
5 COMO ADAPTAR SOLUÇÕES DE MANEJO ÀS REALIDADES LOCAIS	81
5.1 Por que adaptar as tecnologias às realidades locais?	83
5.2 Como selecionar Unidades de Referência Tecnológica (URTs)?	85
5.3 Como as URTs contribuem para a escalabilidade e a disseminação de conhecimento?	87
5.4 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos	91
Checklist do Capítulo 5	94
6 DIAGNÓSTICO DE BARREIRAS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO	95
6.1 Por que estudar barreiras é fundamental?	96
6.2 Como realizar um estudo de barreiras?	98
6.3 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos	102
Checklist do Capítulo 6	106
7 PROMOÇÃO DA IGUALDADE DE GÊNERO E DA INCLUSÃO SOCIAL	107
7.1 Por que integrar gênero e inclusão social em projetos de mitigação de metano?	109
7.2 Como garantir que as equipes estejam preparadas para integrar GESI?	113
7.3 Quais os passos para integrar GESI aos projetos de mitigação?	115
Checklist do Capítulo 7	119
8 PRÓXIMOS PASSOS PARA REPLICAÇÃO	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
APÊNDICE	126
Glossário de sistemas de manejo de dejetos	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição global das emissões de metano por dejetos animais em 2022 por ktCH ₄	24
Figura 2. Participação das categorias animais nas emissões de metano do manejo de dejetos em 2022	24
Figura 3. Ranking dos 10 países com maiores emissões de metano e respectivas categorias animais em 2022 por ktCH ₄	25
Figura 4. Distribuição das cadeias animais no Brasil	31
Figura 5. Sistemas de produção aplicados na avicultura de postura	35
Figura 6. Sistemas de produção da bovinocultura de corte	35
Figura 7. Sistemas de produção intensivos da bovinocultura de leite	36
Figura 8. Sistemas de criação e produção de suínos	37
Figura 9. Rotas tecnológicas de manejo de dejetos pecuários: alternativas às práticas mais emissoras	44
Figura 10. Potencial de produção de biogás na pecuária brasileira	61
Figura 11. Potencial territorial de biogás na suinocultura	62
Figura 12. Potencial territorial de biogás da avicultura de postura	63
Figura 13. Potencial territorial de biogás da bovinocultura: a) leite e b) corte	63
Figura 14. Localização das URTs consideradas no contexto brasileiro	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Vantagens e limitações do mapeamento de sistemas de produção animal	47
Quadro 2. Vantagens e limitações da estimativa do potencial energético de dejetos pecuários	76
Quadro 3. Vantagens, limitações e recomendações para replicabilidade das URTs	91
Quadro 4. Resumo das principais metodologias para estudo de barreiras	100
Quadro 5. Vantagens, limitações e recomendações para replicação de estudos de barreiras	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Intervalos de geração de dejetos por categoria animal na pecuária brasileira	39
Tabela 2: Fatores de emissão de metano (gCH_4/kgSV) segundo a técnica de manejo e a condição climática	43
Tabela 3: Critérios de corte por sistema produtivo para estimativa do potencial de biogás	54
Tabela 4: Fatores de geração de dejetos e de produção de biogás na pecuária brasileira	58
Tabela 5: Condições que influenciam a viabilidade econômica de projetos de biogás	70

LISTA DE QUADROS-DESTAQUE

Quadro-Destaque 1. Poluentes climáticos de vida curta	22
Quadro-Destaque 2. SGAS no Brasil: padronização de dados para gestão ambiental na suinocultura	32
Quadro-Destaque 3. O compost barn reduz emissões de GEE?	36
Quadro-Destaque 4. Por que queimadores abertos podem piorar as emissões?	68
Quadro-Destaque 5. Além das URTs: tecnologias sociais	90
Quadro-Destaque 6. Bioidigestor de baixo custo	112
Quadro-Destaque 7. Rede Mulheres do Biogás	118

LISTA DE SIGLAS

BC	Carbono Negro
BEP	Programa de Energia para o Brasil
BLC	Biodigestor de Lagoa Coberta
CAPEX	Despesas de Capital
CBio	Crédito de Descarbonização
CCAC	<i>Climate and Clean Air Coalition</i>
CH₄	Metano
C/N	Carbono/Nitrogênio
CNAE	Classificação Nacional das Atividades Econômicas
CO₂	Dióxido de carbono
CSTR	<i>Continuous Stirred-tank Reactor</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEE	<i>Gases causadores do Efeito Estufa</i>
GESI	<i>Gender Equality and Social Inclusion</i>
GMI	Global Methane Initiative
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
K	Potássio
LCOB	Custo Nivelado do Biogás
LCOE	Custo Nivelado de Energia
LDC	<i>Least Developed Countries</i>
MCF	Fator de Conversão de Metano
N	Nitrogênio
N₂O	Óxido nitroso
O₃	Ozônio troposférico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEX	Despesas operacionais
P	Fósforo
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PCVC	Poluente Climático de Vida Curta
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
ROI	Retorno sobre o Investimento
SEEG	Sistema de Estimativas de Gases do Efeito Estufa
SGAS	Sistema de Gestão Ambiental da Suinocultura
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UC	Unidade de Creche
UPD	Unidade Produtora de Desmamados
UPL	Unidade Produtora de Leitões
URT	Unidade de Referência Tecnológica
UT	Unidade de Terminação
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE UNIDADES

%	Percentual
°C	Graus Celsius
gCH₄	Grama de metano
kg	Quilograma
kgCH₄	Quilograma de metano
kgSV	Quilograma de Sólidos Voláteis
kt	Quilotonelada
ktCH₄	Quilotonelada de metano
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro
m³	Metro cúbico
Mt	Megatonelada
MtCH₄	Megatonelada de metano
MWh	Megawatt-hora
Nm³	Metro cúbico normal

APRESENTAÇÃO



A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) busca conciliar a competitividade de seus setores da economia com a redução de emissões de gases de efeito estufa e a construção de resiliência aos efeitos das mudanças climáticas. No âmbito da PNMC, os Planos ABC (2011-2020) e ABC+ (2020-2030) representam os planos setoriais para enfrentamento da mudança do clima na agropecuária brasileira. Estes englobam tecnologias produtivas validadas para adoção em larga escala, que promovem ganhos econômicos para o produtor rural de forma sinérgica com a redução de emissões de gases de efeitos estufa (GEEs). Entre as práticas priorizadas, o manejo de resíduos da produção animal, ocupa lugar de destaque, pois permite transformar um passivo ambiental em fonte de energia e biofertilizante.

A *Climate and Clean Air Coalition (CCAC)* também reitera a importância da mitigação do metano como uma das formas mais custo-efetivas para desacelerar o aquecimento global no curto prazo. Nesse contexto, o setor pecuário está diante tanto de um desafio quanto uma oportunidade: reduzir emissões de um poluente climático de vida curta e, ao mesmo tempo, gerar cobenefícios sociais, ambientais e econômicos.

Este guia foi elaborado com base na experiência brasileira e tem como **propósito apoiar países** na construção de estratégias nacionais de mitigação do metano na pecuária. Seu alcance é **global e adaptativo**: mais do que propor soluções únicas, organiza perguntas-chave, metodologias e exemplos que podem ser ajustados a diferentes realidades produtivas, sociais e institucionais. Assim, pretende servir como referência prática para gestores públicos, formuladores de políticas, técnicos, pesquisadores e instituições financeiras interessadas em promover soluções econômica e ambientalmente sustentáveis, escaláveis e inclusivas.

Ao reunir ciência, experiência de campo e políticas públicas, este guia busca contribuir para que outros países avancem em direção a sistemas agropecuários mais sustentáveis, produtivos e resilientes. Trata-se de um convite para transformar diagnósticos em ação climática concreta, alinhada aos compromissos internacionais de desenvolvimento sustentável, transição energética justa e emergência climática.

O Brasil apresenta esta contribuição como demonstração de que é possível aliar produção de alimentos, inclusão social, mitigação de emissões e adaptação climática. Esperamos que este material inspire governos e instituições de diferentes países a liderarem, de forma cada vez mais colaborativa, a transição para uma pecuária de baixo carbono e para um futuro climático mais seguro e justo para todos.

Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil
Diretor de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação
Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA



PREFÁCIO



A mitigação do metano no setor pecuário é uma das formas mais rápidas e custo-efetivas de conter o aquecimento global. Além de reduzir emissões de um poluente climático de vida curta, o manejo adequado dos dejetos animais oferece oportunidades concretas de geração de energia renovável, de substituição de fertilizantes químicos, de melhoria da qualidade do ar e de fortalecimento da segurança alimentar. Esse conjunto de benefícios coloca o tema no centro da agenda climática, especialmente para países do Sul Global, onde a pecuária desempenha papel estratégico tanto na economia quanto na subsistência de milhões de famílias.

Foi a partir desse reconhecimento que nasceu este guia. Seu propósito é oferecer um **roteiro prático e replicável** para apoiar governos, técnicos, produtores e instituições financeiras na construção de estratégias nacionais de mitigação do metano na pecuária. Inspirado na experiência brasileira, o guia organiza perguntas-chave, metodologias e exemplos que ajudam a transformar diagnósticos em políticas públicas robustas e escaláveis. Mais do que um manual técnico, trata-se de um material pensado para traduzir conhecimento em ação, articulando inovação tecnológica, políticas inclusivas e viabilidade econômica.

O alcance esperado por este trabalho é **global e adaptativo**. O guia não pretende oferecer uma solução única, mas um conjunto de princípios, etapas e ferramentas que podem ser ajustados conforme a realidade produtiva, social e institucional de cada país. Em contextos de sistemas intensivos ou extensivos, de produtores familiares ou agroindústrias, a estrutura aqui apresentada pode orientar desde programas nacionais até iniciativas locais de mitigação, sempre com o objetivo de acelerar resultados climáticos, gerar cobenefícios econômicos e promover inclusão social.

O público a quem se destina este guia é amplo e estratégico. Ele foi elaborado para **formuladores de políticas públicas, gestores nacionais e subnacionais, técnicos de instituições públicas e privadas, pesquisadores, extensionistas e organizações da sociedade civil**. Dirige-se, também, a **instituições financeiras e de cooperação internacional**, que encontrarão, aqui, critérios e exemplos para apoiar soluções escaláveis e alinhadas a compromissos globais, como o **Acordo de Paris**, os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** e o **Global Methane Pledge**.

Ao reunir ciência, prática e experiência, este guia busca não apenas orientar, mas, também, inspirar. Sua mensagem central é clara: **a mitigação do metano na pecuária é uma oportunidade imediata de ação climática, capaz de gerar impactos positivos para as pessoas, para os territórios e para o planeta.**

1 INTRODUÇÃO

A pecuária tem papel estratégico tanto na economia de países desenvolvidos como em desenvolvimento, pois viabiliza empreendimentos econômicos, o comércio interno e externo, a geração de empregos e renda, no campo e na cidade, e a segurança alimentar com proteína de boa qualidade. Com o crescimento populacional e a urbanização acelerada, a demanda por alimentos continuará em alta: estima-se que o consumo global de proteína animal aumente cerca de 21% até 2050 [1].

Esse avanço, no entanto, traz desafios ambientais críticos. A pecuária é uma das principais fontes antropogênicas de metano¹ (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e gás carbônico, gases de efeito estufa (GEE) com forte impacto climático negativo sobre a vida na Terra. Reduzir as emissões não associadas ao CO₂ tornou-se prioridade nos esforços globais de mitigação. Nesse contexto, o **manejo de dejetos da produção animal** é uma frente estratégica: permite reduzir emissões rapidamente, transformar resíduos em biofertilizantes e energia renovável e gerar benefícios econômicos e sociais diretos.

Experiências nacionais, como a do Brasil, mostram que o manejo adequado dos dejetos animais pode transformar um passivo ambiental em fonte de energia limpa, fertilizantes e inclusão produtiva. A elaboração de políticas climáticas e energéticas, entre outras, deve contar com estatísticas confiáveis para o embasamento adequado. As seções seguintes mostram como transformar essa premissa em diagnósticos globais, nacionais e regionais, que sustentam decisões técnicas e políticas.

1.1 Objetivo do guia

Este guia tem como objetivo apoiar países, especialmente do Sul Global, para desenvolver estratégias nacionais de mitigação do metano na pecuária. A partir da experiência do Brasil, o documento mostra como mapear cadeias e sistemas produtivos, selecionar tecnologias viáveis e transformar diagnósticos em ferramentas de apoio para a elaboração de políticas públicas. Sua proposta é oferecer um **caminho replicável e adaptável**, combinando rigor técnico com linguagem acessível para gestores públicos, técnicos, produtores e formuladores de políticas. Este guia foi elaborado para gestores públicos, formuladores de políticas e atores estratégicos. Seu propósito é:

- Organizar perguntas-chave, reflexões e exemplos.
- Apoiar a compreensão sobre sistemas de produção animal e a geração de dejetos.
- Apresentar soluções técnicas, institucionais e políticas disponíveis para sua gestão.

¹ O CH₄ tem um potencial de aquecimento global cerca de 28 vezes maior que o CO₂ em 100 anos.

Mais do que compilar inventários, o guia se estrutura como um **roteiro prático**, inspirado na experiência brasileira e pensado para ser adaptado por outros países do Sul Global.

1.2 Como ler e usar este guia

Este documento deve ser entendido como um ponto de partida para o desenvolvimento de estratégias nacionais e regionais para o manejo de dejetos pecuários. Ao articular dados, tecnologias, políticas e exemplos do Brasil, oferece subsídios para que cada país adapte soluções às suas próprias condições, de modo a promover:

- Mitigação climática;
- Ganhos econômicos;
- Inclusão social.

O guia foi pensado para diferentes perfis de leitores. Você pode usá-lo como referência técnica completa ou como roteiro prático de aplicação rápida.

Para tornar a leitura mais clara e aplicável, este guia adota algumas convenções. Para facilitar a leitura e o uso prático, o guia adota uma estrutura visual padronizada. Cada capítulo possui uma cor, o que ajuda a identificar os temas. A seguir, apresenta-se a linguagem visual utilizada ao longo do guia:

- **Bullet points (•)**

São usados para listar ações, exemplos ou fatores que não têm ordem específica. Por exemplo:

- **Fatores a considerar;**
- **Tipos de sistemas produtivos;**
- **Opções de tecnologia.**

MENSAGEM-CHAVE

As mensagens-chave sintetizam os principais aprendizados de cada capítulo em uma linguagem direta e acessível. Elas podem ser lidas isoladamente ou servir como um roteiro resumido do guia.

EXEMPLO PRÁTICO

Os exemplos práticos descrevem experiências reais ou simuladas, principalmente baseadas na trajetória brasileira de manejo de dejetos pecuários. Servem para ilustrar como conceitos metodológicos podem ser aplicados no campo, mas devem ser sempre adaptados às condições produtivas, climáticas e institucionais de cada país.

QUADRO-DESTAQUE

Os quadros destaque aprofundam exemplos, estudos de caso, tecnologias sociais ou práticas internacionais. Servem como material de apoio, trazendo lições ilustrativas que complementam o texto principal.

PONTO PRINCIPAL

Destaca o aprendizado essencial e as lições que podem ser replicadas em outros contextos.

• Listas numeradas (1, 2, 3...)

Usadas para indicar passos ou recomendações que precisam ser seguidos em ordem lógica, como etapas para realizar um diagnóstico ou fases para implementar uma tecnologia. Por exemplo:

1. Pesquisa documental
2. Análise técnica com especialistas
3. Consulta a atores-chave do setor

Lições para replicação

1. **Fique atento:** usadas para listar ações, exemplos ou fatores que não têm ordem específica. Exemplo: fatores a considerar, tipos de sistemas produtivos, opções de tecnologia.



✓ Checklist do Capítulo 1

☐	Leia a introdução	Garante visão estratégica sobre como o guia apoia o planejamento climático e a formulação de políticas integradas.
☐	Use as mensagens-chave	Sintetiza os aprendizados centrais de cada capítulo, facilitando a assimilação e aplicação do conteúdo na tomada de decisão.
☐	Consulte os checklists	Transforma as orientações técnicas em ações de gestão aplicáveis e verificáveis.
☐	Reveja os Quadros, Tabelas e Quadros-destaque	Apresenta evidências e casos que reforçam decisões baseadas em dados.
☐	Adapte as lições brasileiras	Amplia a capacidade de replicação de soluções, ajustando-as aos instrumentos e governança ao contexto local.



2 EMISSÕES GLOBAIS DA PECUÁRIA E O PAPEL DO MANEJO DE DEJETOS

O próximo passo é analisar o panorama global das emissões pecuárias, base para o diagnóstico nacional e a formulação de soluções. Essas emissões de GEE têm origens diversas, abrangendo fontes diretas e indiretas.

O guia é um mapa e cada país deve traçar seu próprio caminho, adaptando as soluções à sua realidade produtiva, climática e institucional. O Capítulo 1 estabelece a importância do manejo de dejetos como estratégia custo-efetiva de mitigação do metano (CH_4) e apresenta como este guia pode ser usado. Esse enquadramento inicial conecta a experiência brasileira ao panorama global de emissões, que será explorado no Capítulo 2.

As emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE) associadas à pecuária têm múltiplas origens, tanto **diretas** quanto **indiretas**:

- **Diretas:** geradas dentro da própria unidade produtiva, como a fermentação entérica (produção de CH_4 no processo digestivo dos ruminantes) e o manejo de dejetos animais (emissões de CH_4 e N_2O durante armazenamento, tratamento e aplicação dos resíduos).
- **Indiretas:** associadas a atividades de suporte, como uso e conversão da terra para pastagens e uso de insumos, além da produção e transporte de rações e suplementos.

No caso do CH_4 , a fermentação entérica e o manejo de dejetos respondem juntos por cerca de um terço das emissões globais [2]. Embora o manejo de dejetos represente uma fração menor — aproximadamente 7,8% das emissões da pecuária — sua mitigação é estratégica, pois apresenta:

- **Resultados rápidos e mensuráveis:** controlar CH_4 gera efeitos imediatos na curva de aquecimento global;
- **Disponibilidade de tecnologias comprovadas:** biodigestores, compostagem e boas práticas já podem ser aplicadas, reduzindo emissões e contribuindo para o controle da poluição do solo e da água;
- **Baixo custo relativo:** medidas de mitigação são mais baratas e acessíveis do que alternativas em outros setores.

2.1 Por que o metano é prioridade?

Entre os gases de efeito estufa, o CH_4 merece atenção especial por três características:

- **Potencial de aquecimento global (PAG):** 27 vezes maior que o gás carbônico (dióxido de carbono – CO_2) em 100 anos e 86 vezes maior em 20 anos [3];
- **Vida atmosférica curta:** cerca de 12 anos, o que significa que cortar emissões agora traz benefícios climáticos quase imediatos;
- **Classificação:** considerado um poluente climático de vida curta (PCVC).

Isso significa que o CH_4 é, ao mesmo tempo, um problema e uma oportunidade. A redução rápida de suas emissões:

MENSAGEM-CHAVE

A mitigação do CH₄ é estratégica porque gera impactos favoráveis no clima e benefícios adicionais à saúde, à qualidade do ar e à segurança alimentar. Essa priorização orienta as soluções técnicas e políticas detalhadas nos próximos capítulos.

QUADRO-DESTAQUE 1

POLUENTES CLIMÁTICOS DE VIDA CURTA

Os poluentes climáticos de vida curta (PCVC) permanecem na atmosfera por períodos que variam de dias a poucas décadas, mas têm elevado potencial de aquecimento global. Entre os principais estão:

- Metano (CH₄) — vida atmosférica de ~ 12 anos; emitido em manejo de dejetos animais, sistemas de criação intensiva, aterros, produção e vazamentos de gás natural.
- Carbono negro (Black Carbon, BC) — permanece alguns dias ou semanas na atmosfera; gerado por combustão incompleta de biomassa, queima agrícola, veículos a diesel, fogões e fornos mal operados.
- Ozônio troposférico (O₃) — vida atmosférica de horas a semanas; não é emitido diretamente, mas formado a partir de reações químicas que envolvem metano, óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (VOC).
- Hidrofluorocarbonos (HFCs) — vida atmosférica de alguns anos até ~ 15 anos (dependendo do tipo de HFC); presentes em sistemas de refrigeração, ar-condicionado, espumas, aerossóis e solventes industriais

Embora menos persistentes que o CO₂, os PCVCs possuem alta eficiência radiativa, ou seja, aquecem muito mais por unidade de massa [4]. Por isso, sua mitigação é estratégica para:

- **Ganhar tempo** frente à emergência climática, evitando ultrapassar limites críticos de aquecimento;
- **Reduzir impactos** locais, como poluição atmosférica e problemas respiratórios;
- **Fortalecer a resiliência alimentar**, já que a poluição do ar prejudica produtividade agrícola.

No setor agropecuário, o CH₄ é o PCVC mais relevante, respondendo por cerca de **32% das emissões antropogênicas globais**.

PONTO PRINCIPAL

A redução de PCVCs não substitui a descarbonização de longo prazo, mas acelera a curva de mitigação climática. Essa visão complementa as análises seguintes sobre como integrar soluções de curto e médio prazo em estratégias nacionais.

- Desacelera o aquecimento global em horizontes de 10 a 20 anos;
- Contribui para evitar pontos de inflexão climática²;
- Gera benefícios imediatos para a saúde pública, a qualidade do ar e a segurança alimentar.

2.2 Evolução e distribuição das emissões

Nas últimas três décadas, as emissões da pecuária cresceram de forma consistente, acompanhando o aumento do consumo de proteína animal. Entre **1990** e **2018**, as emissões de **CH₄** provenientes da **fermentação entérica** e do **manejo de dejetos** aumentaram cerca de **15%** [5].

Embora o setor de energia ainda concentre a maior parte das emissões globais de GEE, a contribuição da pecuária é particularmente relevante devido ao peso do **CH₄**. De acordo com o *Global Methane Assessment*, reduzir emissões desse gás é uma das formas mais rápidas e custo-efetivas de conter o aquecimento global e evitar pontos de inflexão irreversíveis [2].

Em 2022, as emissões globais do manejo de dejetos somaram aproximadamente **9,94 MtCH₄**, com projeções de aumento para **11,15 MtCH₄**³ até 2050, caso medidas mitigadoras eficazes não sejam adotadas [6].

2.2.1 Diferenças regionais e por espécies

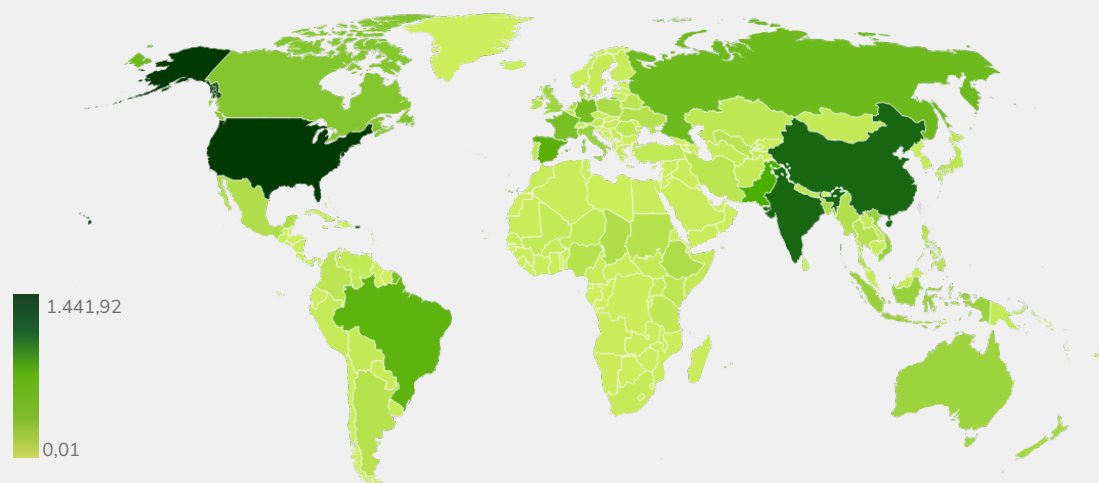
As emissões provenientes do manejo de dejetos estão presentes em todos os sistemas de produção, tanto de ruminantes quanto de monogástricos. No entanto, a intensidade e a distribuição dessas emissões variam bastante entre regiões do mundo.

A Figura 1 mostra a distribuição global em 2022; os maiores volumes de emissões se concentram na **América do Norte** e no **Sul e Leste da Ásia**, onde predominam sistemas intensivos de produção animal. Essa concentração está associada: à elevada densidade de animais em sistemas confinados, ao predomínio de cadeias industriais (especialmente suínos e bovinos de leite) e ao uso intensivo de insumos, o que aumenta a geração e a concentração dos dejetos. Essa concentração geográfica evidencia não apenas os polos de maior impacto climático, mas também os pontos mais estratégicos para a adoção de tecnologias de mitigação.

² Contribui para impedir que o clima atinja limites críticos de desequilíbrio.

³ MtCH₄ é a unidade que representa megatoneladas de metano, equivalente a 1 milhão de toneladas de CH₄ emitido. ktCH₄ representa quilotoneladas de metano, correspondendo a 1 mil toneladas de CH₄ emitido.

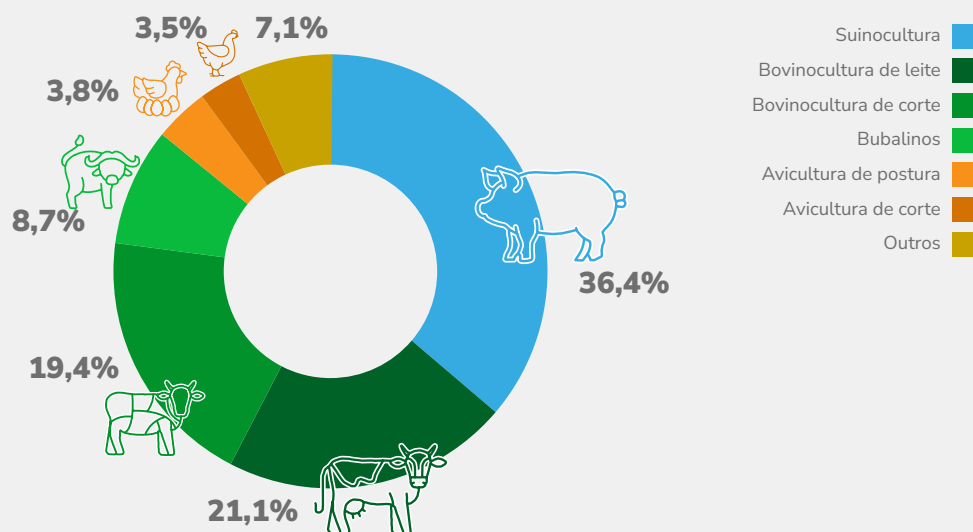
Figura 1. Distribuição global das emissões de metano por dejetos animais em 2022 por ktCH₄



Elaborado a partir dos dados disponibilizados pela FAOSTAT [6]

As diferenças também são evidentes entre espécies animais. Conforme apresentado na Figura 2, a **suinocultura** é responsável pela maior parcela das emissões globais, seguida pela **bovinocultura de leite**, **bovinocultura de corte**, **búfalos**, **galinhas poedeiras** e frangos de **corte**. Esse resultado reflete não apenas a escala dos rebanhos, mas também as características específicas dos dejetos e das práticas de manejo adotadas em cada cadeia.

Figura 2. Participação das categorias animais nas emissões de metano do manejo de dejetos em 2022

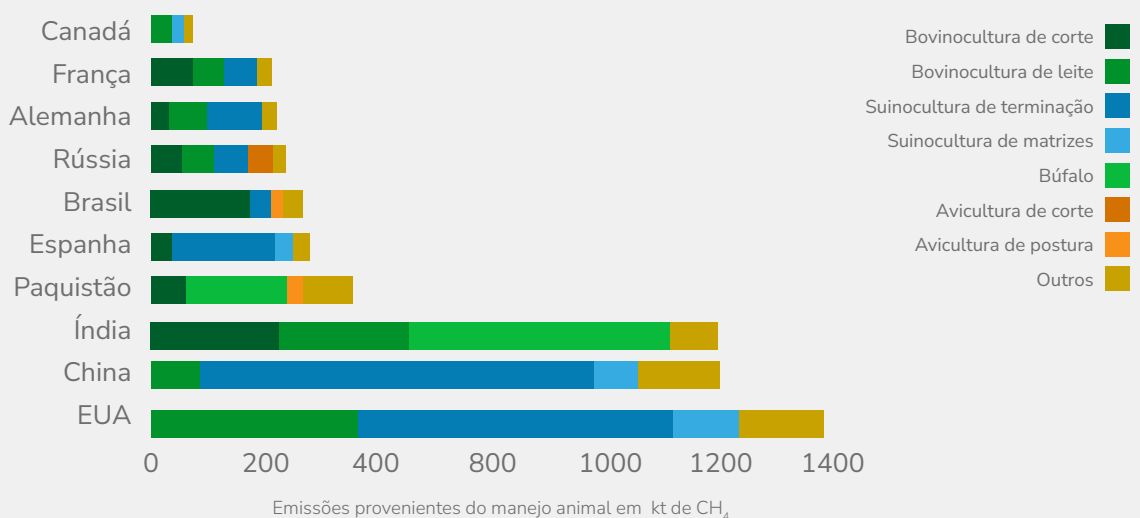


Elaborado a partir dos dados disponibilizados pela FAOSTAT [6].

Outra forma de observar essa distribuição é por faixas de renda dos países. Os dados mostram que **nações de alta renda concentram 50,7% das emissões globais do manejo de dejetos**, seguidas por países de renda média-alta (23,4%), renda média-baixa (21,5%) e baixa renda (4,4%). Essa diferença está relacionada tanto ao nível de intensificação da produção quanto à escala dos rebanhos.

As diferenças entre países ficam ainda mais claras na Figura 3, que destaca os dez maiores emissores em 2022: **Estados Unidos, China, Índia, Paquistão, Espanha, Brasil, Rússia, Alemanha, França e Canadá**.

Figura 3. Ranking dos 10 países com maiores emissões de metano e respectivas categorias animais em 2022 por ktCH₄



Elaborado a partir dos dados disponibilizados pela FAOSTAT [6].

Esses números indicam que a pecuária intensiva – especialmente a de **suínos e bovinos leiteiros** – concentra os maiores pontos de emissão, entretanto, ao mesmo tempo, esses sistemas oferecem as **melhores condições para adoção de tecnologias de mitigação**, já que a concentração de animais facilita a coleta, o armazenamento e o tratamento dos dejetos.

Essas diferenças regionais mostram que os padrões de emissão variam conforme a geografia, a espécie e o nível de renda, servindo como referência comparativa entre países. Nos contextos do Sul Global, onde estatísticas detalhadas podem ser escassas, bases internacionais como a FAO⁴ e o IPCC⁵ oferecem parâmetros comuns que permitem uma comparabilidade inicial. Esses valores devem ser usados como ponto de partida e ajustados gradualmente à medida que dados nacionais ou locais se tornarem disponíveis.

⁴ Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) é a agência da ONU que coleta dados globais sobre agricultura, pecuária, florestas, pesca e segurança alimentar. Ela publica a base estatística FAOSTAT, que é uma das principais fontes internacionais de dados sobre rebanhos, produção e emissões, usada por muitos países como referência metodológica.

⁵ Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão científico da ONU responsável por avaliar as evidências sobre mudanças climáticas e fornecer parâmetros metodológicos para inventários nacionais

MENSAGEM-CHAVE

Mapear regiões, espécies e países com maior contribuição permite canalizar recursos de mitigação de forma mais eficiente. Esses dados constituem a linha de base para a identificação de prioridades, o que será apresentado no próximo capítulo.

2.3 Implicações para a ação global

O panorama global das emissões do manejo de dejetos animais mostra que, apesar das diferenças entre regiões e espécies, essa é questão transversal a todos os sistemas produtivos. Ao evidenciar a amplitude do desafio, o panorama apresentado revela, também, oportunidades de mitigação alcançáveis, em prazos curtos, acompanhadas de benefícios múltiplos. Para transformar diagnósticos em estratégias nacionais consistentes, quatro etapas são fundamentais:

1. Identificar fontes de dados disponíveis

- Censos agropecuários nacionais;
- Inventários de emissões de GEE;
- Bases internacionais (FAO, IPCC, CCAC, *Global Methane Initiative* (GMI));
- Sistemas de monitoramento regionais ou subnacionais.

2. Localizar cadeias e espécies prioritárias

- Mapear quais categorias animais concentram maior volume de dejetos e emissões (ex.: suínos, bovinos de leite, aves).
- Verificar a concentração geográfica de polos produtivos.

3. Cruzar informações de volume, densidade e práticas produtivas

- Sistemas intensivos: foco em tecnologias de manejo dos dejetos (biodigestores, compostagem).
- Sistemas extensivos: foco em boas práticas de manejo e conservação de solo, manejo de pastagens e incentivos indiretos.

4. Projetar o potencial energético dos dejetos

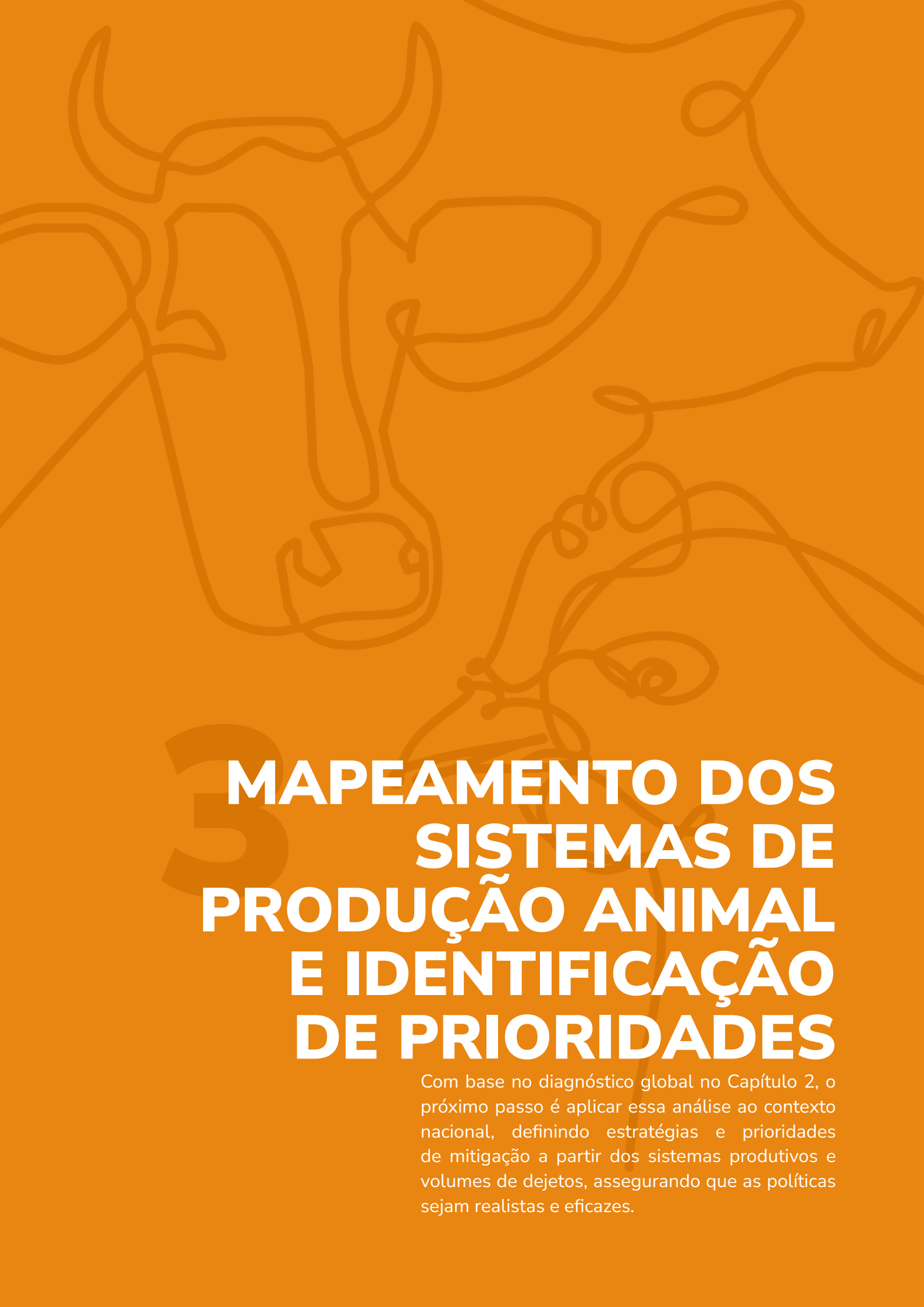
- Calcular o potencial de mitigação das regiões prioritárias.
- Traduzir os volumes de dejetos em equivalentes energéticos (biogás, biometano, eletricidade).

MENSAGEM-CHAVE

O manejo de dejetos animais deve ser tratado como uma frente prioritária e custo-efetiva de mitigação CH₄, capaz de gerar impactos climáticos rápidos e múltiplos cobenefícios. Esse diagnóstico global estabelece a linha de base para o mapeamento de sistemas produtivos e para a definição de prioridades nacionais, abordados no Capítulo 3.

✓ Checklist do Capítulo 2

☐	Analise a distribuição global das emissões	Auxilia na compreensão do posicionamento do país frente às principais fontes mundiais e à identificação de setores-chave para a mitigação.
☐	Use dados internacionais confiáveis (FAO, IPCC e outras bases)	Possibilita a integração das políticas nacionais a metodologias reconhecidas, de modo a fortalecer a comparabilidade e a transparência internacional.
☐	Identifique padrões globais de risco e oportunidade	Objetiva uma antecipação de tendências que influenciam o acesso a mercados, financiamento climático e cooperação internacional.
☐	Traduza números globais em implicações nacionais	Gera definição de metas e estratégias realistas, alinhadas ao potencial e às condições produtivas do país, o que será detalhado no Capítulo 3.



3 MAPEAMENTO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL E IDENTIFICAÇÃO DE PRIORIDADES

Com base no diagnóstico global no Capítulo 2, o próximo passo é aplicar essa análise ao contexto nacional, definindo estratégias e prioridades de mitigação a partir dos sistemas produtivos e volumes de dejetos, assegurando que as políticas sejam realistas e eficazes.

A definição de **metas de mitigação**, a **seleção de tecnologias** e a **estruturação de mecanismos de monitoramento** só podem ser consistentes quando estão fundamentadas em uma compreensão sólida da **realidade produtiva nacional**. Esse passo inicial garante que as políticas sejam **alinhadas ao contexto local** e, portanto, tenham maior efetividade.

Além disso, conhecer profundamente os sistemas de produção permite desenvolver soluções que sejam, ao mesmo tempo, **tecnicamente adequadas, economicamente viáveis e socialmente aderentes**.

Este capítulo apresenta **princípios orientadores** para apoiar a tomada de decisão na construção de estratégias de mitigação de emissões no setor pecuário. Para fins ilustrativos, destacam-se elementos da **experiência brasileira**, de modo a demonstrar como estes podem ser replicados e adaptados a outras realidades produtivas, especialmente no Sul Global.

O **mapeamento dos sistemas de produção animal** é, portanto, o **ponto de partida** para qualquer estratégia de mitigação. Esse processo responde a três perguntas-chave:

- **Quais cadeias e espécies são prioritárias?**
- **Quais sistemas de produção predominam?**
- **Como, onde e em que volume os dejetos são gerados e quanto do volume gerado é manejado?**

A experiência brasileira demonstra que **integrar censos agropecuários, inventários de emissões e dados territoriais** oferece uma visão prática, comparável e útil para a formulação de políticas. Outros países podem aplicar a mesma lógica, ajustando os **critérios de priorização** às suas realidades produtivas, climáticas e institucionais.

MENSAGEM-CHAVE

O mapeamento dos sistemas de produção é a base para identificar onde estão os maiores volumes de dejetos e, conseqüentemente, as maiores oportunidades de mitigação. Este passo conecta o diagnóstico global, resolvido no Capítulo 2, com a definição de prioridades nacionais que orientam a escolha de tecnologias e políticas nos capítulos seguintes.

3.1 Quais cadeias produtivas são mais representativas no país?

A definição das cadeias produtivas mais relevantes é o ponto de partida para qualquer estratégia de mitigação na pecuária. Antes de selecionar tecnologias ou estruturar mecanismos de monitoramento, é necessário compreender:

- Quais espécies animais concentram maior volume de dejetos e emissões de CH₄;
- Onde estão localizados os principais polos produtivos e qual é o tamanho dos rebanhos;
- E qual a importância socioeconômica dessas atividades.

Esse diagnóstico inicial é decisivo porque os recursos disponíveis para a mitigação são limitados. Direcioná-los para cadeias de maior impacto garante **eficiência na alocação de investimentos e credibilidade junto a financiadores nacionais e internacionais**.

EXEMPLO PRÁTICO

No caso brasileiro, essa priorização revelou uma grande diversidade de sistemas, devido ao tamanho continental do país, à variedade de biomas e aos diferentes níveis de tecnificação. Mesmo com essa heterogeneidade, três cadeias despontam como estratégicas:

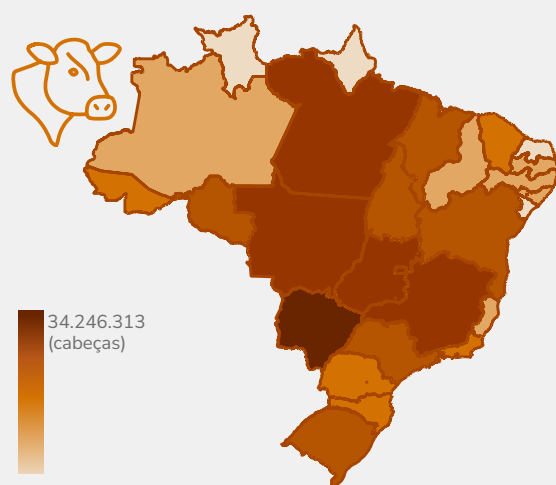
- **Suinocultura:** alta densidade produtiva no Sul do Brasil e dejetos predominantemente líquidos, com elevada carga orgânica. Isso cria tanto riscos ambientais quanto grandes oportunidades para biodigestores e programas de bioenergia e biofertilizante.
- **Bovinocultura:** rebanho concentrado no Centro-Oeste, o maior do mundo; e predominância do sistema extensivo, o que dificulta a coleta e o tratamento de dejetos. Ainda assim, polos de confinamento em expansão criam condições favoráveis à adoção de soluções tecnológicas.
- **Avicultura:** presente em várias regiões, especialmente no Sul e Sudeste, está concentrada em sistemas industriais de alta densidade. Produz dejetos sólidos que favorecem a compostagem e o uso direto como fertilizante orgânico.

As bases de dados que sustentam esse mapeamento, no Brasil, é ampla e diversificada. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão oficial de estatísticas do Brasil, fornece censos agropecuários, e a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) que dimensiona o tamanho dos rebanhos por categoria animal. Essas informações são complementadas por estimativas do Inventário Nacional de Emissões de GEE e por sistemas independentes, como o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), que oferecem dados consistentes e atualizados sobre emissões setoriais. A integração dessas fontes permite identificar os polos produtivos e quantificar o potencial de mitigação por cadeia e região.

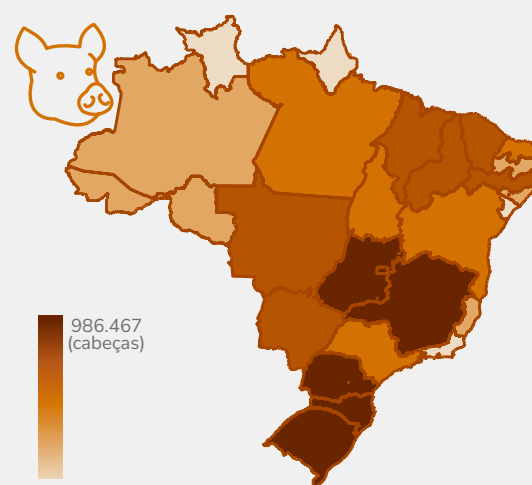
A espacialização desses dados (Figura 4) mostra claramente a distribuição: suínos no Sul, bovinos no Centro-Oeste e aves de postura⁶ no Sul e Sudeste.

Figura 4. Distribuição das cadeias animais no Brasil

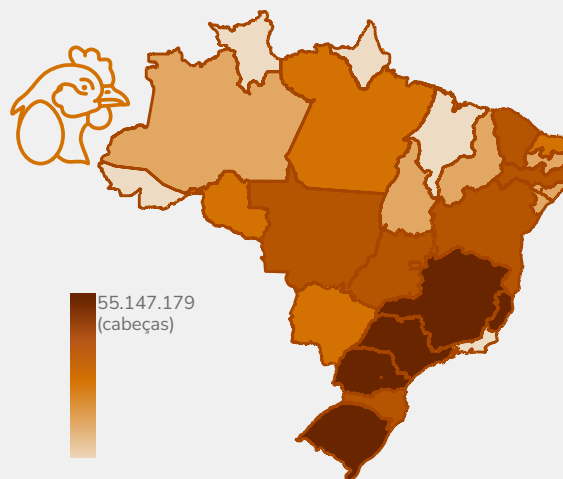
a) rebanho bovino (corte e leite);



b) rebanho de suínos (terminação e matriz);



c) rebanho de aves de postura
(estimado pela produção de ovos,
considerando 0,9 ovo/ave/dia)



Gráficos elaborados a partir dos dados da [7], [8], e [9].

Mesmo em países que não dispõem de censos agropecuários completos ou inventários detalhados, é possível aplicar essa mesma lógica, iniciando com dados disponíveis e complementando com estatísticas internacionais (FAO, IPCC, CCAC, GMI) ou levantamentos amostrais. A chave é **integrar diferentes fontes** — oficiais, acadêmicas e setoriais — e cruzar dados de rebanho, produção e emissões para estabelecer prioridades nacionais.

⁶ Aves de postura refere-se somente as galinhas poedeiras.

O **Sistema de Gestão Ambiental da Suinocultura (SGAS)** é um software desenvolvido pela Embrapa Suínos e Aves, em parceria com instituições públicas e privadas, para apoiar a gestão e o licenciamento ambiental de granjas de suínos.

Ele integra variáveis zootécnicas, ambientais e de manejo em uma plataforma única, permitindo que produtores e gestores tenham uma visão detalhada do sistema produtivo.

O que o SGAS faz:

- Coleta dados sobre número de animais, fase produtiva (ciclo completo, terminação, maternidade etc.), consumo de água e volume de efluentes gerados;
- Oferece suporte técnico para dimensionar sistemas de tratamento de dejetos (lagoas, biodigestores, compostagem);
- Permite planejamento individual da propriedade e formulação de políticas públicas baseadas em evidências.

Público-alvo: produtores rurais, técnicos de assistência e extensão, gestores de agroindústrias, cooperativas, analistas de órgãos ambientais e formuladores de políticas públicas.

Potencial de replicação internacional:

- Plataforma flexível, adaptável a diferentes legislações ambientais;
- Estimula a **padronização de dados** e melhora a rastreabilidade;
- Facilita o acesso a **crédito verde e programas de incentivo climático**, ampliando oportunidades de financiamento para produtores e governos.

PONTO PRINCIPAL

Sistemas digitais simples, como o SGAS, transformam dados dispersos em políticas públicas concretas. Qualquer país pode desenvolver plataformas semelhantes, ajustando variáveis à sua realidade produtiva e regulatória.

MENSAGEM-CHAVE

Priorizar cadeias produtivas estratégicas concentra esforços onde o impacto climático e socioeconômico é maior. Essa priorização prepara o terreno para a análise dos sistemas de produção e para a escolha de soluções técnicas ajustadas a cada contexto.

Lições para replicação

1. Comece pelas cadeias produtivas estratégicas: identifique quais espécies animais concentram maior volume de dejetos e emissões, o que garante foco em setores de maior impacto.

2. Considere a realidade produtiva e socioeconômica: o mapeamento deve levar em conta não só os tamanhos dos rebanhos, mas, também, a importância econômica e regional de cada cadeia.

3. Apoie-se em bases de dados integradas:

- a. Censos agropecuários nacionais.
- b. Inventários de emissões de GEE.
- c. Bases internacionais (FAO, IPCC, CCAC, GMI).
- d. Sistemas de monitoramento regionais ou subnacionais.

4. Defina prioridades nacionais de mitigação: identifique onde estão os polos produtivos e estabeleça critérios claros de priorização (como redução de emissões, geração de energia, produção de fertilizantes), o que ajuda a direcionar recursos com maior eficiência.

5. Mantenha o foco na tomada de decisões: o objetivo final é indicar, com clareza, onde os esforços de mitigação terão maior retorno ambiental e econômico.

3.2 Quais são os sistemas de produção predominantes?

Uma vez identificadas as cadeias prioritárias, o próximo passo é compreender como os animais são criados, já que o tipo de sistema influencia diretamente a quantidade e a composição dos dejetos gerados.

A caracterização dos sistemas de produção animal é uma etapa essencial para a definição de estratégias de mitigação. A forma como os animais são criados determina não apenas a **eficiência produtiva**, mas também a **quantidade**, o **tipo** e a **concentração dos dejetos** gerados. Esses fatores, por sua vez, influenciam diretamente a **viabilidade técnica, econômica e ambiental** das opções de manejo e tratamento de dejetos. Dois critérios principais ajudam a organizar essa classificação:

- **Critério socioeconômico:** diferencia sistemas de subsistência (voltados ao autoconsumo), sistemas de pequena escala (diversificados, com papel complementar na renda familiar) e sistemas comerciais ou industriais (produção em larga escala, integrados a cadeias produtivas estruturadas).
- **Critério de intensificação:** varia de sistemas extensivos (baixa densidade em pastagens naturais ou cultivadas), passando pelos semi-intensivos (pasto suplementado), até os intensivos (alta densidade em confinamento com dietas balanceadas).

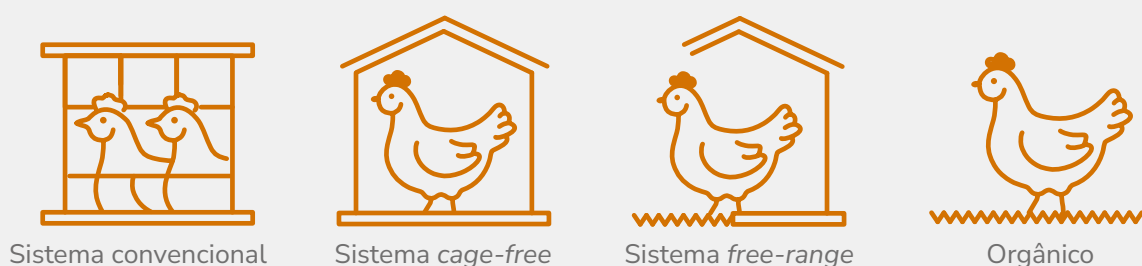
Nos **sistemas extensivos**, predominantes na bovinocultura em países tropicais, os animais são mantidos em grandes áreas de pastagens. Os dejetos ficam dispersos, o que reduz riscos de poluição local, mas dificulta a coleta e o aproveitamento energético. Já os **sistemas semi-intensivos** conciliam a criação a pasto com suplementação alimentar, funcionando como uma transição entre produtividade e sustentabilidade. Por fim, os **sistemas intensivos**, típicos da suinocultura e da avicultura industrial, concentram muitos animais em áreas reduzidas, gerando grandes volumes de dejetos líquidos ou sólidos, com alto potencial poluidor, mas, também, com maior viabilidade para tratamento tecnológico.

3.2.1 Exemplos de sistemas mais tecnificados

À medida que os sistemas se tornam mais intensivos, a relação entre manejo e emissões torna-se ainda mais evidente.

Avicultura de postura: no Brasil, predomina a produção em sistemas convencionais de alta densidade, com automação de alimentação, coleta de ovos e retirada de dejetos. Esse modelo garante eficiência produtiva e custos reduzidos, mas gera grandes volumes de dejetos sólidos. Nos últimos anos, observa-se a expansão de sistemas alternativos (*cage-free*, *free-range*, orgânicos), motivada pela demanda por bem-estar animal. Esses modelos geram dejetos de composição distinta e exigem estratégias de manejo mais complexas (Figura 5).

Figura 5. Sistemas de produção aplicados na avicultura de postura



Bovinocultura de corte: tradicionalmente baseada em sistemas extensivos, a pecuária de corte brasileira vem passando por um processo de intensificação⁷. O crescimento de confinamentos e semiconfinamentos concentra os dejetos em áreas menores, criando condições para a adoção de tecnologias de tratamento (Figura 6). Essa transição abre espaço para soluções como biodigestores, até então inviáveis em sistemas extensivos totalmente a pasto.

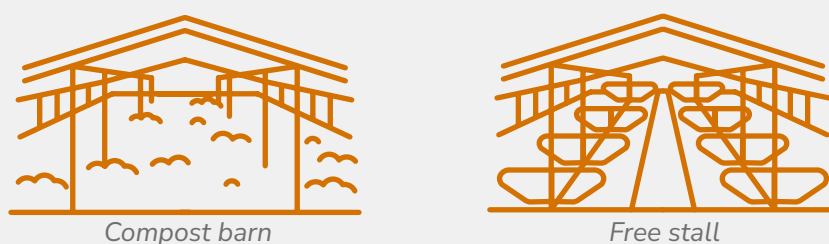
Figura 6. Sistemas de produção da bovinocultura de corte



⁷ Modelo de produção que concentra os animais em áreas menores (parcial ou totalmente confinados), com alimentação controlada e manejo tecnificado para aumentar a produtividade por área.

Bovinocultura de leite: ainda dominada por modelos extensivos e semi-intensivo, mas com um avanço significativo de sistemas intensivos como *free stall* e *compost barn* (Figura 7). Essa intensificação permite ganhos em produtividade e bem-estar animal, ao mesmo tempo em que possibilita a mitigação de emissões por meio do manejo adequado dos dejetos.

Figura 7. Sistemas de produção da bovinocultura de leite



QUADRO-DESTAQUE 3

O COMPOST BARN REDUZ EMISSÕES DE GEE?

O compost barn é um sistema intensivo de confinamento cada vez mais adotado na bovinocultura de leite no Brasil. Nele, os animais permanecem soltos em galpões cobertos, sobre uma cama profunda de maravalha, serragem ou outro material absorvente. Além de promover bem-estar animal, conforto térmico e manejo facilitado, o compost barn permite que a decomposição dos dejetos ocorra de forma predominantemente aeróbia, reduzindo significativamente as emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

Estudos mostram que o Fator de Conversão de Metano (MCF) desse sistema é de apenas 1,5%, muito inferior aos valores observados em lagoas anaeróbias ou esterqueiras, que podem ultrapassar 80% em regiões tropicais [10]. Quando bem manejado, com revolvimento frequente da cama e controle de umidade, o compost barn apresenta níveis de emissão próximos aos da compostagem em pilhas, com a vantagem de associar conforto animal e redução de custos com transporte e armazenamento de dejetos.

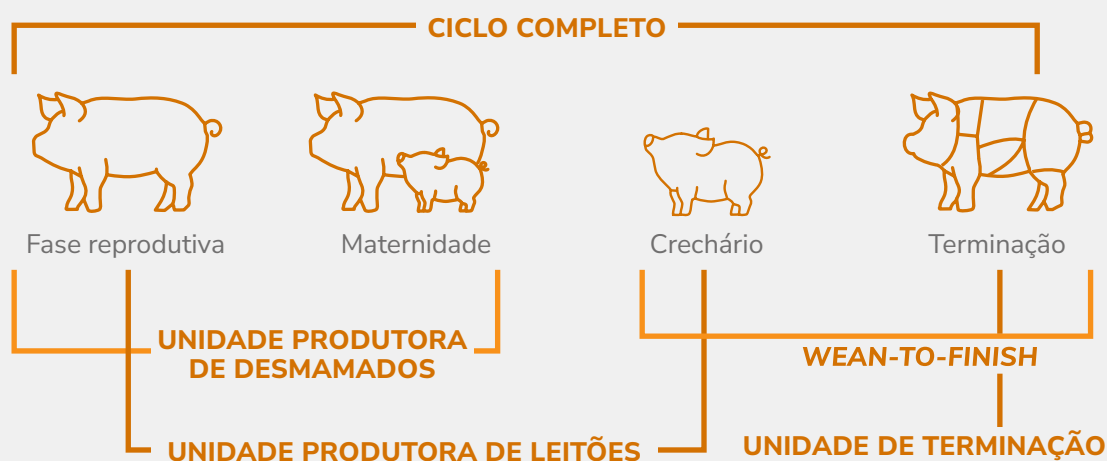
Entretanto, a eficácia depende do manejo: a ausência de revolvimento e o acúmulo de umidade podem reverter os ganhos ambientais. Experiências brasileiras mostraram reduções consistentes nas emissões de CH_4 após o revolvimento adequado das camas [11].

PONTO PRINCIPAL

O compost barn é uma solução que alia produtividade, bem-estar animal e mitigação de emissões. Países que buscam intensificar a produção leiteira de forma sustentável podem replicar esse modelo, desde que invistam em treinamento e manejo eficiente.

Suinocultura intensiva: esta modalidade da suinocultura possui elevado nível de tecnificação. A produção é segmentada em diferentes modelos: ciclo completo, unidades produtoras de desmamados, leitões, creches e terminação, apresentados na Figura 8, todos caracterizados por grande volume de dejetos líquidos. Essa configuração, embora desafiante, também oferece as condições mais favoráveis para a adoção de biodigestores e compostagem.

Figura 8. Sistemas de criação e produção de suínos



A suinocultura intensiva, no Brasil, pode ser organizada em diferentes modelos produtivos. Um dos modelos é o Ciclo Completo, no qual todas as fases (reprodução, maternidade, creche e terminação) ocorrem em uma única unidade, concentrando volumes significativos de dejetos em um só local. Já os sistemas especializados — como as unidades produtoras de leitões (UPL), de desmamados (UPD), as creches (CR) e as unidades de terminação (UT) — segmentam o processo em etapas, permitindo maior eficiência zootécnica, mas, também, criando diferentes perfis de geração de dejetos. Esses arranjos organizacionais influenciam diretamente a quantidade, a composição e a regularidade dos dejetos, fatores cruciais para o dimensionamento de tecnologias de tratamento, como biodigestores, lagoas anaeróbias ou compostagem.

MENSAGEM-CHAVE

O volume e a composição dos dejetos estão atrelados ao sistema de produção, o que determina, diretamente, quais tecnologias de manejo e mitigação são viáveis em cada caso. O diagnóstico desses sistemas abre caminho para a análise de onde e em que quantidades os dejetos são gerados.



Lições para replicação

1. Caracterize os sistemas produtivos: compreender como os animais são criados é essencial para definir estratégias de mitigação realistas e eficazes.

2. Adapte as soluções ao sistema:

- a. Sistemas extensivos (para bovinos e outros ruminantes) exigem foco em manejo adequado de pastagens, prevenção de incêndios e uso de boas práticas de manejo e conservação de solo.
- b. Sistemas intensivos apresentam maior viabilidade para tecnologias como biodigestores e compostagem.

3. Reconheça especificidades por cadeia: considerar as particularidades de cada categoria animal e a transição de sistemas extensivos para intensivos ajuda a planejar ações de curto, médio e longo prazos.

4. Equilibre mitigação e produtividade: políticas diferenciadas por tipo de sistemas aumentam a chance de adoção e tornam a pecuária de baixo carbono mais viável em diferentes contextos.

5. Lembre-se: não existe solução única. Estratégias devem ser ajustadas ao perfil socioeconômico dos produtores e ao grau de intensificação.

3.3 Como são gerados os dejetos nos sistemas intensivos?

A intensificação da produção animal, seja em suínos, aves ou bovinos confinados, concentra grandes números de animais em áreas reduzidas. Essa configuração resulta em um **acúmulo de dejetos** em volumes significativos, geralmente em forma líquida ou semilíquida, misturados à água de limpeza, restos de alimentação e urina.

Nos sistemas **extensivos**, os dejetos ficam dispersos no solo e são reintegrados ao ecossistema local. Já nos sistemas **intensivos**, os dejetos acumulados podem se tornar um **passivo ambiental direto**, exigindo estratégias específicas de:

- coleta,
- armazenamento,
- tratamento,
- e, sempre que possível, aproveitamento energético e agrícola.

3.3.1 Aspectos técnicos-chave

- As características do dejetos, a frequência da remoção e o tipo de coleta determinam a viabilidade de diferentes tecnologias.
- Sistemas que concentram dejetos líquidos em lagoas favorecem a geração de CH₄ em condições anaeróbias.
- Sistemas com dejetos sólidos, em geral, emitem menos CH₄ e são mais adequados para a compostagem.

Outro fator central é a **quantificação do volume de dejetos**. Valores médios de referência são úteis, mas devem ser ajustados ao contexto local, considerando **dieta, genética animal, sistema produtivo e clima**. O uso apenas de valores médios pode levar a erros no dimensionamento de tecnologias ou na estimativa de emissões.

3.3.2 Intervalos de geração de dejetos no Brasil

A Tabela 1 resume as faixas de geração de dejetos para diferentes categorias animais, na realidade brasileira. Esses números podem ser usados como ponto de partida para outros países, desde que calibrados com dados locais.

Tabela 1. Intervalos de geração de dejetos por categoria animal na pecuária brasileira

Sistema de produção		Volume (L/animal/dia)
Bovinocultura de leite		21 ^a -136 ^b
Bovinocultura de corte		21 ^a -80 ^c
Suinocultura	Creche	1,4 ^d -2,76 ^e
	Matriz	16 ^{e,f}
	Machos	6,5 ^g -9,0 ^d
	UPD	11,4 ^g -22,8 ^h
	UPL	1,6 ^g -27 ^f
	Terminação	4,5 ^f -8,33 ^e
	Ciclo completo	47,1 ^f -50,6 ^g
Aves de postura	Sistemas automatizados*	0,1 ⁱ
	Sistemas convencionais*	0,05 ⁱ
	Aves com 2.5 kg*	0,12 ^j -0,18 ^j

*kg/ave/dia
a[12]; b[13]; c[14]; d[14]; e[16]; f[17]; g[18]; h[15]; i[16]; j[17].

3.3.3 Diferenças por sistema produtivo

- **Suinocultura intensiva:** dejetos líquidos com alta carga orgânica, nitrogênio e fósforo → indicados para biodigestão anaeróbia.
- **Avicultura de postura:** dejetos sólidos misturados com penas, restos de ração e material de cama, mais viáveis para compostagem ou codigestão com outros resíduos.
- **Bovinocultura confinada:** mistura líquida-semilíquida; potencial de biodigestão, mas dependente de escala e infraestrutura.

Essa distinção explica por que a suinocultura é mais indicada para biodigestão, enquanto a avicultura apresenta maior viabilidade para compostagem.

MENSAGEM-CHAVE

O mapeamento da geração, da localização e do volume de dejetos permite a identificação de polos de maior impacto e a estimativa do potencial energético disponível para biogás e biofertilizantes. Esse conhecimento é a base para a seleção das tecnologias de manejo.

Lições para replicação

1. **Use valores médios apenas como ponto de partida:** eles facilitam o dimensionamento inicial de tecnologias, mas precisam ser calibrados com dados locais de dieta, genética animal, clima e sistema produtivo.
2. **Diferencie dejetos líquidos e sólidos:** essa distinção é central para a definição das rotas de manejo e tratamento, como biodigestão, compostagem, lagoas de estabilização ou codigestão.
3. **Integre informações zootécnicas e ambientais:** combine dados de rebanho, inventários de emissões e resultados de pesquisas científicas para gerar estimativas mais robustas e confiáveis.
4. **Priorize soluções escaláveis** concentre esforços em cadeias e regiões onde o volume de dejetos justifique políticas de mitigação e investimentos em bionergia e biofertilizantes.

3.4 Quais tecnologias estão disponíveis ou são viáveis?

A caracterização dos dejetos abre caminho para a avaliação das tecnologias disponíveis. O manejo de dejetos em sistemas intensivos é condicionado pela **escala da produção** e pela **infraestrutura disponível**. A coleta centralizada de resíduos, típica desses sistemas, cria tanto oportunidades quanto desafios:

- **Oportunidade:** viabiliza tecnologias de mitigação como a biodigestão anaeróbia e a compostagem, que reduzem emissões e geram subprodutos úteis.
- **Desafio:** exige regulamentações claras, acesso a financiamento e adaptação tecnológica ao contexto local.

EXEMPLO PRÁTICO

Na suinocultura brasileira, estudos mostram que a substituição de **lagoas abertas** por **biodigestores** reduz as emissões de GEE (em CO₂eq) entre **74 e 106%**, ao mesmo tempo em que gerou **biogás** para energia elétrica e **biofertilizante (digestato)** para a agricultura⁸ [18]. Além do impacto climático, a medida trouxe benefícios colaterais, como a redução de odores e maior aceitação social da produção intensiva.

Antes de propor novas tecnologias, é essencial realizar um diagnóstico de base: como os dejetos são gerados, coletados, armazenados e tratados. Esse mapeamento permite identificar quais práticas já estão consolidadas e quais são os pontos de maior emissão de CH₄ e N₂O. Essa leitura inicial evita soluções desconectadas da realidade e ajuda a estruturar transições graduais, aproveitando rotinas já existentes no setor.

No Brasil, por exemplo, o Inventário Nacional de Emissões é a principal ferramenta para entender a distribuição dos sistemas de manejo entre diferentes cadeias produtivas [20]. Em 2020, verificou-se que:

- Na **bovinocultura de leite de alta produção**, 82% dos dejetos permaneciam a pasto, 18% eram manejados em lagoas anaeróbias e apenas uma fração mínima passava por biodigestores.
- Na **suinocultura**, predominava o uso de **lagoas de armazenamento sem adição de água (sistema *slurry*)**.
- Na **avicultura de postura**, o sistema mais comum era o de **gaiolas com deposição no piso e remoção periódica** dos dejetos.

⁸ Resultados de estudos conduzidos em cinco unidades de produção suínica, que compararam as emissões de sistemas de armazenamento (lagoas abertas) e tratamento (biodigestores) considerando diferentes portes e condições operacionais, nos estados do Paraná e Minas Gerais.

Esse tipo de levantamento é replicável em qualquer país. Inventários nacionais, censos agropecuários, associações de produtores e pesquisas acadêmicas fornecem a base necessária para a caracterização das práticas predominantes. Em nível internacional, bases como as da FAO e iniciativas multilaterais (ex.: CCAC, GMI) oferecem parâmetros metodológicos comparáveis.

Tecnologias e emissões associadas

A emissão de CH_4 depende diretamente da técnica de manejo:

- **Sistemas líquidos** (lagoas, tanques, fossas) favorecem a decomposição anaeróbia e produzem grandes quantidades de metano.
- **Sistemas sólidos** (pilhas, pátios secos, aplicação direta no solo) decompõem-se em condições mais aeróbias, gerando emissões significativamente menores.

A Tabela 2 apresenta os fatores de emissão de metano (MCF – *Methane Conversion Factor*) em diferentes espécies animais e condições climáticas, segundo o IPCC [20]. Esses fatores expressam a **quantidade de CH_4** emitida por quilograma de **sólidos voláteis (SV)** presentes nos dejetos (gCH_4/kgSV), o que permite a comparação da intensidade das emissões de cada técnica de manejo.

Os valores evidenciam que **sistemas líquidos e abertos**, como lagoas anaeróbias, são os mais emissores, especialmente em climas tropicais, enquanto sistemas mais controlados, como **biodigestores** e **compostagem**, apresentam fatores significativamente menores. Em termos práticos, substituir lagoas abertas por biodigestores pode reduzir emissões em **dez vezes ou mais**, enquanto a compostagem pode cortar até **30% das emissões** em comparação às esterqueiras [21].

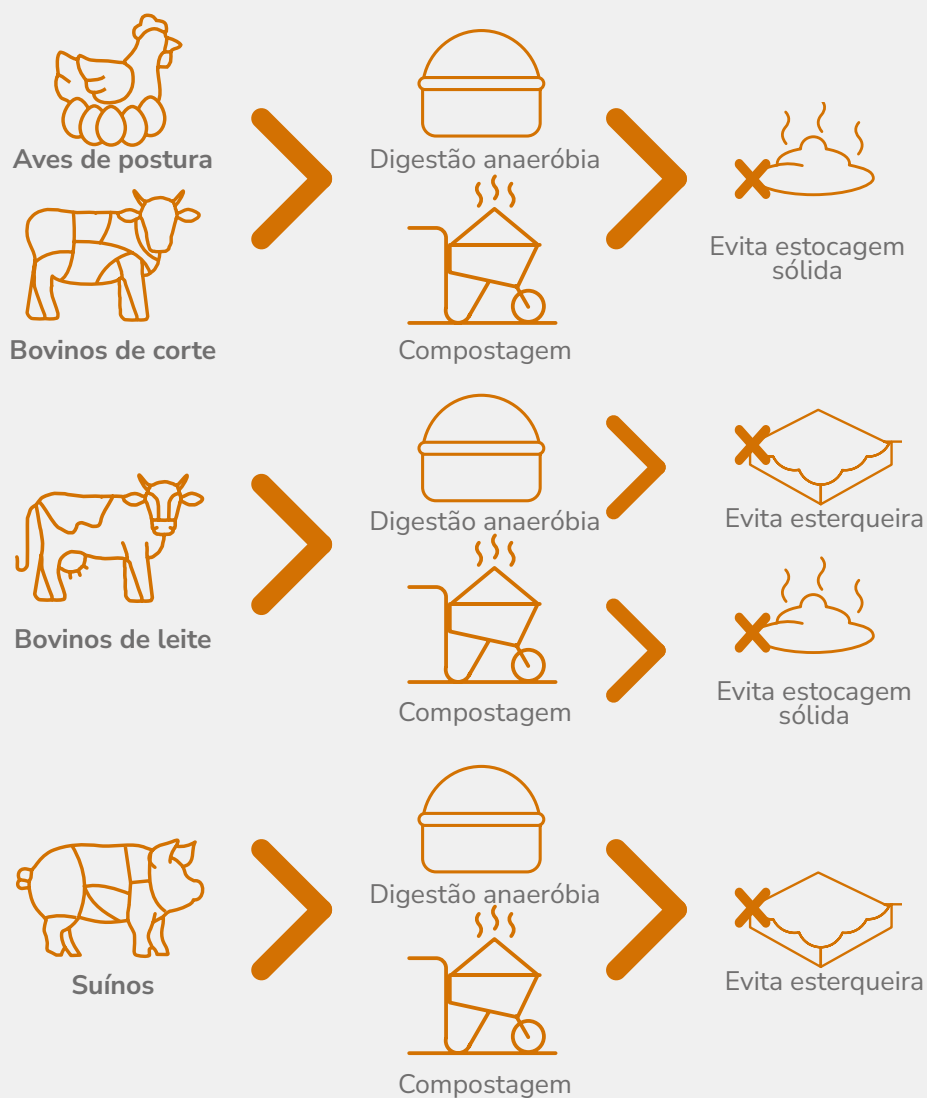
Tabela 2. Fatores de emissão de metano (gCH₄/kgSV) segundo a técnica de manejo e a condição climática

Categoria animal	Técnica de manejo	Fator de emissão de metano (gCH ₄ / kgSV)		
		Frio	Temperado	Quente
Bovinocultura de leite	Lagoa anaeróbia descoberta	78,8-107,7	117,4-122,2	122,2-128,6
	Armazenamento de dejetos líquidos/lodo > 1 mês	22,5-41,8	59,5-65,9	117,4
	Fossa/Estocagem sólida	3,2	6,4	8
	Pátio seco	1,6	2,4	3,2
	Aplicação diária no solo	0,2	0,8	1,6
	Biodigestão anaeróbia	3,2	3,7	3,7
Bovinocultura de corte	Lagoa anaeróbia descoberta	59,1-80,8	88-91,7	91,7-96,5
	Armazenamento de dejetos líquidos/lodo > 1 mês	16,9-31,4	44,6-49,4	71,2-89,2
	Fossa/Estocagem sólida	2,4	4,8	6
	Pátio seco	1,2	1,8	2,4
	Aplicação diária no solo	0,1	0,6	1,2
	Biodigestão anaeróbia	2,4	2,7	2,8
Suinocultura	Lagoa anaeróbia descoberta	147,7-202	220,1-229,1	241,2-229,1
	Armazenamento de dejetos líquidos/lodo > 1 mês	42,2-78,4	111,6-123,6	177,9-229,1
	Fossa/Estocagem sólida	6	12,1	15,1
	Pátio seco	3	4,5	6
	Aplicação diária no solo	0,3	1,5	3
	Biodigestão anaeróbia	6	6,8	7
Aves	Lagoa anaeróbia descoberta	128-175,1	190,7-198,6	198,6-209
	Armazenamento de dejetos líquidos/lodo > 1 mês	36,6-67,9	96,7-107,1	154,2-198,6
	Fossa/Estocagem sólida	5,2	10,5	13,1
	Pátio seco	2,6	3,9	5,2
	Biodigestão anaeróbia	5,2	10,5	13,1

Fonte: Adaptado da Tabela 10.14 do capítulo 10 vol. 4 do IPCC [21].

A Figura 9 ilustra como as rotas tecnológicas aplicam-se às diferentes cadeias animais, substituindo práticas mais emissoras por alternativas mitigadoras.

Figura 9. Rotas tecnológicas de manejo de dejetos pecuários: alternativas às práticas mais emissoras



Critérios para escolha tecnológica

No Brasil, tanto a **biodigestão** quanto a **compostagem** são incentivadas como práticas sustentáveis de tratamento. A escolha da tecnologia, porém, deve considerar:

- Volume e natureza dos dejetos gerados;
- Infraestrutura disponível;
- Clima e condições regionais;
- Potencial de aproveitamento energético ou agrônômico dos subprodutos;
- Viabilidade socioeconômica, de modo a equilibrar custos, benefícios e aceitação social.

Esse tipo de análise garante que a solução seja não apenas **tecnicamente viável**, mas também **economicamente sustentável** e **socialmente aceitável**.

MENSAGEM-CHAVE

Tecnologias adequadas reduzem emissões, geram energia e fertilizantes e trazem ganhos sociais. Substituir sistemas líquidos abertos por alternativas controladas pode reduzir emissões de CH₄ em até dez vezes. Essas escolhas formam a base para as estratégias adaptativas.

Lições para replicação

- 1. Mapeie antes de agir:** realize um diagnóstico detalhado de como os dejetos são gerados, armazenados e tratados em cada cadeia, o que garante que a tecnologia escolhida seja aplicada sobre uma base sólida de informações.
- 2. Priorize os maiores emissores:** lagoas anaeróbias abertas e esterqueiras devem ser os primeiros alvos, pois concentram os maiores volumes de metano.
- 3. Adapte a tecnologia ao contexto:** biodigestores funcionam melhor em polos intensivos com dejetos líquidos, enquanto a compostagem é mais adequada para cadeias que geram resíduos sólidos, como aves.
- 4. Valorize os cobenefícios:** além da redução de emissões, evidencie ganhos adicionais, como geração de energia renovável, produção de biofertilizantes e maior aceitação social da atividade.
- 5. Implemente em etapas:** integre as soluções às rotinas já existentes, para aumentar a adesão dos produtores e evitar rupturas econômica ou operacionalmente inviáveis.

3.5 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos

Com os diagnósticos e as tecnologias em mãos, o passo final é transformar informações em **estratégias adaptadas à realidade de cada país**. O mapeamento dos sistemas de produção animal é o processo de identificação de onde, como e em que condições os rebanhos são criados, cruzando dados de produção, território e emissões de GEE. Mais do que um diagnóstico técnico, esse mapeamento fornece a base para decisões estratégicas de mitigação e adaptação no setor pecuário.

A experiência brasileira mostra o valor dessa abordagem: ao integrar dados agropecuários e ambientais, foi possível identificar quais sistemas produtivos concentram mais emissões (ex.: confinamentos intensivos) e a intensidade das emissões por categoria animal (avicultura, suinocultura e bovinocultura). Essa diferenciação gera evidências práticas para orientar políticas climáticas em diferentes níveis — nacional, regional e local.

A seguir, apresentamos os princípios universais do mapeamento de sistemas de produção animal:

- 1. Ponto de partida:** o mapeamento de cadeias e sistemas produtivos é a etapa inicial de qualquer estratégia nacional de mitigação no setor pecuário.
- 2. Dados robustos:** a confiabilidade depende da qualidade das estatísticas. Lacunas comprometem diagnósticos e dificultam o acesso a financiamentos climáticos.
- 3. Censos e inventários contínuos:** a atualização regular de censos agropecuários, inventários de GEE e monitoramentos aumenta a credibilidade das políticas e reforça os compromissos internacionais.
- 4. Sistemas intensivos:** concentram grandes volumes de dejetos, formando polos de maior impacto e de mitigação mais imediata.
- 5. Sistemas extensivos:** embora dispersos, ocupam vastos territórios e sustentam milhões de pessoas; não podem ser negligenciados.
- 6. Critérios de priorização:** definir critérios claros (por exemplo, volume de emissões, relevância social, custo-benefício) fortalece a legitimidade das políticas e reduz disputas metodológicas.
- 7. Coordenação intersetorial:** transformar diagnósticos em políticas requer articulação entre agricultura, meio ambiente, energia, finanças e planejamento.
- 8. Adaptação local:** metodologias internacionais oferecem boas referências, mas sempre precisam ser ajustadas à realidade produtiva, climática e institucional de cada país.
- 9. Atualização contínua:** o mapeamento deve acompanhar mudanças de mercado, clima e intensificação produtiva, mantendo-se como ferramenta dinâmica de gestão.

Identificar onde estão as emissões e como elas se distribuem entre sistemas intensivos e extensivos ajuda a revelar os pontos fortes e fracos de cada abordagem de mapeamento. Essa análise é crucial para que os formuladores de políticas possam ajustar a metodologia ao seu contexto nacional, equilibrando confiabilidade técnica e viabilidade prática.

O Quadro 1, a seguir, apresenta, lado a lado, as principais vantagens, limitações e recomendações de uso do mapeamento de sistemas de produção animal.

Quadro 1. Vantagens e limitações do mapeamento de sistemas de produção animal

 VANTAGENS	 LIMITAÇÕES	 RECOMENDAÇÕES
Apoia a alocação eficiente de recursos, priorizando cadeias mais relevantes.	Depende da disponibilidade de dados atualizados, muitas vezes escassos em países em desenvolvimento.	Incentivar censos e inventários regulares como pré-condição.
Facilita o planejamento territorializado, conectando polos produtivos a políticas públicas.	Pode invisibilizar cadeias menores, mas socialmente relevantes (ex.: ovinos no semiárido, búfalos em áreas úmidas).	Combinar critérios de volume com relevância social/regional.
Permite análises comparativas entre espécies e regiões, úteis para relatórios internacionais.	Critérios múltiplos podem gerar disputas metodológicas e diferentes interpretações.	Estabelecer metodologia participativa e transparente.
Cria base sólida para integração com inventários nacionais e compromissos climáticos.	Ênfase excessiva em volume pode simplificar análises e negligenciar fatores sociais e ambientais.	Usar indicadores sociais e ambientais complementares.

A metodologia de mapeamento pode ser ajustada a diferentes contextos nacionais, ao levar em conta três dimensões fundamentais: (i) a estrutura produtiva dominante, (ii) a disponibilidade e a qualidade dos dados e (iii) as prioridades climáticas de cada país.

Nos exemplos a seguir, apresentamos práticas de mapeamento aplicáveis em diferentes continentes, sempre ilustradas com casos nacionais. O objetivo é mostrar como adaptar a mesma lógica a realidades diversas, preservando o valor comparativo e a utilidade prática para políticas públicas.

Aplicações regionais:

- **Integração de censos e inventários para diferenciar emissões concentradas e dispersas.** Exemplo: nos EUA e Canadá, a combinação de pastagens extensivas (*Great Plains*) com confinamentos intensivos (*Midwest feedlots*), além da avicultura e suinocultura concentradas, mostra como cruzar censos agropecuários com inventários de GEE ajuda a distinguir entre fontes difusas e polos produtivos bem delimitados.
- **Políticas regionais diferenciadas para sistemas extensivos e cadeias exportadoras.** Exemplo: na Argentina, Colômbia e Uruguai, a pecuária de corte extensiva convive com polos intensivos de aves e suínos voltados à exportação. O mapeamento permite a calibração de políticas distintas para realidades extensivas (com foco territorial) e intensivas (com foco tecnológico e sanitário).
- **Abordagens contrastadas entre regiões de alta densidade e sistemas semi-extensivos.** Exemplo: na União Europeia e Leste Europeu, países como Holanda, Dinamarca e Alemanha apresentam alta densidade de suínos e bovinos leiteiros, enquanto o Mediterrâneo e o Leste Europeu mantêm sistemas semiextensivos. Isso ilustra a importância da adoção de medidas tecnológicas em áreas de alta densidade e de estratégias de gestão territorial onde a produção é dispersa.
- **Diagnósticos híbridos que conciliam polos intensivos e produção familiar dispersa.** Exemplo: na China e Vietnã, predominam polos intensivos de suínos e aves; já no Sul da Ásia (Índia, Bangladesh, Paquistão), a produção leiteira familiar é dispersa e de pequena escala. Integrar dados detalhados de polos concentrados com indicadores indiretos para sistemas familiares garante diagnósticos adaptados às duas realidades.
- **Metodologias participativas e indicadores indiretos em contextos de baixa estatística oficial.** Exemplo: em países africanos, como Etiópia, Quênia, Uganda e na região do Sahel, predominam o pastoralismo e a pecuária extensiva, com emissões dispersas em grandes áreas. O aprendizado brasileiro demonstra que até cenários extensivos podem revelar áreas críticas; nesse contexto, metodologias participativas e o uso de indicadores indiretos tornam o mapeamento mais viável.

O mapeamento de sistemas de produção animal é uma ferramenta estratégica para políticas climáticas. Ele permite identificar onde estão as emissões e como elas se distribuem entre sistemas intensivos e extensivos, orientando ações mais precisas. A experiência brasileira mostra que integrar censos, inventários e dados territoriais cria uma plataforma metodológica adaptável a diferentes continentes, servindo de referência para estratégias nacionais de mitigação.

Recomendações universais para formuladores de políticas

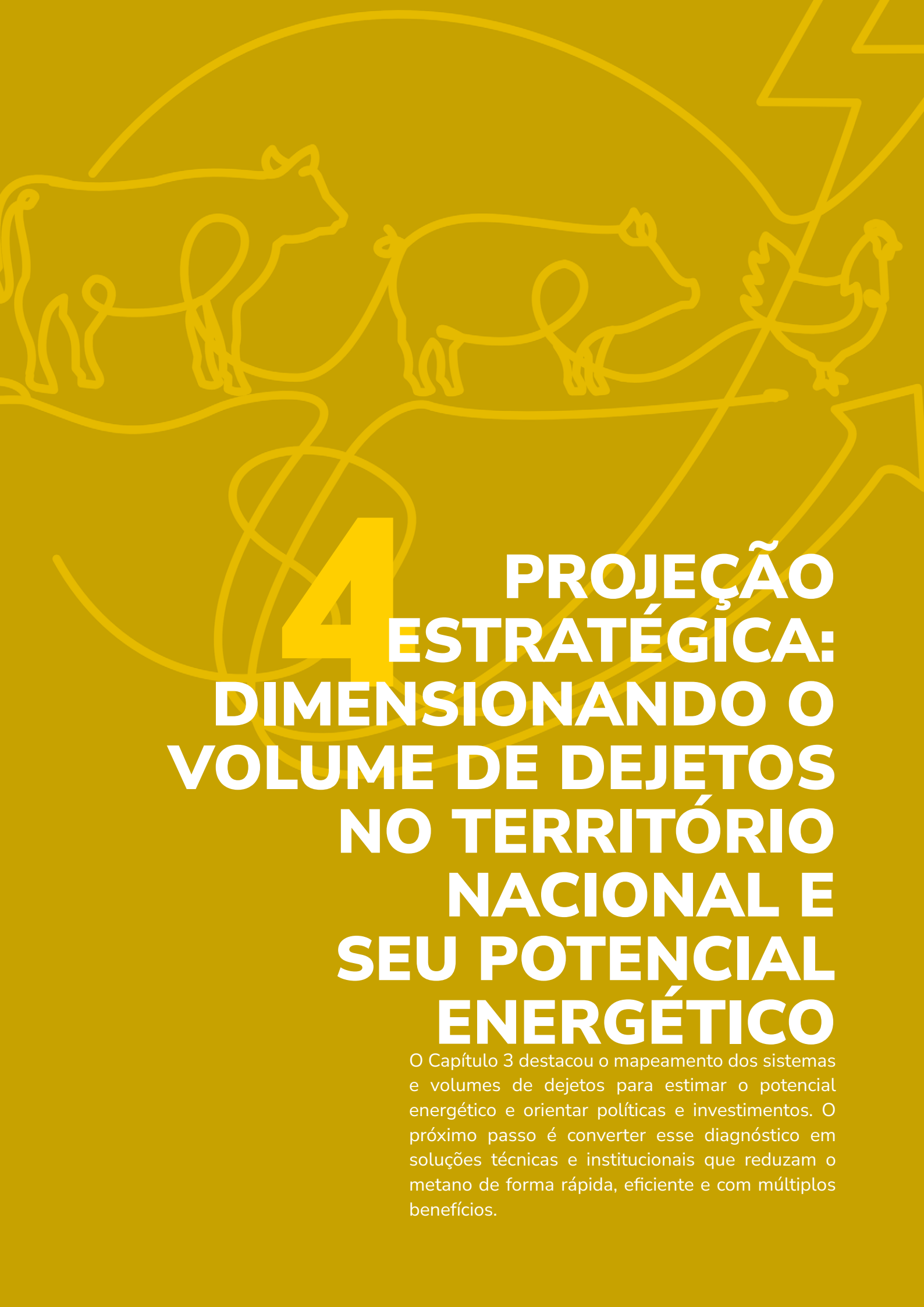
- 1. Transforme diagnósticos em políticas concretas:** use os resultados do mapeamento para desenhar planos de mitigação alinhados às prioridades nacionais e setoriais.
- 2. Crie mecanismos de financiamento climático:** vincule o mapeamento a estratégias de acesso ao crédito verde, a incentivos fiscais e aos fundos internacionais.
- 3. Garanta coordenação entre escalas de governo:** integre políticas nacionais, estaduais/regionais e municipais para aumentar a efetividade e evitar sobreposição de esforços.
- 4. Fortaleça a cooperação internacional:** compartilhe metodologias, dados e experiências por meio de plataformas como a CCAC e a GMI, ampliando comparabilidade e aprendizado mútuo.
- 5. Valorize a participação social e setorial:** envolva produtores, cooperativas, arranjos produtivos locais e sociedade civil no processo, garantindo legitimidade, adesão e maior chance de implementação bem-sucedida.

MENSAGEM-CHAVE

O mapeamento de sistemas deve se converter em políticas públicas consistentes, apoiadas por financiamento climático, coordenação intersetorial e cooperação internacional. Essa abordagem conecta a análise dos sistemas de produção animal e a identificação de prioridades com soluções institucionais e de financiamento.

✓ Checklist do Capítulo 3

☐	Identifique as cadeias produtivas prioritárias	Direciona ações para sistemas de maior impacto climático e potencial de mitigação.
☐	Caracterize os sistemas de produção	Diferencia níveis de intensificação para a aplicação de soluções ajustadas à realidade local.
☐	Quantifique e classifique os dejetos	Fornece base técnica para a estimativa de emissões e definição de rotas de manejo adequadas.
☐	Mapeie as práticas existentes	Localiza polos produtivos e lacunas de informação para o aprimoramento de diagnósticos regionais.
☐	Escolha tecnologias adequadas	Garante que políticas públicas se baseiem em soluções viáveis, replicáveis e com resultados climáticos comprovados.
☐	Adapte estratégias ao contexto	Ajusta intervenções conforme a intensidade produtiva e a infraestrutura disponível.
☐	Transforme diagnósticos em políticas públicas	Traduz evidências técnicas em medidas concretas de incentivo e gestão.



4 PROJEÇÃO ESTRATÉGICA: DIMENSIONANDO O VOLUME DE DEJETOS NO TERRITÓRIO NACIONAL E SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

O Capítulo 3 destacou o mapeamento dos sistemas e volumes de dejetos para estimar o potencial energético e orientar políticas e investimentos. O próximo passo é converter esse diagnóstico em soluções técnicas e institucionais que reduzam o metano de forma rápida, eficiente e com múltiplos benefícios.

As soluções são organizadas em duas dimensões complementares:

- **Tecnológica:** rotas de tratamento e aproveitamento de dejetos (biodigestão, compostagem, codigestão, manejo integrado), que, além de reduzir emissões, permitem gerar bioenergia e biofertilizantes.
- **Institucional:** arranjos regulatórios, incentivos econômicos, mecanismos de financiamento e estratégias de governança, que permitem ampliar a adoção das tecnologias e integrá-las às políticas públicas de agricultura, energia, meio ambiente e saúde.

A experiência brasileira demonstra que combinar essas duas dimensões aumenta a chance de sucesso. Programas de crédito rural verde, exigências regulatórias para grandes produtores e iniciativas de cooperação entre o setor público e o privado são exemplos que podem ser adaptados a diferentes contextos.

Em nível nacional, o Plano ABC, criado em 2010 e atualmente em sua segunda fase ABC+ (2020–2030), integra crédito rural, capacitação técnica, pesquisa aplicada e monitoramento de emissões para estimular a adoção de tecnologias de baixa emissão na agropecuária. Como exemplo em nível subnacional, o Paraná desenvolveu o RenovaPR (desde 2021), programa regulado por portaria e decreto estaduais, que prioriza biogás/biometano (além de outras fontes) e articula governo, cooperativas e bancos, em um arranjo escalável de integração entre crédito, regulação e adoção tecnológica no campo [22].

A transição de um diagnóstico setorial para uma estratégia de mitigação exige o dimensionamento do volume de dejetos gerados, da localização dos mesmos e do seu potencial de geração energética e de biofertilizantes. Este capítulo apresenta uma metodologia passo a passo que pode ser aplicada em diferentes países para a organização desse processo.

A escolha metodológica adotada, neste guia, parte da biodigestão — não que esta seja a única rota tecnológica disponível, mas porque ela permite traduzir dejetos em energia e biofertilizantes renováveis de maneira clara e mensurável, servindo como exemplo replicável. Ainda assim, os mesmos passos descritos, aqui, podem ser adaptados para outras rotas de manejo, como compostagem ou uso agrícola direto.

O objetivo é mostrar como transformar dados pecuários em indicadores técnicos úteis para políticas públicas, combinando informações sobre rebanhos, coeficientes zootécnicos e fatores de conversão energética com critérios práticos de priorização territorial.

MENSAGEM-CHAVE

Soluções técnicas e institucionais precisam caminhar juntas: tecnologias sem apoio político não se disseminam, e políticas sem base técnica não se sustentam. Este capítulo mostra como transformar diagnósticos em ações adaptáveis e replicáveis, com base na experiência brasileira aplicada em diferentes realidades do Sul Global.

4.1 Existem dados atualizados e confiáveis sobre o rebanho nacional?

O primeiro passo para projetar o potencial de aproveitamento energético dos dejetos pecuários é saber quantos animais de cada espécie existem, onde estão localizados e em quais sistemas produtivos se inserem. Sem essa base, qualquer projeção corre o risco de ser imprecisa e pouco útil para orientar políticas públicas.

Na maioria dos países, os censos agropecuários nacionais constituem a principal fonte, pois reúnem informações detalhadas sobre o número de animais criados por espécie, os sistemas produtivos e o perfil dos estabelecimentos. No entanto, esses censos têm periodicidade longa (por exemplo, a cada 10 anos) e, assim, podem não refletir mudanças recentes na produção. Por isso, recomenda-se combinar múltiplas fontes de dados para aumentar a confiabilidade das estimativas:

- Inventários nacionais de emissões de GEE (quando disponíveis).
- Bases internacionais como a FAO e a OCDE⁹.
- Estudos acadêmicos e setoriais, produzidos por universidades, centros de pesquisa e associações de produtores.
- Sistemas independentes de monitoramento, que atualizam anualmente as estimativas de emissões.

Essa triangulação aumenta a confiabilidade das estimativas e permite a identificação de lacunas de informação, que devem ser corrigidas em censos ou inventários futuros. Em países com menor capacidade estatística, mesmo levantamentos amostrais ou metodologias participativas podem ser um ponto de partida útil.

⁹ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é um organismo internacional formado por 38 países, que produz estudos, estatísticas e recomendações de políticas públicas em áreas como economia, meio ambiente, energia, educação e comércio. A OCDE mantém bases estatísticas e metodologias comparativas que podem complementar dados nacionais e internacionais, especialmente quando faltam censos agropecuários ou inventários de emissões detalhados. Exemplo, alguns países do Sul Global ainda não têm inventários atualizados de emissões pecuárias; nesse caso, dados da OCDE podem servir como ponto de referência ou para calibrar estimativas.

Outro desafio comum é a falta de desagregação dos dados. Muitas estatísticas informam apenas o número total de animais, sem distinguir se estes estão em sistemas de subsistência, extensivos, semi-intensivos ou confinados. Essa ausência dificulta a identificação dos polos com maior concentração de dejetos — justamente onde há maior viabilidade para tecnologias de aproveitamento.

Como superar essa lacuna?

Uma prática adotada é a definição de **critérios de corte** que permitem filtrar estabelecimentos com maior potencial de aproveitamento energético. Esses critérios podem ser baseados no porte do rebanho, na produtividade ou na infraestrutura disponível. Assim, evita-se superestimar o potencial nacional e foca-se em sistemas com maior relevância climática e energética. Em termos práticos, esses critérios de corte **não servem apenas ao diagnóstico**, pois funcionam como um filtro inicial de **viabilidade energética e econômica** ao indicarem onde projetos têm maior chance de se sustentar.

EXEMPLO PRÁTICO

No caso brasileiro, utilizou-se uma combinação de fontes: (i) o Censo Agropecuário do IBGE (2017), (ii) a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM, atualizada anualmente) e (iii) dados de associações setoriais. Para atualizar os números até 2024, aplicou-se regressão linear às séries históricas. Além disso, foram definidos critérios de corte mínimos para incluir apenas estabelecimentos com maior potencial de viabilidade técnica (Tabela 3).

Tabela 3. Critérios de corte por sistema produtivo para estimativa do potencial de biogás

Sistema produtivo em confinamento	Amostragem inicial
Suinocultura (matriz e terminação)	>500 animais
Avicultura de postura	>10.000 animais
Bovinocultura de leite	>201 vacas e produtividade >2.000 L/vaca/ano
Bovinocultura de corte	>1.600 animais

Essa filtragem inicial teve dois efeitos positivos: (i) reduziu o risco de superestimar o potencial de biogás, ao excluir estabelecimentos de subsistência ou de escala reduzida; e (ii) aumentou a aplicabilidade prática dos resultados, concentrando a análise em realidades onde as tecnologias de manejo e tratamento são viáveis.

MENSAGEM-CHAVE

Dados confiáveis e desagregados sobre o rebanho nacional são a base de qualquer projeção de dejetos e de potencial energético. Sem eles, políticas de mitigação ficam comprometidas. Investir em estatísticas oficiais regulares e combiná-las com fontes complementares são ações que aumentam a credibilidade técnica e política das projeções.

Lições para replicação

- 1. Revise o diagnóstico construído nas etapas anteriores:** valide se os dados globais (Capítulo 2) e nacionais (Capítulo 3) foram integrados de forma consistente antes de aplicar filtros territoriais.
- 2. Priorize a desagregação espacial dos dados:** evite que médias nacionais ocultem polos de alta concentração de dejetos, onde a adoção tecnológica é mais viável.
- 3. Defina critérios de corte objetivos:** estabeleça parâmetros mínimos de escala ou infraestrutura (número de animais, produtividade, capacidade instalada) para garantir viabilidade técnica e econômica.
- 4. Ajuste os critérios à realidade nacional:** considere governança, infraestrutura disponível e prioridades climáticas locais, além do nível de tecnificação e do porte dos estabelecimentos.
- 5. Reduza distorções nas estimativas:** aplique filtros consistentes, que aumentem a confiabilidade das análises e fortaleçam sua utilidade para políticas públicas, investidores e financiadores.

4.2 Os coeficientes zootécnicos de geração de dejetos e biogás são compatíveis com a realidade nacional?

Depois de identificar a dimensão do rebanho, o passo seguinte é estimar **quanto cada animal gera de dejetos** e **qual o potencial de produção de biogás** associado. Esses valores são expressos em **coeficientes zootécnicos**, que variam conforme a espécie animal, o sistema produtivo, a dieta, o tempo de permanência na unidade e as condições

de manejo. A escolha de valores inadequados pode levar a superestimativas ou subestimativas, que comprometem tanto o dimensionamento de tecnologias quanto a viabilidade de projetos.

Em muitos países, utilizam-se valores médios internacionais, publicados por instituições como a FAO e o IPCC. Esses parâmetros são úteis como ponto de partida, mas podem gerar distorções quando aplicados diretamente em contextos locais. Exemplo de riscos:

- Em regiões tropicais, coeficientes de CH₄ em lagoas de dejetos são muito mais altos do que em climas temperados, devido à temperatura média elevada.
- Dietas diferentes (mais volumosas ou mais concentradas) alteram a carga orgânica dos dejetos e, portanto, o potencial de produção de biogás.
- Genéticas específicas (e.x., raças bovinas adaptadas ao trópico) apresentam produtividade distinta da observada em países de referência.

Assim, sempre que possível, os coeficientes devem ser calibrados com dados nacionais obtidos em pesquisas científicas, relatórios setoriais ou monitoramentos de campo. Quando não houver séries locais completas, recomenda-se:

- Usar médias internacionais como referência inicial, mas ajustá-las a partir de informações regionais disponíveis.
- Promover estudos de validação em polos produtivos estratégicos, que sirvam como base para extrapolar resultados.
- Adotar valores diferenciados por clima e sistema produtivo, evitando aplicar um único coeficiente a todo o país.

Além da geração média de dejetos, outro fator central é a regularidade da oferta ao longo do ano:

- **Sistemas intensivos e confinados** (suinocultura, avicultura de postura, bovinocultura de leite) tendem a apresentar uma produção estável e contínua de dejetos, o que favorece a operação de biodigestores e outros sistemas de tratamento. Interrupções, como os vazios sanitários na avicultura e suinocultura, geralmente são planejadas e de curta duração.
- **Sistemas extensivos ou semi-intensivos**, por sua vez, apresentam sazonalidade maior. Na bovinocultura de corte extensiva, por exemplo, uma menor quantidade dos dejetos produzidos tem viabilidade de coleta para aproveitamento, pois os mesmos se encontram dispersos no território e são altamente dependentes da estação chuvosa, o que reduz a previsibilidade e aumenta os desafios logísticos.

Esse mapeamento permite não apenas a projeção do potencial de biogás com maior realismo, mas, também, a identificação de situações em que o fluxo de dejetos é insuficiente ou irregular. Nesses casos, alternativas como a codigestão com outros resíduos orgânicos (dejetos de outros animais, restos de alimentos, efluentes agroindustriais, resíduos agrícolas) podem aumentar a eficiência da biodigestão, estabilizar a produção de biogás e ampliar o potencial energético. Assim, o conhecimento detalhado dos coeficientes zootécnicos deixa de ser apenas um requisito metodológico e se torna, também, uma ferramenta para orientar estratégias tecnológicas mais robustas.

Além disso, a reciclagem dos dejetos/digestatos como fertilizante deve ser manejada com base na necessidade agronômica e na capacidade do solo, pois se trata de uma prática que pode causar impacto ambiental se não for bem conduzida. Quando aplicados apenas nas quantidades necessárias, segundo critérios agronômicos, os dejetos/digestatos animais podem substituir fertilizantes minerais de forma eficiente, aumentando a produtividade das culturas, melhorando a qualidade do solo e reduzindo custos de produção. Entretanto, o uso em excesso, acima do volume que o solo e as plantas conseguem reciclar, pode gerar impactos ambientais significativos, incluindo emissões de gases de efeito estufa, lixiviação de nutrientes e contaminação do solo [23].

EXEMPLO PRÁTICO

No Brasil, diferentes estudos já consolidaram valores de referência para as principais cadeias pecuárias e para o potencial de biogás. A Tabela 4 apresenta fatores médios de geração de efluentes e de produção de biogás por categoria animal. Esses números mostram como dados locais podem ser sistematizados para apoiar projeções nacionais, mas devem sempre ser interpretados como valores de referência ajustáveis conforme o contexto.

Tabela 4. Fatores de geração de dejetos e de produção de biogás na pecuária brasileira

Categoria	Ciclo produtivo da unidade (dias/ano)	Fator de geração de resíduo no ciclo produtivo selecionado (m ³ dejetos/ano/animal)	Fator de produção de biogás no ciclo produtivo selecionado (Nm ³ biogás/animal/ano)
Suinocultura terminação	347,2	1,54 ^a	34,64 ^f
Suinocultura matriz	365	4,16 ^a	51,42 ^f
Avicultura de postura	365	0,04 ^{d, e}	5,11 ^d
Bovinocultura de leite	365	15,13 ^{b, c}	264,01 ^f
Bovinocultura de corte	365	8,76 ^{b, c}	203,85 ^f

Fonte: a[24]; b[25]; c[26]; d[17]; e[27]; f[28].

Esses números devem ser sempre vistos como referenciais, e não como valores fixos. Eles podem variar de acordo com fatores, como:

- dieta dos animais;
- sistema produtivo (intensivo, semi-intensivo, extensivo);
- tempo de permanência em confinamento;
- condições climáticas;
- genética e produtividade dos rebanhos.

MENSAGEM-CHAVE

Usar coeficientes internacionais sem calibração pode levar a estimativas distorcidas. A adaptação à realidade nacional – considerando clima, dieta, genética e sistemas produtivos – é fundamental para a geração de projeções confiáveis de dejetos e de biogás.



Lições para replicação

- 1. Use coeficientes internacionais apenas como referência inicial:** eles oferecem comparabilidade, mas precisam ser ajustados.
- 2. Valide com dados nacionais sempre que possível:** pesquisas acadêmicas e relatórios setoriais aumentam a precisão das estimativas.
- 3. Diferencie coeficientes por clima e sistema produtivo:** reduza erros evitando aplicar valores únicos em realidades heterogêneas.
- 4. Estabeleça polos de validação experimental:** medições em campo permitem a extrapolação de resultados para outras regiões, de forma mais confiável.
- 5. Atualize periodicamente os coeficientes nacionais:** mudanças em genética, manejo e alimentação alteram o perfil dos dejetos e o potencial energético.

4.3 A projeção está territorializada para orientar políticas públicas regionais?

Uma projeção nacional de dejetos, de potencial energético e de potencial de biofertilizantes só se torna realmente útil quando é territorializada, ou seja, quando mostra como os volumes de animais, dejetos e emissões estão distribuídos no espaço. Essa etapa permite transformar estatísticas em informações práticas para políticas públicas, investimentos regionais e estratégias de mitigação.

Sem territorialização, há o risco de se empregar esforços em regiões de baixa relevância ou de ignorar polos produtivos que concentram os maiores volumes de dejetos. Por exemplo, um país pode ter um grande rebanho bovino nacional, mas apenas certas áreas, como polos de confinamento, concentram emissões e oportunidades de aproveitamento energético. Em outras palavras, a territorialização **prioriza onde a produção de biogás e biofertilizantes é mais factível**, reduzindo o risco de se alocar recursos em áreas com baixa relação custo-benefício.

A desagregação espacial — seja por mesorregiões, microrregiões, províncias ou distritos, conforme a realidade de cada país — permite identificar polos prioritários, reduzir assimetrias estatísticas e ajustar as soluções às condições locais.

Quando os resultados são apresentados de forma territorializada, torna-se possível responder a perguntas-chave, como:

- Onde estão concentrados os maiores rebanhos confinados?
- Quais regiões já possuem infraestrutura que pode ser aproveitada?
- Onde a adoção de biodigestores ou compostagem terá maior impacto imediato?

Para tanto, aplique **critérios de corte** territoriais (densidade animal, nível de confinamento, proximidade de infraestrutura elétrica/gás e áreas de produção agrícola para uso dos biofertilizantes), pois eles **encurtam o caminho** entre **estimativa técnica** e **viabilidade de implantação**. Essa abordagem evidencia que não basta estimar o potencial nacional agregado: é preciso mostrar quem, onde e como pode ser atendido primeiro.

Ferramentas para territorialização e dica de implementação:

- **Mapas municipais ou regionais de rebanho:** produzidos por censos agropecuários ou pesquisas estatísticas periódicas (pesquisas municipais de pecuária no Brasil, inquéritos agropecuários na Índia e Etiópia).
- **Inventários subnacionais de emissões:** elaborados por governos locais, universidades ou sistemas independentes (estimativas regionais de emissões na América Latina e na Ásia).
- **Dados georreferenciados de estabelecimentos agropecuários:** quando disponíveis, permitem análises detalhadas por propriedade ou polo produtivo (cadastros rurais no Brasil, mapas de uso da terra na Indonésia e na Nigéria).

Como dica de implementação, ao iniciar um programa nacional, priorize regiões com forte presença de cadeias em sistemas confinados e infraestrutura existente (cooperativas, agroindústrias, cooperativas de eletrificação rural). Essa priorização aumenta a chance de viabilidade econômica e acelera a geração de resultados.

EXEMPLO PRÁTICO

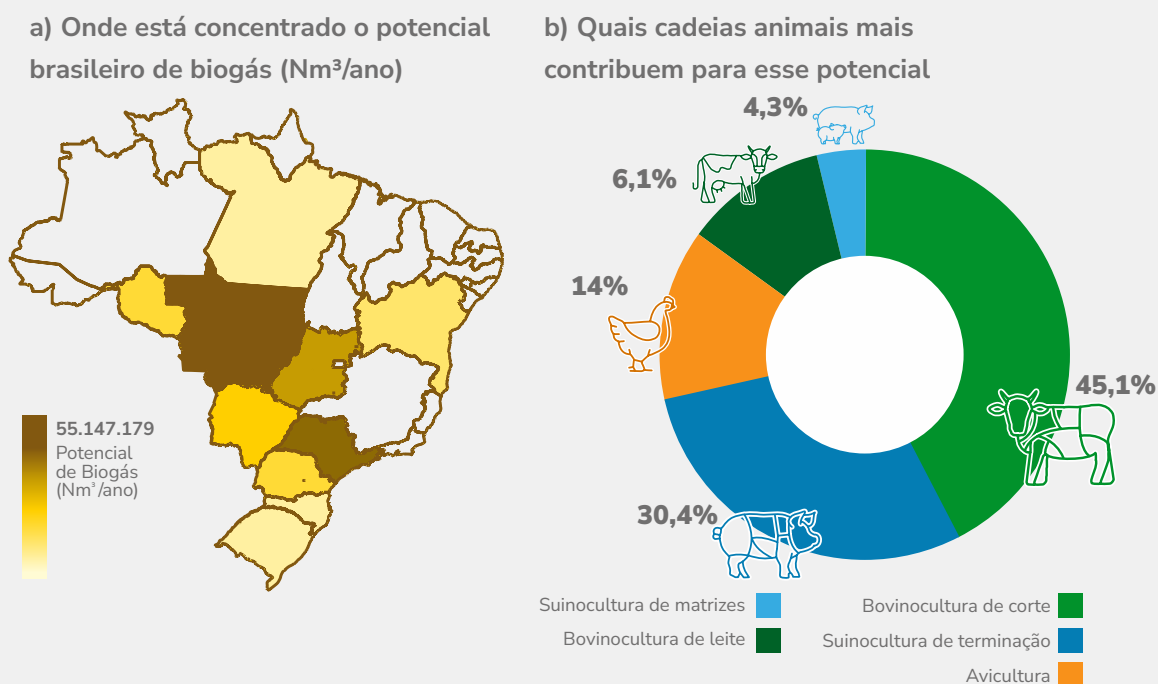
No Brasil, o potencial técnico total de produção de biogás foi estimado em 2,8 bilhões Nm^3/ano , com maior concentração nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (Figura 10a). Apenas cinco estados — São Paulo, Mato Grosso, Santa Catarina, Goiás e Paraná — respondem por 65,8% do potencial nacional. Esses territórios reúnem:

- elevada densidade animal;
- forte presença de cadeias confinadas (suínos, bovinos, aves);
- infraestrutura agropecuária consolidada;
- logística favorável para escoamento de energia e biofertilizantes.

Esse recorte territorial orienta políticas e investimentos a partir de polos estratégicos de impacto.

No detalhamento por cadeias (Figura 10b), a bovinocultura de corte e a suinocultura de terminação representam, juntas, mais da metade do potencial nacional, seguidas pela avicultura de postura, bovinocultura de leite e suinocultura matriz.

Figura 10. Potencial de produção de biogás na pecuária brasileira



Além da visão geral, é essencial considerar a distribuição geográfica por setor. A identificação das micro e mesorregiões em que cada categoria animal mais contribui para o potencial de biogás permite a proposição de medidas de mitigação mais eficazes, a viabilização da codigestão de resíduos e o planejamento da instalação de biodigestores centralizados, capazes de atender localidades próximas.

Exemplos de aplicação regional

- Suinocultura de terminação: concentrada no Sul (70,7% do volume nacional). O Oeste Catarinense é polo de referência, com forte integração agroindustrial (Figura 11a).
- Suinocultura matriz: segue o mesmo padrão territorial, reforçando a sinergia estratégica entre fases produtivas (Figura 11b).
- Avicultura de postura: padrão mais pulverizado, mas com destaque para São Paulo (37% do total), Espírito Santo e Minas Gerais (Figura 12).
- Bovinocultura de leite: distribuição mais dispersa, com polos no Triângulo Mineiro e Centro Goiano (Figura 13a).
- Bovinocultura de corte: concentrada no Centro-Oeste e Sudeste (quase 80% do total), mas com potencial subaproveitado nos sistemas extensivos (Figura 13b).

Esses exemplos mostram como a territorialização orienta escolhas diferentes para cada cadeia produtiva: na suinocultura, arranjos coletivos e cooperativos; na avicultura, soluções regionais pulverizadas; na bovinocultura, foco em confinamentos de corte e em fazendas de leite mais tecnificadas.

Figura 11. Potencial territorial de biogás da suinocultura

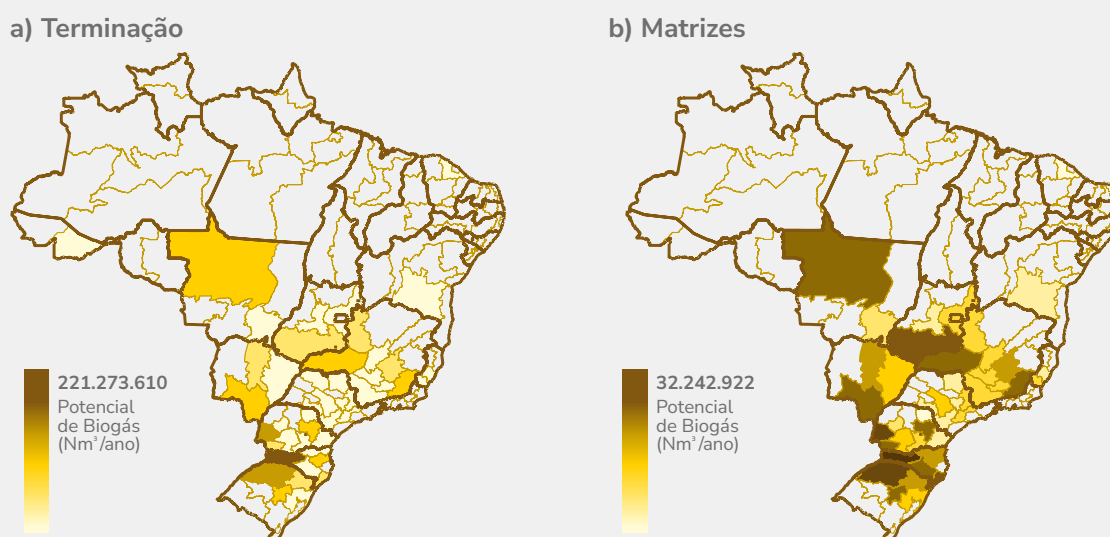


Figura 12. Potencial territorial de biogás da avicultura de postura

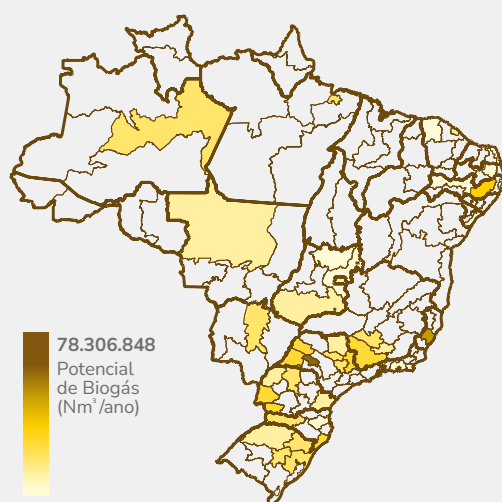
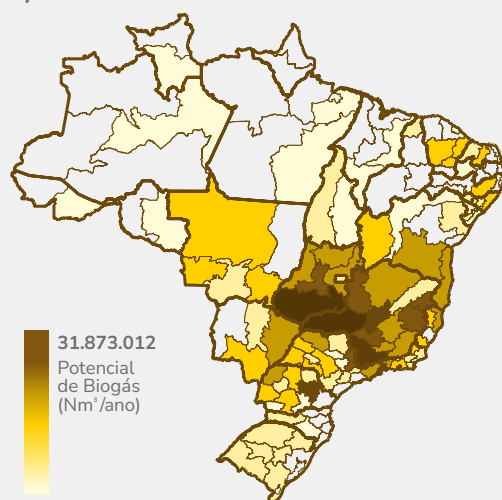
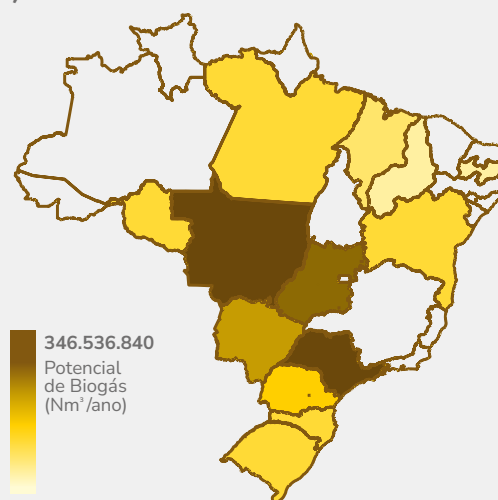


Figura 13. Potencial territorial de biogás da bovinocultura

a) Leite



b) Corte



Essa leitura regionalizada orienta políticas diferenciadas: incentivos à biodigestão em áreas de suínos e bovinos confinados, compostagem, em polos avícolas, e manejo de pastagens em áreas de pecuária extensiva.

MENSAGEM-CHAVE

A territorialização transforma números agregados em diagnósticos úteis para políticas públicas regionais. Sem ela, projeções nacionais ficam pouco operacionais. Mapas e inventários subnacionais permitem a definição de onde cada tecnologia apresenta maior viabilidade e impacto.

Lições para replicação



- 1. Territorialize as projeções nacionais:** transforme estatísticas agregadas em dados desagregados, que permitem gerar mapas regionais para a orientação de políticas públicas e investimentos.
- 2. Use fontes subnacionais sempre que disponíveis:** pesquisas municipais, inventários regionais e sistemas independentes aumentam a precisão das estimativas.
- 3. Identifique polos produtivos estratégicos:** concentre esforços em regiões com maior densidade de dejetos, onde a mitigação traz mais retorno.
- 4. Adote políticas diferenciadas por região:** aplique tecnologias intensivas em áreas de alta densidade e estratégias de manejo territorial em sistemas extensivos.
- 5. Atualize periodicamente os diagnósticos:** assegure que as projeções reflitam mudanças no rebanho, no mercado e no clima.
- 6. Priorize regiões com infraestrutura existente:** cooperativas, agroindústrias e redes de eletrificação rural aumentam a viabilidade econômica e aceleram resultados.

4.4 Quais formas de energia podem ser geradas a partir dos dejetos pecuários?

Os dejetos animais podem ser aproveitados de diferentes maneiras, variando de rotas mais simples, como a compostagem ou o uso direto como fertilizante, até alternativas mais sofisticadas, como a produção de energia elétrica a partir do biogás. Cada rota tem vantagens, limitações e requisitos técnicos específicos, que dependem da escala de produção, das características dos dejetos, do tipo de sistema pecuário, da infraestrutura existente e das condições regionais.

Neste guia, o foco recai na produção de biogás, pois esta é a tecnologia que: propicia uma maior contribuição direta para a mitigação do metano, apresenta aplicabilidade em diferentes cadeias produtivas e possibilita múltiplos usos energéticos. No entanto,

é importante lembrar que as metodologias, aqui apresentadas, podem ser adaptadas para outras formas de aproveitamento, desde que ajustadas ao contexto nacional. As rotas energéticas possíveis são:

- **Eletricidade** – O biogás pode ser convertido em energia elétrica por meio de motogeradores. Essa rota é especialmente relevante em áreas rurais, pois pode garantir o abastecimento descentralizado, reduzir custos com energia e até gerar excedentes comercializáveis.
- **Energia térmica** – O calor resultante da combustão do biogás pode ser aproveitado em processos produtivos locais, como secagem de grãos, aquecimento de aviários e de berçários de suínos, pasteurização de leite ou aquecimento de água. Essa opção é simples, eficiente e pode reduzir custos diretos do produtor.
- **Biometano** – Após passar por um processo de purificação (upgrading), o biogás pode ser transformado em biometano, com qualidade equivalente à do gás natural. O biometano pode ser usado como combustível veicular, substituto do diesel em frotas agrícolas ou injetado em gasodutos, promovendo integração com sistemas energéticos nacionais.

Além da energia, a biodigestão gera digestato, um biofertilizante com teores variáveis de nutrientes (conforme o material de origem), com micro-organismos benéficos às plantas, que pode substituir, em parte, adubos sintéticos e reduzir custos de produção agrícola.

Como tornar os números tangíveis?

Para que as projeções não fiquem restritas a unidades técnicas pouco acessíveis, como metros cúbicos normais por ano (Nm^3 de biogás/ano), recomenda-se traduzir os resultados em **equivalências energéticas** de fácil compreensão. Essa tradução é fundamental para a comunicação do potencial a **tomadores de decisão, investidores e sociedade**, de modo a fortalecer o argumento de viabilidade:

- **Número de residências** que poderiam ser abastecidas a eletricidade gerada;
- **Litros de diesel** que poderiam ser substituídos em frotas agrícolas, de transporte público ou veículos de carga;
- **Toneladas/ano de fertilizantes químicos** que poderiam ser substituídas pelo biofertilizante resultante da biodigestão.

Essas métricas simples e comparativas ajudam a demonstrar o valor dos investimentos em tecnologias de aproveitamento de dejetos, tornando mais visíveis e compreensíveis os benefícios climáticos, energéticos e econômicos para investidores e tomadores de decisão.

O cálculo das equivalências energéticas depende da aplicação de parâmetros reconhecidos internacionalmente, como:

- Poder calorífico do metano: ~9,97 kWh/Nm³ CH₄ [29];
- Eficiência média de motogeradores: 30–40% [30];
- Eficiência de *upgrading* para biometano: >97% [31];
- Teor médio de metano no biogás: 55–65% [32].

Esses valores devem sempre ser ajustados ao contexto local, respeitando a composição média dos dejetos, o clima e o nível de tecnificação dos sistemas produtivos. O uso desses parâmetros permite a comparação de cenários e a tradução do potencial energético em indicadores mais próximos da realidade do setor produtivo e das políticas públicas.

EXEMPLO PRÁTICO

O potencial técnico de biogás, estimado para o Brasil, poderia abastecer cerca de **1,8 milhão de residências** por ano com energia elétrica renovável e descentralizada. Essa mesma energia, convertida em biometano, poderia substituir, aproximadamente, **2,0 bilhões de litros de diesel**, reduzindo custos logísticos e emissões de GEE. Na prática, parte desse potencial já é aproveitada. Na suinocultura do Sul do Brasil, biodigestores transformam dejetos em biogás, que é utilizado para gerar eletricidade em cooperativas e agroindústrias. O digestato resultante é aplicado nas lavouras de milho e soja, substituindo, em parte, fertilizantes químicos importados. Esse modelo, adaptável a outros países do Sul Global, mostra como integrar segurança energética e segurança alimentar em uma única solução.

MENSAGEM-CHAVE

Os dejetos pecuários podem ser transformados em eletricidade, calor, biometano e biofertilizantes. Essa diversificação amplia os cobenefícios ambientais, energéticos e econômicos, tornando os sistemas de mitigação mais atrativos e replicáveis.



Lições para replicação

- 1. Diversifique as rotas energéticas:** avalie eletricidade, calor, biometano e cogeração, conforme o perfil do mercado local.
- 2. Integre produção de energia e fertilizantes:** valorize o digestato como biofertilizante, de modo a fortalecer a segurança alimentar e reduzir custos com insumos químicos.
- 3. Adapte ao porte e à infraestrutura:** pequenas propriedades podem usar biogás para cocção e calor; grandes cooperativas podem investir em cogeração ou biometano.
- 4. Explore mercados de substituição de fósseis:** biometano pode substituir diesel em frotas e gás natural em redes, reduzindo emissões e custos.
- 5. Garanta sustentabilidade econômica:** associe projetos energéticos a cadeias agroindustriais organizadas (cooperativas, consórcios) para viabilizar investimentos e ampliar escala.

A queima do biogás em **flares abertos** (ou queimadores simples) é, em muitos casos, apresentada como uma solução “moderna” para reduzir emissões. No entanto, quando mal aplicados, esses dispositivos podem gerar mais poluição do que uma lagoa de dejetos convencional.

Por que isso acontece?

- **Alta produção de metano pelos biodigestores:** a biodigestão converte rapidamente grandes volumes de dejetos em biogás rico em metano (CH_4), o que é desejável para fins energéticos.
- **Baixa eficiência da queima em flares abertos:** flares abertos queimam o biogás de forma incompleta, com eficiência frequentemente **inferior a 50%** [33]. Grande parte do CH_4 escapa sem ser destruída.
- **Impacto climático líquido maior:** quando o metano concentrado não é queimado de forma eficiente, o efeito climático pode ser pior do que a decomposição gradual em lagoas, as quais, embora também liberem CH_4 , fazem isso em menor velocidade.

PONTO PRINCIPAL

Captar biogás só faz sentido climático se houver **aproveitamento adequado**. Flares fechados – ou, preferencialmente, a conversão em **energia elétrica, térmica ou biometano** – asseguram eficiência de destruição do CH_4 acima de **98%**, substituem combustíveis fósseis e geram benefícios ambientais, econômicos e sociais.

4.5 Além de viabilidade técnica, a tecnologia apresenta viabilidade econômica?

A viabilidade de projetos de aproveitamento de dejetos não depende apenas de cálculos técnicos sobre o volume de biogás ou biofertilizante que pode ser gerado. O fator decisivo para a adoção em larga escala é a **sustentabilidade econômica**, pois os sistemas exigem **investimentos iniciais significativos em infraestrutura (CAPEX)** e **custos operacionais permanentes (OPEX)**. Portanto, antes de avançar para estudos detalhados, é recomendável realizar uma **análise de pré-viabilidade econômica**, que funciona como filtro inicial para a identificação dos projetos que têm maior chance de retorno positivo

Principais componentes de custo:

Principais componentes de custo:

- **Investimento inicial (CAPEX):** construção de biodigestores, sistemas de purificação de biogás, motogeradores ou unidades de cogeração.
- **Operação e manutenção (OPEX):** mão de obra qualificada, reposição de peças, monitoramento e controle.
- **Logística:** transporte de dejetos, distribuição do biofertilizante e integração à rede elétrica ou de gás.

Fontes de receita e economia:

- **Substituição de insumos:** redução de custos com fertilizantes químicos e combustíveis fósseis.
- **Venda de excedente energético:** eletricidade, biometano ou energia térmica para propriedades vizinhas, cooperativas ou redes locais.
- **Créditos de carbono e financiamentos verdes:** projetos podem ser remunerados por reduzir emissões de CH₄ e N₂O.
- **Cobenefícios econômicos indiretos:** redução de odores, maior aceitação social e possibilidade de novos fluxos de renda para produtores.

EXEMPLO PRÁTICO

Estudos técnicos conduzidos no Brasil indicam que o tempo de retorno do investimento em biodigestores agropecuários pode variar amplamente conforme a escala de produção, o modelo de gestão e o nível de aproveitamento dos subprodutos. Os sistemas integrados, como os organizados em torno de cooperativas, agroindústrias ou consórcios de produtores, mostram que biodigestores se pagam entre, aproximadamente, 3 e 6 anos [34],[35], porém, dependendo da escala, podem ser necessários períodos mais longos [36]. Em contrapartida, pequenas propriedades isoladas, sem escala ou integração a cadeias organizadas, tendem a apresentar retornos em períodos mais longos e maior dependência de apoio técnico, de crédito rural e de políticas públicas para viabilizar o investimento [37].

A viabilidade econômica de projetos de biogás depende de múltiplos fatores. A Tabela 5, a seguir, resume as condições mais favoráveis, os riscos e as limitações mais comuns, destacando como cada variável pode acelerar ou dificultar a adoção em diferentes contextos nacionais.

Tabela 5. Condições que influenciam a viabilidade econômica de projetos de biogás

Fator	Condição favorável	Risco/limitação
Escala de produção	Alta densidade animal (suínos, aves, bovinos confinados)	Pequena escala dispersa – custos elevados/unidade
Infraestrutura	Presença de cooperativas, redes elétricas ou de gás	Isolamento geográfico – inviabiliza comercialização
Políticas e incentivos	Tarifa <i>feed-in</i> ¹⁰ , créditos de carbono, financiamento verde	Ausência de incentivos – retorno lento
Mercado de biofertilizantes	Substituição de químicos caros/importados	Preços baixos – limita captura de valor

Esta tabela apresenta fatores típicos usados em análises de viabilidade no Brasil, mas o mesmo modelo pode ser adaptado a outros países do Sul Global. Recomenda-se ajustar as variáveis (escala de rebanho, preços de energia e fertilizantes, disponibilidade de infraestrutura e políticas de incentivo) conforme a realidade local e os dados disponíveis.

¹⁰ Mecanismo de incentivo econômico usado por governos para estimular a geração de energia renovável.

4.5.1 Como estruturar uma análise de pré-viabilidade?

Antes de investir em estudos detalhados, é fundamental realizar uma análise de pré-viabilidade, pois esta permite verificar se um projeto de biodigestores ou compostagem tem condições de ser economicamente atrativo. Esse processo funciona como filtro inicial, especialmente importante em países do Sul Global, onde os recursos para investimento são limitados. A análise pode ser organizada em quatro etapas principais:

1. Levantamento de dados básicos

Reúna as informações mínimas necessárias para iniciar os cálculos:

- **Investimento inicial (CAPEX):** obras civis, sistemas de pré-tratamento (bombas, peneiras, separadores), biodigestores (lagoa coberta ou reator de agitação contínua (CSTR), tratamento do biogás (dessulfurização, secagem, filtragem) e sistemas de uso final (geração elétrica, biometano ou uso térmico). Inclua também comissionamento, treinamento e integração.
- **Reinvestimentos:** equipamentos têm diferentes vidas úteis (ex.: lagoa coberta $\approx$ 15 anos; CSTR $\approx$ 25 anos) e precisarão ser substituídos no decorrer do tempo de uso.
- **Custos operacionais (OPEX):** energia elétrica, insumos químicos (carvão ativado, lubrificantes), mão de obra e manutenção.
- **Receitas potenciais:** economia com autoconsumo energético, venda de energia ou biometano, taxa de tratamento de resíduos (gate fee), créditos de carbono (Créditos de Descarbonização (CBios¹¹), créditos voluntários) e biofertilizantes.
- **Indicadores de contexto:** inflação, preço local de energia e combustíveis, linhas de crédito disponíveis, políticas de incentivo.

2. Estruture um fluxo de caixa simplificado

Depois de levantar os dados básicos, o próximo passo é simular as entradas e saídas de dinheiro ao longo do tempo, para verificar se o projeto “se paga”. Essa simulação, que é denominada fluxo de caixa, pode ser feita em planilha, mesmo de forma simplificada. Um fluxo de caixa para pré-viabilidade deve incluir:

- **Custos de investimento (CAPEX + reinvestimentos):** Imagine como uma grande despesa inicial (construção, compra de equipamentos, instalação). Depois, ao longo dos anos, alguns equipamentos precisarão ser substituídos — esses são os “reinvestimentos”.

¹¹ CBIO é um título financeiro brasileiro, criado pelo programa RenovaBio, para incentivar a redução de emissões no setor de combustíveis. Fora do Brasil, instrumentos equivalentes incluem créditos de carbono em mercados regulados (i.e., União Europeia) ou voluntários (i.e., Verra e Gold Standard).

- **Custos operacionais anuais (OPEX):** São as despesas para manter o sistema funcionando, como energia elétrica para bombas e agitadores, insumos químicos, manutenção e salários de operadores. Esses custos devem ser ajustados ao longo do tempo, porque preços tendem a subir com a inflação.
- **Receitas estimadas:** Aqui entram todas as formas de ganho ou economia que o projeto pode gerar. Podem ser a economia na conta de energia elétrica ou no diesel (se o produtor usar o biogás no lugar da energia comprada), a venda de energia ou biometano, a venda de biofertilizantes ou, até mesmo, o recebimento de créditos de carbono. Essas receitas também devem ser atualizadas ao longo do tempo, acompanhando preços de energia e mercado.
- **Fluxo de caixa anual:** É o saldo de cada ano: Receitas – Custos operacionais. Se for positivo, o projeto está gerando retorno.
- **Fluxo de caixa acumulado:** É como acompanhar uma poupança: soma-se o saldo de cada ano e subtrai-se o investimento inicial. A partir do momento em que o acumulado fica positivo, significa que o investimento inicial foi recuperado.

Exemplo simplificado: Um produtor de suínos que gasta R\$ 20 mil/mês de energia elétrica pode economizar R\$ 15 mil/mês ao instalar um biodigestor. Com investimento inicial de R\$ 2 milhões, o fluxo de caixa permite calcular em quantos anos essa economia (somada ao uso de biofertilizantes) cobre o investimento.

3. Calcule indicadores econômicos principais

Depois de montar o fluxo de caixa, é hora de medir se o projeto é realmente vantajoso. Para isso, usamos alguns indicadores simples que resumem a viabilidade econômica.

- **Payback simples/descontado (tempo de retorno):** Mostra em quantos anos o investimento inicial será recuperado. Exemplo: se o investimento foi de R\$ 2 milhões e o projeto gera R\$ 500 mil de economia/ano, o *payback* simples é de 4 anos. O *payback* descontado leva em conta que o dinheiro de hoje vale mais do que o dinheiro de amanhã (considera inflação e custo do capital).
- **Valor Presente Líquido (VPL):** Calcula-se, somando todos os ganhos futuros (ajustados para o valor de hoje), se o projeto gera riqueza extra além do que custou. Exemplo: um VPL positivo significa que no investimento gerou “sobra dinheiro” depois de cobrir o custo de capital.
- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** É a “rentabilidade percentual anual” do projeto. Se for maior do que a taxa mínima de atratividade (TMA) usada pelo país, banco ou investidor, significa que o projeto é rentável.
- **Retorno sobre o Investimento (ROI):** Mede a eficiência: quanto lucro líquido

o projeto gera em relação ao investimento inicial. É uma forma simples de comparação com outras opções.

- **Custo Nivelado da Energia (LCOE) e do Biogás (LCOB):** Mostram o custo médio de produção de 1 MWh de energia ou de 1 Nm³ de biogás ao longo da vida útil do projeto. Exemplo: se o LCOE for menor que o preço que o produtor paga pela energia elétrica local, o projeto é competitivo.

4. Defina critérios de decisão

Agora que os indicadores foram calculados, é hora de decidir se o projeto é atrativo ou não. Esses critérios podem variar de país para país, mas, em geral, seguem boas práticas aceitas internacionalmente:

- **VPL positivo:** significa que o projeto cria valor além do que custou. Exemplo: se o VPL for R\$ 200 mil quer dizer que, ao final da vida útil, o projeto deixou esse valor extra de riqueza.
- **TIR maior que a TMA:** a taxa interna de retorno (TIR) deve ser maior do que a taxa mínima de atratividade (TMA), que é quanto bancos ou investidores exigem como “rentabilidade mínima” para investir. Exemplo: se a TMA é 12% ao ano e a TIR é 18% ao ano, o projeto é rentável.
- **Payback aceitável:** o tempo de retorno precisa fazer sentido para quem investe. Cooperativas geralmente trabalham com horizontes de 5–7 anos, enquanto grandes projetos podem tolerar retornos mais longos, de 10–12 anos.
- **LCOE/LCOB competitivos:** o custo médio da energia ou do biogás produzido deve ser menor ou, no mínimo, próximo ao preço da energia elétrica, diesel ou gás natural, no mercado local. Exemplo: se o biodigestor produz energia a R\$ 350/MWh e o preço da rede é de R\$ 420/MWh, o projeto é competitivo.

Exemplo simplificado: Um biodigestor rural com VPL positivo, TIR de 18% ao ano (acima da TMA de 12%), *payback* de 6 anos e custo de energia abaixo da tarifa rural local pode ser considerado economicamente viável e competitivo. Os valores de referência (TMA, preços de fertilizantes, custos de energia) variam entre países, mas o método de análise é universal e pode ser adaptado conforme o contexto local.

[Clique para acessar a ferramenta técnica](#) para estudos de pré-viabilidade de dejetos da pecuária, na qual é possível estimar custos, receitas, retorno inicial e, assim, simular estudos pré-viabilidade.

MENSAGEM-CHAVE

A viabilidade econômica é o elo entre o potencial técnico e a adoção real. Projetos de biodigestores e compostagem só avançam quando superam o filtro da pré-viabilidade, equilibrando investimentos iniciais (CAPEX) e custos operacionais (OPEX) com receitas de energia, fertilizantes e créditos de carbono. Modelos coletivos, infraestrutura regional e políticas públicas aumentam significativamente as chances de sucesso.

Lições para replicação

1. Sempre comece simples: antes de gastar tempo e dinheiro em estudos completos, realize uma análise de pré-viabilidade econômica. Esse filtro inicial ajuda a descartar projetos inviáveis e concentrar esforços nos que têm mais chance de dar certo.

2. Olhe além da técnica: não basta a tecnologia funcionar – é preciso que ela seja financeiramente atraente para o produtor ou investidor.

3. Adapte os números ao contexto local: use coeficientes e preços da sua realidade (energia, combustíveis, insumos, linhas de crédito). Copiar dados de outros países sem ajustes gera erros e expectativas irreais.

4. Organize os cálculos em quatro passos:

- Levante dados básicos (CAPEX, OPEX, receitas).
- Estruture um fluxo de caixa simplificado.
- Calcule indicadores econômicos principais (*payback*, VPL, TIR, ROI, LCOE/LCOB).
- Defina critérios de decisão (quando o projeto é ou não atrativo).

5. Use exemplos locais para engajar: traduzir resultados em equivalências (economia de energia, diesel substituído, créditos de carbono gerados) facilita a comunicação e aumenta o engajamento.

6. Priorize contextos com maior chance de viabilidade: regiões com alta densidade animal, energia cara ou instável, e infraestrutura agroindustrial já consolidada tendem a gerar projetos mais competitivos.

4.6 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos

Projetos de aproveitamento energético de dejetos pecuários não seguem um modelo único. Cada país, região ou cadeia produtiva apresenta condições específicas — desde a escala produtiva até a disponibilidade de dados, passando pela infraestrutura energética e pelo arcabouço de políticas públicas. Por isso, transformar projeções técnicas em estratégias nacionais viáveis exige um processo de adaptação. O êxito, em qualquer caso, depende do alinhamento das tecnologias às políticas energéticas e climáticas vigentes e da estruturação de modelos de negócio e financiamento compatíveis com o porte dos produtores.

As dimensões mais comuns de adaptação incluem:

- **Estrutura produtiva:** países com pecuária intensiva (suínos, aves, bovinos confinados) podem avançar mais rápido com biodigestão e cogeração; já países com pecuária extensiva precisam priorizar manejo territorial e soluções descentralizadas.
- **Disponibilidade e qualidade de dados:** países com censos agropecuários robustos podem territorializar com alta precisão; onde há lacunas estatísticas, as metodologias participativas e os levantamentos amostrais são alternativas viáveis.
- **Infraestrutura existente:** regiões com cooperativas, agroindústrias e redes de eletrificação rural têm mais condições de viabilizar projetos de biogás; em áreas isoladas, a prioridade pode ser o uso local direto do biogás (cocção, iluminação).
- **Prioridades climáticas nacionais:** alguns países priorizam segurança alimentar e fertilizantes (uso do digestato), enquanto outros veem no biometano uma oportunidade para a redução da dependência de combustíveis fósseis.

EXEMPLO PRÁTICO

A experiência brasileira na estimativa do potencial energético de dejetos pecuários mostra que, mais do que números absolutos, o que importa são os procedimentos e os critérios de análise adotados. Ao combinar projeções de rebanho, coeficientes zootécnicos, equivalências energéticas e estudos de pré-viabilidade, é possível construir cenários realistas, úteis para orientar tanto políticas públicas quanto investimentos. O Quadro 2, a seguir, sintetiza as principais vantagens, limitações e recomendações para o uso de estimativas de potencial energético dos dejetos pecuários.

Quadro 2. Vantagens e limitações da estimativa do potencial energético de dejetos pecuários

 VANTAGENS	 LIMITAÇÕES	 RECOMENDAÇÕES
Estimativas robustas de potencial energético são usadas como argumento técnico em financiamentos.	A falta de coeficientes zootécnicos e fatores de conversão locais pode comprometer a credibilidade das estimativas.	Use coeficientes importados apenas como referência inicial, sempre calibrando-os com dados nacionais ou regionais.
Possibilita integração com outros setores, facilita a inclusão de resíduos agroindustriais e urbanos em cenários de codigestão.	Regiões com menor produção pecuária ou pecuária mais extensiva podem ser subvalorizadas nos levantamentos.	Alinhe os levantamentos de potencial energético e inventários de GEE, planejamento e políticas de resíduos sólidos.
Quando traduzido em equivalências práticas, engaja produtores e tomadores de decisão.	Metodologias mais robustas podem ser difíceis de aplicar em países com baixa capacidade institucional.	Além do volume de biogás, avalie benefícios como redução de odores, geração de empregos e menor contaminação hídrica.

Identificar o potencial energético dos dejetos e compreender como ele se distribui no território permite a constatação das oportunidades e dos desafios de cada tecnologia de manejo. Embora os valores variem entre países, os princípios metodológicos podem ser replicados em diferentes contextos, desde que acompanhados das devidas adaptações.

Exemplos internacionais que reforçam esse ponto:

Na América Latina, países como Colômbia e México utilizam biodigestores em polos de suinocultura e avicultura integrados às agroindústrias, mas ainda têm desafios para a expansão desses projetos para pequenos produtores. Enquanto isso, na África Subsaariana, projetos-piloto em Uganda e Quênia mostram que biodigestores de pequena escala são mais viáveis quando associados a usos domésticos (cozimento, iluminação) e a programas de crédito rural subsidiado.

Esses exemplos mostram que a adaptação estratégica é fundamental. O mesmo conceito — aproveitar dejetos como fonte de energia e fertilizante — pode assumir formatos muito distintos conforme a realidade local. Na prática, países têm seguido diferentes caminhos, que podem ser agrupados em cinco grandes estratégias:

- **Fortalecer estruturas metodológicas quando há lacunas de dados.** Exemplo: na Tanzânia, a FAO aplicou a abordagem de Bioenergia e Segurança Alimentar para projetar potenciais de bioenergia e apoiar decisões de política [38].
- **Priorizar mapeamentos nacionais atualizados.** Exemplo: nos Estados Unidos, o programa EPA AgSTAR mantém base nacional e mapa público de biodigestores pecuários, utilizados por estados e investidores em planejamento setorial [39].
- **Utilizar recortes subnacionais para reduzir assimetrias estatísticas.** Exemplo: Na Alemanha, os levantamentos subnacionais permitem a identificação de distritos rurais com maior potencial de biogás, de modo a orientar o direcionamento de subsídios e políticas de incentivo [40].
- **Planejar a energia de forma descentralizada.** Exemplo: em Uganda, estudos da FAO sobre gestão de resíduos de biomassa, no marco de Bioenergia e Segurança Alimentar, estruturam opções de bioenergia para planejamento distrital e setorial [41].
- **Integrar bioenergia com políticas climáticas e outros fluxos de resíduos.** Exemplo: na União Europeia, relatórios da IEA Bioenergy Task 37 oferecem visão, por país (incluindo Dinamarca e Alemanha), sobre número de plantas, produção, uso e upgrading, dados estes que servem de base para o planejamento energético e climático [42]. Na Índia, diversos estados receberam prioridade em programas de bioenergia por concentrarem tanto dejetos animais quanto resíduos agrícolas para codigestão [43].

MENSAGEM-CHAVE

Não existe solução única. Estratégias bem-sucedidas combinam critérios técnicos, viabilidade econômica e adaptação às condições produtivas, climáticas e institucionais de cada país. O aprendizado brasileiro mostra caminhos, mas a replicação depende da capacidade de se ajustar prioridades, modelos de negócio e instrumentos de política pública ao contexto local. Em síntese, projetar, territorializar e precificar (pré-viabilidade) são os três pilares para transformar potencial técnico em uma carteira de projetos financiáveis no Sul Global.

Lições para replicação

- 1. Reconheça a diversidade de contextos:** sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos demandam soluções diferentes.
- 2. Ajuste a estratégia ao volume de dados disponível:** onde não há censos detalhados, use levantamentos amostrais, metodologias participativas e bases internacionais.
- 3. Valorize a infraestrutura já existente:** polos produtivos com cooperativas e agroindústrias são pontos de partida estratégicos para ampliar escala.
- 4. Alinhe estratégias às prioridades nacionais:** países podem enfatizar segurança energética, redução de importação de fertilizantes ou mitigação de emissões, conforme sua agenda.
- 5. Implemente de forma gradual:** adote pilotos em regiões estratégicas, expanda em ondas de prioridade e ajuste continuamente.
- 6. Integre políticas setoriais:** articule agricultura, energia, meio ambiente e finanças para transformar diagnósticos em políticas efetivas.

A experiência internacional mostra que a transformação de projeções técnicas em políticas públicas efetivas exige alguns princípios básicos que podem ser aplicados em qualquer país.

- **Garanta bases estatísticas confiáveis:** censos agropecuários, inventários de GEE e monitoramentos regulares são pré-condições para qualquer projeção sólida.
- **Valide localmente os dados e coeficientes:** números importados só servem como referência inicial; ajuste-os para que reflitam as condições de clima, genética, dieta e sistemas produtivos locais.
- **Adote critérios de corte claros e transparentes:** defina parâmetros mínimos de inclusão (porte do rebanho, nível de tecnificação) para aumentar a legitimidade e facilitar o engajamento social e político.
- **Traduza números técnicos em equivalências tangíveis:** exemplos como “número de casas abastecidas” ou “litros de diesel substituídos” facilitam a comunicação com produtores, gestores e investidores.
- **Teste a pré-viabilidade antes de avançar:** análises iniciais evitam desperdício de recursos em projetos que não se sustentam economicamente.
- **Estabeleça rotinas de atualização periódica:** projeções precisam acompanhar mudanças na estrutura produtiva, nos preços de mercado e no clima, de modo a evitar diagnósticos obsoletos.

MENSAGEM-CHAVE

Políticas bem-sucedidas não dependem apenas de tecnologia, mas de informações sólidas, critérios claros e comunicação acessível. A adoção desses princípios aumenta a chance de transformar diagnósticos em investimentos efetivos e duradouros.

✓ Checklist do Capítulo 4

☐	Verifique se existem dados atualizados sobre o rebanho nacional	Garante projeções sólidas e evita estimativas distorcidas.
☐	Realize uma análise de pré-viabilidade econômica	Economiza tempo e recursos, descartando projetos inviáveis logo no início.
☐	Territorialize os dados em mapas regionais	Revela polos produtivos prioritários e orienta políticas públicas subnacionais.
☐	Traduza números técnicos em equivalências acessíveis (casas abastecidas, litros de diesel substituídos, toneladas de fertilizantes evitadas)	Facilita o engajamento de produtores, investidores e gestores.
☐	Defina critérios de corte objetivos (escala mínima, porte, infraestrutura)	Concentra esforços em contextos de maior impacto climático e viabilidade econômica.
☐	Priorize polos estratégicos com infraestrutura já disponível (cooperativas, agroindústrias, eletrificação rural)	Aumenta a chance de retorno econômico e acelera resultados climáticos.
☐	Adapte as estratégias ao contexto nacional	Garante que as soluções propostas sejam compatíveis com a diversidade produtiva e institucional do país, aumentando sua efetividade.
☐	Integre políticas setoriais (agricultura, energia, meio ambiente e finanças)	Transforma diagnósticos técnicos em ferramentas de apoio para a elaboração de políticas públicas efetivas e investimentos duradouros.



5 COMO ADAPTAR SOLUÇÕES DE MANEJO ÀS REALIDADES LOCAIS

Com as projeções do Capítulo 4, o foco passa a ser transformar o potencial em programas executáveis. A diversidade regional traz desafios e oportunidades, e as experiências internacionais mostram que as estratégias de mitigação do metano são mais eficazes quando adaptadas às realidades locais.

A diversidade territorial, climática, produtiva e cultural representa, ao mesmo tempo, desafios e oportunidades para a adoção de soluções sustentáveis no manejo de dejetos pecuários. Experiências acumuladas em diferentes países mostram que estratégias de mitigação do CH₄ têm maior sucesso quando adaptadas às condições locais, considerando variáveis ambientais, socioeconômicas e institucionais.

As URTs (Unidades de Referência Tecnológica) são locais onde uma tecnologia é aplicada na prática, em escala real, para servir de exemplo e aprendizado. Elas funcionam como “salas de aula a céu aberto”, permitindo que produtores, técnicos, pesquisadores e formuladores de políticas vejam, de perto, como uma solução realmente funciona. Mais do que uma vitrine de inovação, as URTs precisam ser funcionais, acessíveis e representativas das condições locais. Isso significa que elas devem mostrar resultados reais, que possam ser replicados em outras propriedades com características semelhantes. Mas, para que servem as URTs?

- Testar e validar soluções em condições reais de produção.
- Dar confiança a produtores, investidores e governos de que a tecnologia funciona.
- Ensinar pelo exemplo, facilitando a replicação em outros estabelecimentos rurais.
- Gerar dados confiáveis que ajudem a planejar políticas públicas e investimentos.

Nesse processo, as URT desempenham papel estratégico: validam soluções em campo, geram evidências confiáveis e fomentam sua disseminação em escala real. Mais do que projetos-piloto isolados, funcionam como laboratórios vivos de inovação, aproximando produtores, técnicos, formuladores de políticas e investidores.

O foco deste capítulo é alinhar três dimensões que precisam caminhar juntas:

- **Tecnologia:** soluções de biodigestão, compostagem e rotas complementares, dimensionadas para cada cadeia e contexto territorial.
- **Políticas públicas:** regras claras, metas factíveis, incentivos e salvaguardas ambientais e sociais.
- **Financiamento:** modelos de negócio e fontes de recursos que viabilizem investimentos e operação ao longo do tempo, formando uma carteira de projetos viáveis para financiamento

A abordagem proposta, que é pragmática e replicável, busca definir **quem coordena, como decide, com quais instrumentos incentiva, como financia e como mede resultados** (Monitoramento, Relato e Verificação - MRV), sempre com recortes territoriais e participação dos atores setoriais. O que este capítulo cobre:

- Arranjos de governança (coordenação intersetorial, papéis das instituições e órgãos dos setores público e privado).
- Instrumentos regulatórios e econômicos (normas, metas, incentivos, compras públicas, contratos-tipo).
- Mecanismos de financiamento (crédito, *blended finance*, garantias, fundos climáticos) e modelos de negócio por porte produtivo.
- Sistema MRV: monitorar, reportar e verificar resultados (emissões, energia, biofertilizantes), com transparência e simplicidade operacional.
- Roteiros de implementação por “ondas” (pilotos → escala regional → expansão nacional), com gestão de riscos e salvaguardas.

MENSAGEM-CHAVE

Diagnósticos técnicos só se traduzem em resultados quando há governança clara, incentivos bem desenhados, financiamento adequado e mecanismos de validação em campo. Alinhar essas dimensões é o que converte potencial em programas nacionais escaláveis.

5.1 Por que adaptar as tecnologias às realidades locais?

As projeções apresentadas no Capítulo 4 mostram o potencial técnico de aproveitamento energético dos dejetos. O passo seguinte é garantir que esse potencial se traduza em soluções viáveis e aceitas no território, o que exige adaptação às condições ambientais, produtivas e socioculturais de cada região. A mesma tecnologia pode gerar resultados muito diferentes conforme o contexto:

- **Clima:** em regiões frias, os biodigestores precisam de maior isolamento térmico ou aquecimento para funcionar bem; já em regiões quentes, esse cuidado pode não ser necessário.
- **Tipo de rebanho:** suínos, bovinos e aves produzem dejetos em quantidades e formas diferentes (líquidos, sólidos, mistos), o que muda a escolha da tecnologia.
- **Escala produtiva:** um pequeno agricultor familiar não terá as mesmas condições de investimento que uma cooperativa ou grande fazenda industrial.
- **Infraestrutura disponível:** acesso à energia elétrica, estradas, assistência técnica e crédito pode viabilizar (ou inviabilizar) determinadas soluções.

- **Modelo de negócio:** em áreas com energia elétrica cara e instável, o biogás pode ser usado para geração elétrica; em áreas próximas a cidades, pode ser mais vantajoso purificá-lo e vender como biometano
- **Aceitação social:** em algumas comunidades, usar digestato como fertilizante pode ser bem recebido; em outras, pode haver resistência cultural.

Adaptar não significa reinventar tecnologias, mas ajustá-las ao território. É ajustar o que já existe às condições locais. Por exemplo, dimensionar biodigestores para diferentes climas, definir a melhor aplicação agrícola do digestato (culturas agrícolas ou pastagens) e ajustar modelos de negócio conforme o mercado energético local.

EXEMPLO PRÁTICO

No Brasil, a mesma tecnologia de biodigestão foi testada em três regiões:

- **Sul:** forte presença de cooperativas, produtores tecnificados e inverno. O biodigestor funcionou bem, mas exigiu aquecimento adicional para manter a produção estável.
- **Centro-Oeste:** grandes confinamentos de bovinos e suínos, logística favorável e demanda de energia rural. Nesta região, o biogás mostrou grande viabilidade econômica.
- **Norte:** clima quente e úmido, distâncias maiores e menos infraestrutura. O desafio maior foi a valorização do digestato e a aceitação pelos produtores, que precisaram de capacitação e apoio técnico.

MENSAGEM-CHAVE

Soluções não ajustadas ao território acabam sendo caras, pouco aceitas ou abandonadas. A adaptação local aumenta legitimidade, adesão e durabilidade dos resultados ambientais e econômicos.



Lições para replicação

- 1. Avalie o clima antes de dimensionar:** biodigestores em regiões frias exigem isolamento ou aquecimento; em climas quentes, o custo pode ser menor.
- 2. Considere o tipo e o porte do rebanho:** suínos, bovinos e aves geram dejetos com volumes e características distintas → escolha a rota tecnológica adequada.
- 3. Adapte ao nível de infraestrutura disponível:** regiões com acesso à energia, estradas e cooperativas podem adotar soluções mais complexas; em áreas isoladas, prefira sistemas simplificados.
- 4. Ajuste modelos de negócio ao mercado energético local:** em áreas com energia cara ou instável, foque em geração elétrica para autoconsumo; próximas a centros urbanos, explore purificação para biometano.
- 5. Inclua fatores sociais e culturais:** avalie a aceitação do uso do digestato como fertilizante e promova capacitação para reduzir resistências.
- 6. Valorize soluções de baixo custo para pequenos produtores:** modelos simplificados permitem inclusão da agricultura familiar e fortalecem a adesão social.

5.2 Como selecionar Unidades de Referência Tecnológica

O passo seguinte é definir critérios claros para selecionar quais propriedades podem funcionar como URTs representativas. A escolha deve garantir que essas unidades reflitam a realidade produtiva de várias outras propriedades rurais, servindo de base para validação técnica, confiança de investidores e difusão de conhecimento.

Como escolher boas URTs?

Uma URT bem escolhida deve representar a realidade de várias outras propriedades rurais. Para isso, alguns critérios ajudam:

- **Biossegurança:** a propriedade rural precisa ter boas práticas de higiene e manejo para garantir que os dejetos não causem riscos à saúde ou ao meio ambiente.

- **Acesso a informações:** deve ser possível coletar e compartilhar dados claros sobre custos, geração de energia e volume produzido e uso do biofertilizante.
- **Diversidade regional:** é importante ter URTs em diferentes climas e regiões, pois o que funciona no Sul pode precisar de ajustes no Norte.
- **Tecnologia em prática:** a unidade precisa mostrar soluções modernas e funcionais — seja de biodigestão, compostagem ou reuso da água.
- **Aproveitamento completo:** o digestato deve ser usado com orientação técnica como biofertilizante, fechando o ciclo dos nutrientes.
- **Inclusão social:** quando as URTs envolvem agricultores familiares, mulheres e jovens, aumentam a legitimidade social e inspiram mais produtores a adotar a tecnologia.

EXEMPLO PRÁTICO

No Brasil, o projeto que gerou esse guia estabeleceu um processo contínuo de seleção de URTs em regiões de forte presença da pecuária intensiva, mas em escalas diferentes:

- **Pequenas propriedades:** biodigestores de baixo custo, por exemplo, para rebanhos de até 30 vacas, com fornecimento de energia térmica para cozinhar e aquecer a sala de ordenha.
- **Grandes propriedades e cooperativas:** sistemas mais robustos, capazes de produzir biometano, gerar eletricidade e ainda fornecer biofertilizantes em grande escala.

Essa diversidade é estratégica porque mostra que existem soluções viáveis tanto para a agricultura familiar quanto para a agricultura e a agroindústria de grande porte.

MENSAGEM-CHAVE

A representatividade é a base do sucesso das URTs. Selecionar bem garante confiança social e política, aumenta a adesão e inspira a replicação.



Lições para replicação

- 1. Comece pequeno, mas representativo:** selecione propriedades rurais típicas da região para facilitar identificação e replicabilidade.
- 2. Mostre resultados de forma simples:** registre e comunique dados claros, como economia de energia ou produção de fertilizantes, em métricas de fácil entendimento.
- 3. Garanta diversidade regional e de escala:** instale URTs em diferentes climas e portes de produção para mostrar a adaptabilidade da tecnologia.
- 4. Valorize inclusão social:** envolva agricultores familiares, mulheres e jovens para aumentar a legitimidade, a aceitação e a replicabilidade.
- 5. Conecte a políticas públicas:** use as URTs como provas concretas para apoiar linhas de crédito, subsídios e programas de incentivo.

5.3 Como as URTs contribuem para a escalabilidade e a disseminação de conhecimento?

Uma vez estabelecidas, as URTs cumprem papel central na difusão e escalabilidade, pois transformam resultados técnicos em exemplos concretos que reduzem incertezas e engajam produtores e investidores. Mais do que testar equipamentos, as URTs demonstram resultados concretos, que podem ser replicados em outras propriedades.

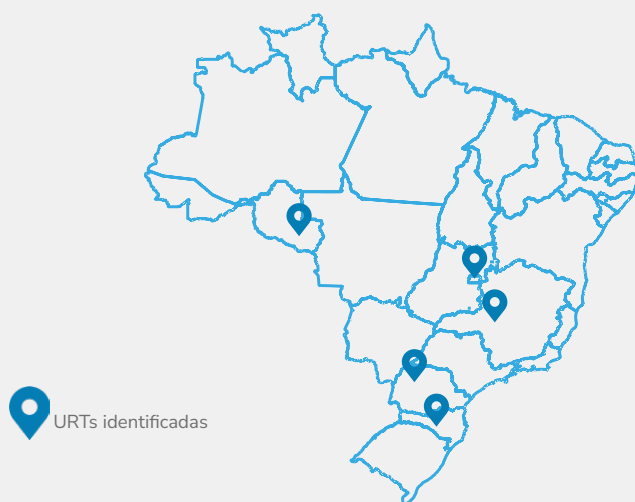
Qual é a função das URTs no processo de disseminação?

- **Ensinar pelo exemplo:** produtores aprendem mais facilmente quando veem outros produtores aplicando a tecnologia.
- **Reduzir incertezas:** investidores e governos sentem-se mais seguros ao constatarem resultados reais, não apenas projeções.
- **Ampliar alcance:** materiais de comunicação (vídeos, visitas virtuais, infográficos) multiplicam o impacto para além dos visitantes presenciais.
- **Construir confiança social:** benefícios práticos, como economia de energia, redução de odores ou aumento da produtividade agrícola com o digestato, aumentam a aceitação social.

EXEMPLO PRÁTICO

No Brasil, as URTs selecionadas pelo projeto foram usadas tanto para a geração de dados técnicos quanto para a comunicação. Em algumas regiões, visitas institucionais com gestores públicos, pesquisadores e cooperativas mostraram o uso do biogás para geração elétrica e do digestato como fertilizante. Em paralelo, vídeos e relatórios ilustrados ampliaram o alcance da experiência, alcançando milhares de pessoas. Atualmente, o projeto conta com cinco URTs identificadas e três em avaliação (ver Figura 14).

Figura 14. Localização das URTs consideradas no contexto brasileiro



Esse tipo de visibilidade amplia o impacto, pois uma única URT bem documentada pode inspirar dezenas de produtores, que, conseqüentemente, influenciam o desenvolvimento de políticas regionais, mas ela se torna ainda mais eficaz quando articulada com estratégias de comunicação e governança:

- **Comunicação:** traduzir resultados técnicos em mensagens claras e ligadas ao dia a dia dos produtores.
- **Governança:** envolver cooperativas, associações, extensão rural e governos locais para criar um ambiente favorável à difusão da tecnologia.

MENSAGEM-CHAVE

URT's são instrumentos de escalabilidade. Ao conectarem conhecimento, comunicação e políticas públicas, multiplicam soluções sustentáveis em diferentes contextos.



Lições para replicação

- 1. Transforme resultados em histórias:** vá além dos relatórios técnicos, destacando exemplos práticos de redução de custos ou aumento de produtividade.
- 2. Use formatos acessíveis:** vídeos, visitas virtuais, cartilhas e posts ampliam o alcance das experiências.
- 3. Crie experiências de aprendizado:** dias de campo e treinamentos práticos engajam mais do que apenas leitura ou palestras.
- 4. Articule com cooperativas e governos:** integrar URTs a políticas públicas e programas de crédito multiplica seu impacto.
- 5. Mostre números simples e tangíveis:** substitua unidades técnicas por equivalências de fácil entendimento, como “energia para 50 casas”.
- 6. Valorize a diversidade de perfis:** mantenha URTs em diferentes portes e contextos (pequenos produtores, cooperativas, agroindústrias).

Embora as Unidades de Referência Tecnológica (URT) e as grandes fazendas sejam essenciais para validar e demonstrar soluções tecnológicas de maior porte, a agricultura familiar também exige estratégias adaptadas à sua realidade econômica, social e produtiva. Nesse contexto, as **tecnologias sociais**¹² representam caminhos inclusivos e eficazes para ampliar o alcance da mitigação e da gestão sustentável de dejetos.



Exemplo prático – o biodigestor sertanejo:

- Desenvolvido pela Diaconia¹³, inspirado em modelos indianos.
- Construído com materiais acessíveis e técnicas regionais.
- Cúpula móvel para armazenamento de biogás.
- Operado por famílias rurais com capacitação básica.
- Requer baixa manutenção e gera autonomia energética.

Diferente de tecnologias voltadas à eficiência máxima, o foco é **reduzir custos e melhorar a qualidade de vida** de famílias em situação de vulnerabilidade. Mesmo com impacto unitário modesto, sua **replicação em larga escala** pode gerar efeitos sociais, ambientais e econômicos expressivos, sobretudo em regiões com forte presença da agricultura familiar.

PONTO PRINCIPAL

Tecnologias sociais, como o biodigestor sertanejo, mostram que é possível alinhar sustentabilidade ambiental à justiça social e ao protagonismo comunitário, fortalecendo tanto a mitigação de metano quanto a inclusão produtiva.

¹² Tecnologias sociais têm como características principais: i) foco em segmentos sociais e econômicos vulneráveis, gerando emprego, renda e desenvolvimento sustentável; ii) participação ativa dos usuários no desenvolvimento; iii) replicabilidade com baixa demanda econômica e ambiental; iv) e sustentabilidade econômica, social, cultural e ambiental [59].

¹³ <https://i17.eco.br/wp-content/uploads/2022/11/RT05-2022.pdf>

5.4 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos

A experiência acumulada mostra que o estabelecimento de **URTs** depende tanto do contexto produtivo específico quanto da consistência dos procedimentos utilizados para selecionar, comparar e validar locais de referência. Mais do que buscar modelos únicos, trata-se de priorizar **princípios replicáveis**, ajustados à realidade local. Essa abordagem garante **comparabilidade entre regiões e países**, sem perder a flexibilidade necessária às adaptações. O Quadro 3 resume vantagens, limitações e recomendações para replicabilidade.

Quadro 3. Vantagens, limitações e recomendações para replicabilidade das URTs

 VANTAGENS	 LIMITAÇÕES	 RECOMENDAÇÕES
Geram dados técnicos confiáveis para políticas públicas e investimentos.	Requerem infraestrutura adequada de monitoramento e registro.	Padronizam protocolos de coleta de dados e promovem transparência pública.
Fortalecem a comunicação e a visibilidade da tecnologia.	Demandam recursos para produção de materiais e divulgação.	Produzem vídeos, relatórios ilustrados e visitas virtuais.
Promovem a integração entre produtores, investidores públicos e pesquisadores.	Envolvem custos e logística de visitas institucionais.	Organizam dias de campo e eventos em parceria com extensionistas, cooperativas e associações.
Ampliam o impacto e inspiram novos produtores e investidores.	Dependem de documentação adequada e de qualidade.	Documentam casos práticos com indicadores simples e tangíveis.
Constroem confiança social ao mostrarem benefícios práticos (energia, fertilidade do solo, redução de odores).	Podem enfrentar resistências culturais locais.	Conectam resultados a melhorias diretas no cotidiano do produtor.

SEGUIR 

 VANTAGENS	 LIMITAÇÕES	 RECOMENDAÇÕES
Atuam como instrumento de escalabilidade e difusão de conhecimento.	Correm risco de baixa adesão se mal comunicadas.	Traduzem resultados técnicos em mensagens claras e acessíveis.
Valorizam a inclusão social (agricultores familiares, mulheres e jovens).	Exigem esforço adicional de mobilização social.	Integram políticas de extensão rural e programas de crédito inclusivos.
Funcionam como ponte entre teoria e prática.	Podem perder representatividade se não refletirem as condições produtivas predominantes da região.	Selecionam propriedades típicas da região com perfis diversos.
Reforçam a governança setorial ao conjunto de cooperativas, associações e governos.	Podem fragmentar esforços se não houver cooperação.	Criam comitês gestores e acordos interinstitucionais.
Demonstram previsões de tecnologias sociais (ex.: biodigestor sertanejo).	Apresentam impacto individual limitado em comparação a grandes projetos.	Promovem replicação em larga escala com metodologias participativas.
Melhoram a qualidade de vida de famílias em vulnerabilidade (energia renovável e saúde pública).	Depende de capacitação básica e apoio técnico inicial.	Oferecem treinamento simples e acompanhamento comunitário.

A identificação de URTs em diferentes escalas e contextos tecnológicos e sociais estimula a adoção da biodigestão. Embora os critérios variem conforme o estágio tecnológico, a disponibilidade de dados e a representatividade nacional, **os princípios orientadores são replicáveis em múltiplas realidades**. Exemplos internacionais reforçam esse ponto:

- **Adaptação tecnológica para eficiência e aceitação social:** Na Costa Rica, projetos colaborativos consolidaram a biodigestão, gerando confiança entre pequenos e médios agricultores [44].
- **Tecnologias sociais e programas ajustados a pequenos produtores:** Na

China, milhares de biodigestores familiares foram instalados em áreas rurais, com ajustes para climas frios (isolamento térmico) e regiões tropicais (modelos de baixo custo)[45].

- **Capacitação, validação econômica e replicabilidade:** Nos Estados Unidos, o programa *AgSTAR Demonstration Projects* criou propriedades-modelo com digestores de grande porte e codigestão, permitindo treinamento, avaliação econômica e replicabilidade [46].

MENSAGEM-CHAVE:

URTs são instrumentos versáteis. Se adaptadas a diferentes climas, escalas e sistemas produtivos, tornam-se pontes entre inovação técnica e políticas públicas.

Lições para replicação

1. **Adapte tecnologias ao contexto local:** não copie modelos de outros países sem ajustes climáticos, produtivos e institucionais.
2. **Escolha propriedades representativas para URTs:** selecione locais que reflitam a realidade predominante, aumentando a chance de replicação.
3. **Defina critérios claros de seleção:** biossegurança, capacidade de monitorar dados e viabilidade econômica são pré-condições para uma boa URT.
4. **Garanta diversidade de perfis e escalas:** inclua pequenas, médias e grandes propriedades em diferentes regiões climáticas, de modo a evidenciar a aplicabilidade em múltiplos contextos.
5. **Valorize inclusão social:** envolva agricultores familiares, mulheres e jovens para ampliar legitimidade e impacto social.
6. **Integre URTs a políticas públicas:** use as evidências geradas para apoiar crédito verde, subsídios, certificações e programas nacionais de mitigação.

✓ Checklist do Capítulo 5

☐	Adapte tecnologias ao território	Acresce a eficiência e a aceitação social.
☐	Selecione URTs representativas	Gera evidências aplicáveis a produtores com perfis e condições semelhantes.
☐	Mostre resultados de forma simples e tangível	Facilita o engajamento de produtores, investidores e governos.
☐	Valorize a diversidade de perfis e contextos	Amplia a replicabilidade das soluções em diferentes regiões e escalas produtivas.
☐	Integre inclusão social	Fortalece legitimidade e amplia a adesão de agricultores familiares, mulheres e jovens.
☐	Conecte as URTs a políticas públicas e crédito verde	Converte resultados demonstrativos em políticas e investimentos de maior escala.



6 **DIAGNÓSTICO DE BARREIAS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO**

A adoção ampla de tecnologias mitigadoras, como a biodigestão, vai além de critérios técnicos ou econômicos. Muitas soluções comprovadas seguem pouco utilizadas devido a barreiras institucionais, financeiras, sociais e regulatórias que limitam sua expansão.

Avançar na disseminação dessas tecnologias sem compreender previamente os entraves existentes pode comprometer todo o esforço político, institucional e financeiro realizado. Escalar soluções sem diagnóstico adequado leva a riscos concretos: baixa adesão entre produtores, abandono dos equipamentos no campo, subutilização das estruturas instaladas, investimentos mal direcionados, desperdício de recursos públicos e, até mesmo, desconfiança generalizada quanto à eficácia das políticas.

As barreiras à expansão do aproveitamento energético de dejetos pecuários têm caráter **estrutural** e **sistêmico**. No plano estrutural, incluem-se carências de infraestrutura, políticas públicas pouco adequadas, ausência de incentivos ou insuficiência de financiamento. Já no plano sistêmico, relacionam-se a: falhas de coordenação entre os agentes, lacunas de conhecimento técnico, baixa capacidade de assistência e extensão rural, bem como a limitações na integração das cadeias de valor. Esses elementos, isolados ou combinados, reduzem a viabilidade econômica, social e institucional da biodigestão e comprometem seu potencial de gerar energia e biofertilizante renováveis e de mitigar emissões de CH₄.

Nesse sentido, o **diagnóstico de barreiras** deve ser tratado como parte central de qualquer estratégia de mitigação. Ele permite a identificação dos obstáculos mais relevantes, de como estes se manifestam em diferentes contextos produtivos e de que forma podem ser superados por meio de políticas públicas, instrumentos de incentivo e programas de capacitação.

MENSAGEM-CHAVE

Nenhuma tecnologia avança sem antes se compreender e enfrentar as barreiras que limitam sua adoção. Mapear entraves estruturais e sistêmicos é pré-condição para transformar potencial técnico em programas de mitigação viáveis, aceitos pelos produtores e sustentáveis em um longo prazo.

6.1 Por que estudar barreiras é fundamental?

O estudo de barreiras funciona como ponte entre diagnósticos técnicos e ação prática. Ele garante que estimativas de potencial energético ou modelos de referência tecnológica possam ser traduzidos em resultados concretos e adaptados às condições institucionais e produtivas de cada país. Ao incluir esse passo, aumenta-se a chance de que soluções ganhem escala e relevância, em vez de permanecerem restritas a pilotos isolados.

O diagnóstico de barreiras também amplia o diálogo entre atores — produtores, técnicos, formuladores de políticas e instituições financeiras — e assegura que soluções sejam construídas de forma participativa e ajustadas às realidades locais.

As barreiras podem se manifestar em diferentes níveis:

- **Técnicas:** dificuldades relacionadas à tecnologia, à operação e ao conhecimento especializado. *Exemplos:* falta de projetos adequados ao porte das propriedades (a maioria voltados à grande escala); dificuldades de manutenção e operação; carência de assistência técnica regionalizada; baixa qualidade de equipamentos ou peças de reposição no mercado local.
- **Financeiras:** obstáculos econômicos que inviabilizam o investimento inicial ou a sustentabilidade dos sistemas. *Exemplos:* custo elevado de implantação para pequenas e médias propriedades; crédito rural específico pouco acessível; linhas de financiamento com burocracia excessiva ou exigências de garantias incompatíveis; dificuldade de monetizar benefícios (biogás, biofertilizante, créditos de carbono).
- **Institucionais e regulatórias:** entraves ligados ao ambiente legal, normativo e de governança do setor. *Exemplos:* ausência de políticas públicas estáveis ou integradas; normas ambientais fragmentadas entre estados; pouca integração entre órgãos ambientais, setor energético e entidades produtivas.
- **Sociais e culturais:** barreiras associadas à percepção, aceitação e práticas sociais de produtores e comunidades. *Exemplos:* resistência à adoção de novas tecnologias por receio de riscos; falta de valorização cultural do resíduo como recurso energético e fertilizante; desconfiança sobre a viabilidade econômica da biodigestão em pequena escala; baixa organização coletiva de produtores para viabilizar plantas centralizadas ou cooperativas.

Ao identificar as barreiras, torna-se possível:

- Basear políticas públicas em evidências, direcionando incentivos financeiros, programas de capacitação e marcos regulatórios adequados às reais necessidades do setor;
- Reduzir riscos de investimento, oferecendo maior previsibilidade a bancos, cooperativas e empresas que financiam ou operam biodigestores;
- Promover adoção tecnológica efetiva, adaptando soluções ao porte, sistema produtivo e contexto regional dos produtores;
- Maximizar benefícios ambientais e produtivos, como geração de energia renovável, substituição parcial de fertilizantes químicos e mitigação das emissões de metano.

MENSAGEM-CHAVE

A integração do diagnóstico de barreiras ao planejamento técnico e econômico aumenta a replicabilidade das soluções, fortalece a aderência das políticas públicas e amplia a confiança dos atores envolvidos.



Lições para replicação

- 1. Inclua o diagnóstico de barreiras como etapa obrigatória:** não basta mapear potencial energético, é preciso identificar os entraves que impedem a adoção em escala.
- 2. Classifique barreiras em níveis técnicos, financeiros, institucionais e sociais:** essa estrutura facilita comparações entre países e torna a priorização mais clara.
- 3. Use metodologias participativas:** envolver produtores, cooperativas e instituições locais aumenta a legitimidade do diagnóstico e revela barreiras invisíveis em estudos puramente técnicos.
- 4. Adapte o olhar ao Sul Global:** considere realidades, como o crédito rural limitado, a informalidade produtiva, a baixa assistência técnica e os marcos regulatórios frágeis.
- 5. Transforme barreiras em agenda de ação:** cada entrave identificado deve ter medidas correspondentes — capacitação, crédito, ajustes normativos ou comunicação social.
- 6. Atualize periodicamente:** barreiras mudam com o tempo; revisar o diagnóstico evita políticas defasadas ou incentivos ineficazes.

6.2 Como realizar um estudo de barreiras?

A condução de estudos de barreiras pode seguir múltiplos caminhos, que variam em grau de complexidade e recursos necessários. A escolha metodológica deve equilibrar rigor científico e aplicabilidade prática, garantindo que os resultados sejam úteis para orientar políticas públicas e investimentos.

A escolha metodológica deve sempre equilibrar rigor científico com aplicabilidade prática. O diagnóstico de barreiras pode ser conduzido por diferentes metodologias — quantitativas, qualitativas ou mistas — dependendo da disponibilidade de dados, dos recursos institucionais e do nível de detalhamento esperado para a orientação de políticas públicas em cada país.

- **Estudos quantitativos** são úteis quando se busca mensurar a percepção de muitos atores, pois permitem comparar regiões ou perfis produtivos e identificar padrões de adoção. Questionários estruturados são o método mais comum usado nessa categoria e estes já foram amplamente aplicados em análises sobre agricultura sustentável e barreiras à inovação.
- **Estudos qualitativos** permitem explorar, com profundidade, fatores menos visíveis, como percepções sociais, arranjos institucionais ou desafios de coordenação. Oficinas participativas e grupos focais são exemplos recorrentes em programas de agricultura climática, pois estimulam o diálogo entre diferentes atores e ajudam a construir consensos.
- **Abordagens mistas**, que combinam elementos quantitativos e qualitativos, têm se mostrado especialmente adequadas quando o objetivo é apoiar políticas públicas. Elas permitem captar a escala dos problemas e, ao mesmo tempo, compreender as especificidades locais — um equilíbrio importante para países do Sul Global, que buscam caminhos replicáveis de mitigação.

O Quadro 4, a seguir, sintetiza as opções mais utilizadas em estudos de barreiras no setor agropecuário, apresentando sua descrição, principais características e referências.

Quadro 4. Resumo das principais metodologias para estudo de barreiras

METODOLOGIA	ABORDAGEM	DESCRIÇÃO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
Surveys (questionários estruturados)	Quantitativa	Aplicação de questionários padronizados a produtores, técnicos ou formuladores de políticas.	Gera dados numéricos; permite análises estatísticas e comparações regionais; útil para identificar padrões de percepção.
Grupos focais e oficinas participativas	Qualitativa	Reuniões organizadas com múltiplos atores para identificar, discutir e priorizar barreiras.	Captam percepções diversas; favorecem o diálogo e a construção de consenso; adaptáveis a diferentes contextos.
Métodos multicritério (Delphi, AHP)	Quantitativa/Qualitativa	Técnicas formais que estruturam julgamentos de especialistas e hierarquizam fatores críticos.	Organizam variáveis complexas; permitem priorizar critérios de forma transparente; aplicáveis em processos de formulação de políticas.
Revisão de literatura e <i>benchmarking</i>	Qualitativa	Levantamento de estudos, experiências e políticas anteriores em diferentes países ou regiões.	Identifica barreiras recorrentes e soluções já testadas; útil como ponto de partida em países com poucos dados primários.
Abordagens mistas (qualitativa + quantitativa)	Mista	Integração de métodos qualitativos e quantitativos em um mesmo estudo.	Equilibram profundidade e representatividade; ampliam a robustez do diagnóstico; recomendadas para orientar políticas replicáveis.
Estudos de caso	Qualitativo	Análise detalhada de projetos ou propriedades que implantaram (ou tentaram implantar), por exemplo biodigestores.	Identifica barreiras práticas enfrentadas em contextos reais.

Fonte: [42]; [47]; [48]; [49]; [50]; [51].

EXEMPLO PRÁTICO

A escolha metodológica precisa sempre refletir os **objetivos do estudo** e os **recursos disponíveis**. Países com maior capacidade estatística podem se apoiar em surveys nacionais para alcançar representatividade; contextos com menos dados disponíveis podem priorizar oficinas participativas e grupos focais; já estratégias nacionais mais complexas se beneficiam de métodos multicritério ou de abordagens mistas. Independentemente da opção, o essencial é que o processo produza **evidências confiáveis, comparáveis e adaptáveis**, capazes de sustentar políticas públicas e apoiar a replicação de soluções em diferentes realidades produtivas.

O Instituto 17 (i17) aplicou essa lógica em estudos sobre barreiras à biodigestão nos anos de 2021 e 2024. O trabalho permitiu comparar percepções ao longo do tempo e identificar mudanças na importância relativa dos entraves. Os resultados da percepção atemporal, [podem ser acessados neste link](#).

A metodologia seguiu quatro etapas sequenciais, cada uma com objetivos específicos para dar solidez às conclusões:

1. Pesquisa documental

- Revisão de literatura, relatórios técnicos, normas e estudos de mercado.
- Identificação inicial das barreiras (políticas/regulatórias, técnicas e de mercado) e dos benefícios ambientais, econômicos e sociais da biodigestão.

2. Análise técnica com especialistas

- Discussões em reuniões com órgãos estratégicos.
- Ajuste das barreiras ao contexto da agropecuária brasileira.

3. Consulta a atores-chave do setor

- Entrevistas com especialistas, consultores e empresas de biogás.
- Inclusão de percepções práticas de campo.
- Definição das barreiras-chave, suas causas e efeitos.

4. Pesquisa de opinião setorial

- Aplicação de questionário online com amostragem intencional.
- Participação de profissionais com experiência direta em manejo de resíduos e biodigestão.
- Priorização das barreiras mais relevantes e identificação de tendências específicas.

A experiência mostrou que compreender tanto os benefícios quanto as limitações de um estudo de barreiras é fundamental, pois só assim os resultados podem ser usados de forma estratégica, de modo a guiar políticas e investimentos sem criar expectativas irreais e preservar espaço para adaptações regionais.

MENSAGEM-CHAVE

Estudos de barreiras só são eficazes quando combinam rigor metodológico com aplicabilidade prática, produzindo evidências confiáveis que orientam políticas e investimentos e podem ser adaptadas às diferentes realidades do Sul Global.

Lições para replicação

- 1. Adapte a metodologia à capacidade local:** em países com estatísticas limitadas, métodos simples (grupos focais, benchmarking) já produzem evidências úteis; em países com maior capacidade, *surveys* nacionais podem ampliar a representatividade.
- 2. Inclua diferentes atores no processo:** produtores, técnicos, formuladores de políticas e instituições financeiras percebem barreiras distintas e complementares.
- 3. Hierarquize obstáculos críticos:** organize os resultados para indicar quais barreiras precisam ser enfrentadas primeiro.
- 4. Converta diagnósticos em instrumentos práticos:** traduza achados em linhas de crédito, programas de capacitação, incentivos regulatórios ou apoio institucional.
- 5. Mantenha comparabilidade:** utilize métodos que permitam análises temporais ou entre países para fortalecer o caráter replicável do estudo.

6.3 Estratégias e adaptações possíveis em diferentes contextos

O diagnóstico de barreiras é o processo para identificar quais obstáculos, onde e em que condições limitam a adoção de tecnologias de manejo de dejetos, combinando evidências técnicas, econômicas, regulatórias e socioculturais. Mais do que um levantamento pontual, trata-se da organização de informações para orientar decisões de política, financiamento e capacitação, com foco em resultados verificáveis de mitigação e adaptação no setor pecuário.

O Quadro 5 resume as principais vantagens, limitações e recomendações para a replicação em estudos de barreiras.

Quadro 5. Vantagens, limitações e recomendações para replicação de estudos de barreiras

 VANTAGENS	 RECOMENDAÇÕES
Identificam entraves técnicos, econômicos, institucionais e culturais que limitam a difusão das tecnologias.	Requer adaptação metodológica às especificidades regionais.
Permitem definir onde e como intervir com maior efetividade (capacitação, crédito, desenvolvimento tecnológico).	A hierarquização varia conforme maturidade do mercado e políticas locais.
Apoiam o desenho de programas, incentivos e mecanismos de financiamento baseados em evidências.	A efetividade depende da abertura do governo e da capacidade institucional.
Estimulam diálogo entre produtores, instituições públicas, agentes financeiros e empresas de tecnologia.	Exigem fóruns multissetoriais ativos para garantir continuidade.
Identificam lacunas que impedem adoção em larga escala e orientam soluções apropriadas.	O impacto depende do ecossistema de inovação e da integração entre atores.
 LIMITAÇÕES	 RECOMENDAÇÕES
Barreiras variam entre regiões e sistemas produtivos, dificultando generalizações.	Customizar metodologias e evitar extrapolações simplistas.
Mudanças em políticas e mercados exigem revisão periódica dos diagnósticos.	Institucionalizar monitoramento contínuo, não apenas estudos pontuais.
Muitas barreiras são relatadas de forma subjetiva, reduzindo robustez analítica.	Integrar métodos qualitativos e quantitativos para maior confiabilidade.
Há risco de baixa efetividade se resultados não forem incorporados em políticas públicas.	Vincular diagnósticos a planos setoriais, políticas e financiamentos concretos.
Barreiras ligadas à burocracia e falta de articulação entre órgãos dificultam a superação.	Mapear atores-chave desde cedo e criar estratégias de governança participativa.

EXEMPLO PRÁTICO

Assim como no Brasil, onde os estudos de barreiras combinaram análise documental, entrevistas e pesquisa setorial, países como, por exemplo, o Quênia, Índia e Colômbia, também mostram que a combinação de métodos aumenta a robustez do diagnóstico. A metodologia de diagnóstico pode ser adaptada a diferentes contextos nacionais, considerando-se sete dimensões essenciais:

- Estrutura produtiva e estágio de mercado.
- Qualidade dos dados e capacidade institucional de monitoramento.
- Prioridades e metas nacionais em clima e agricultura.
- Regras de licenciamento ambiental e sanitário.
- Condições econômicas e acesso a crédito e instrumentos de mercado.
- Prontidão tecnológica e disponibilidade de serviços de operação/manutenção.
- Inclusão social e engajamento de agricultores, mulheres e jovens.

Exemplos internacionais de adaptação metodológica:

- **Quênia** — Estudos combinaram revisão bibliográfica, *survey* com especialistas e método AHP para ranquear barreiras em cinco categorias: financeiras, técnicas, institucionais, informacionais e de infraestrutura [52].
- **Índia** – Diagnóstico comparou barreiras em sistemas rurais e urbanos, usando revisão de literatura, entrevistas semiestruturadas e análise lógica para classificar entraves em seis grupos: financeiros, de mercado, sociais, regulatórios, técnicos e informacionais [53].
- **Estudo global** – Revisão sistemática identificou barreiras à ampla implementação do biogás em países desenvolvidos e em desenvolvimento, chegando a seis categorias: técnicas, econômicas, de mercado, institucionais, socioculturais e ambientais [54].
- **Colômbia** – Abordagem mista combinou revisão bibliográfica, estudo de caso e análise qualitativa para identificar barreiras financeiras, tecnológicas, sociais, institucionais e de pesquisa [55].

Embora as barreiras apresentem variações em intensidade e formato, observa-se a recorrência de certos padrões que podem orientar políticas em diferentes contextos nacionais, entre eles: a necessidade de abordagens combinadas, a relevância da participação multissetorial e a adaptação contínua das categorias de análise. A partir dessas lições comparativas, é possível derivar recomendações de caráter universal aplicáveis ao Sul Global:

- **Combinar métodos qualitativos e quantitativos:** aumenta a robustez e a comparabilidade dos diagnósticos.

- **Traduzir barreiras em planos de ação concretos:** cada entrave deve estar vinculado a soluções, responsáveis e recursos.
- **Incorporar instrumentos financeiros integrados:** crédito, garantias, seguros e incentivos fiscais devem ser articulados em pacotes coerentes.
- **Adotar padrões claros para subprodutos:** normas nacionais sobre digestato fortalecem a segurança de mercado e a aceitação pelos produtores.
- **Integrar inclusão social e de gênero:** considerar o acesso de mulheres e jovens a crédito, capacitação e cadeias de valor como parte da superação das barreiras.
- **Criar mecanismos de monitoramento e transparência:** dashboards e indicadores de adoção devem ser públicos, comparáveis e atualizados regularmente.
- **Estabelecer ciclos regulares de revisão:** diagnósticos de barreiras precisam ser atualizados conforme evoluem políticas, mercados e tecnologias.

MENSAGEM-CHAVE

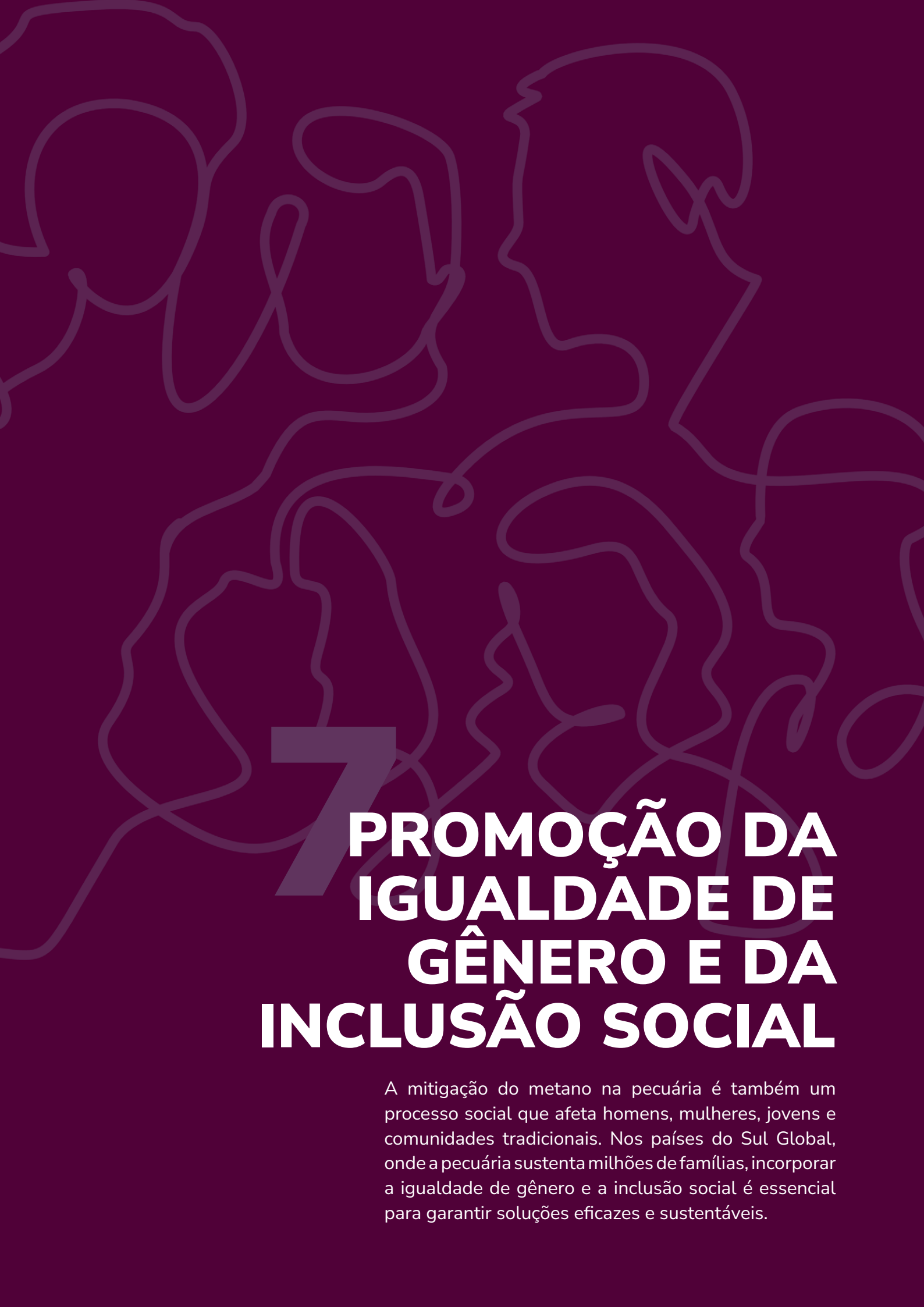
Diagnósticos de barreiras só são úteis quando se convertem em planos de ação contextualizados. Adaptar métodos às capacidades institucionais e sociais de cada país garante maior impacto e replicabilidade.

Lições para replicação

1. **Adapte a metodologia ao contexto nacional:** evite copiar diagnósticos prontos; ajuste-os às condições produtivas, climáticas e institucionais locais.
2. **Combine métodos qualitativos e quantitativos:** surveys, entrevistas e oficinas participativas aumentam a robustez e a comparabilidade.
3. **Vincule barreiras a soluções concretas:** traduza cada entrave em políticas, incentivos ou programas de capacitação aplicáveis.
4. **Inclua múltiplos atores sociais:** produtores, cooperativas, governos, bancos e sociedade civil oferecem visões complementares.
5. **Incorpore inclusão social e de gênero:** considere acesso de agricultores familiares, mulheres e jovens a crédito, capacitação e cadeias de valor.
6. **Garanta revisão periódica dos diagnósticos:** barreiras mudam com políticas, mercados e tecnologias; ciclos regulares de atualização evitam obsolescência.

✓ Checklist do Capítulo 6

☐	Mapeie barreiras antes de investir	Evita desperdício de recursos e concentra esforços em soluções inviáveis.
☐	Classifique entraves por categoria (técnicos, financeiros, institucionais, sociais)	Direciona soluções específicas e facilita o planejamento de políticas.
☐	Use metodologias adequadas à capacidade local (surveys, oficinas, estudos de caso)	Garante diagnósticos confiáveis mesmo em contextos com dados limitados.
☐	Inclua diferentes atores no processo (produtores, técnicos, governos, bancos, sociedade civil)	Amplia a legitimidade e a qualidade do diagnóstico obtido.
☐	Traduza barreiras em planos de ação	Transforma diagnósticos em medidas práticas de mitigação vinculadas a políticas, créditos e capacitação.
☐	Incorpore inclusão social e de gênero	Assegura participação equitativa e acesso a oportunidades por parte de agricultores familiares, mulheres e jovens.
☐	Revise diagnósticos periodicamente	Mantém políticas e programas atualizados frente a novas tecnologias, dinâmicas de mercado e condições climáticas.



7 **PROMOÇÃO DA IGUALDADE DE GÊNERO E DA INCLUSÃO SOCIAL**

A mitigação do metano na pecuária é também um processo social que afeta homens, mulheres, jovens e comunidades tradicionais. Nos países do Sul Global, onde a pecuária sustenta milhões de famílias, incorporar a igualdade de gênero e a inclusão social é essencial para garantir soluções eficazes e sustentáveis.

Em países do Sul Global, especialmente, os sistemas pecuários sustentam milhões de famílias em contextos de grande diversidade cultural e institucional. Assim, integrar a perspectiva de igualdade de gênero e inclusão social (GESI¹⁴) é condição fundamental para que as soluções de manejo de dejetos sejam eficazes, legítimas e escaláveis.

As desigualdades de acesso a recursos, conhecimento e poder decisório afetam diretamente a adoção de tecnologias de mitigação. Em muitas regiões, mulheres são responsáveis pelo manejo diário dos animais e pelo uso de subprodutos (como biofertilizantes), mas, frequentemente, não têm acesso a crédito, capacitação ou propriedade da terra. Da mesma forma, jovens rurais podem ser protagonistas na adoção de inovações, mas esbarram em barreiras institucionais ou falta de oportunidades de renda. Ignorar esses fatores sociais compromete a efetividade das políticas climáticas e pode ampliar desigualdades existentes.

Por outro lado, quando os projetos incorporam GESI desde o início, multiplicam-se os benefícios:

- Aumenta-se a taxa de adoção de tecnologias, pois diferentes grupos se sentem representados e engajados;
- Fortalece-se a resiliência social e produtiva, ao diversificar fontes de renda e reduzir as vulnerabilidades;
- Promove-se legitimidade e reconhecimento político, atraindo maior apoio de comunidades locais e financiadores nacionais e internacionais;
- Amplia-se o alcance das metas climáticas, já que soluções inclusivas tendem a ser mais duradouras e replicáveis.

O desafio está em reconhecer que não existe modelo único de integração de gênero e inclusão social. Cada país, região e comunidade tem normas, valores e estruturas próprias. Assim, mais do que aplicar receitas prontas, é preciso construir abordagens participativas, respeitadas das culturas locais e adaptadas às realidades socioeconômicas. Este guia apresenta princípios, exemplos e ferramentas para apoiar esse processo, demonstrando como GESI pode ser incorporada em diagnósticos, projetos e políticas públicas voltadas à mitigação do metano.

¹⁴ O termo GESI (Gender Equality and Social Inclusion) refere-se a abordagens que buscam garantir igualdade de gênero, inclusão de grupos sociais historicamente marginalizados (como agricultores familiares, jovens, povos indígenas e comunidades tradicionais) e participação equitativa em processos decisórios. No contexto da mitigação de metano (CH₄), aplicar GESI significa identificar desigualdades existentes, remover barreiras de acesso a tecnologias e oportunidades e assegurar que os benefícios sociais, econômicos e ambientais sejam distribuídos de forma justa e inclusiva.

MENSAGEM-CHAVE

Integrar igualdade de gênero e inclusão social à mitigação de CH₄ na pecuária não é apenas uma questão de justiça, mas uma condição estratégica para ampliar a adoção de tecnologias, gerar cobenefícios sociais e assegurar que soluções sejam legítimas, replicáveis e duradouras.

7.1 Por que integrar gênero e inclusão social em projetos de mitigação de metano?

Projetos de mitigação de CH₄ no setor pecuário são, muitas vezes, concebidos sob uma lógica estritamente técnica — tecnologias de manejo, cálculos de emissões evitadas, viabilidade econômica. No entanto, a experiência internacional e brasileira mostra que **a adoção efetiva dessas soluções depende fortemente de fatores sociais**. Ignorar desigualdades de gênero e inclusão social significa correr o risco de criar políticas ambientalmente sofisticadas, mas socialmente inviáveis ou de baixa adesão.

Em muitas comunidades rurais do Sul Global, o trabalho de mulheres, jovens e agricultores familiares é central para o manejo diário dos animais, limpeza das instalações e o reaproveitamento de subprodutos como biofertilizantes. Ainda assim, esses grupos costumam enfrentar barreiras como:

- **Acesso desigual a crédito e financiamento** – mulheres e agricultores familiares não possuem, frequentemente, titularidade da terra ou garantias formais, limitando o acesso dos mesmos a linhas de crédito.
- **Capacitação técnica limitada** – programas de treinamento costumam priorizar produtores de maior escala, deixando de fora pequenos criadores e jovens rurais.
- **Baixa representação em processos decisórios** – conselhos, cooperativas e associações agroindustriais ainda são predominantemente constituídos e administrados por homens, o que restringe a voz de outros grupos sociais.
- **Restrições culturais e institucionais** – normas de gênero e costumes locais podem limitar a participação ativa de mulheres e jovens em atividades produtivas ou em tomadas de decisão.

Quando esses aspectos não são considerados, tecnologias como biodigestores, compostagem ou manejo coletivo de dejetos podem ser abandonadas ou subutilizadas. Por outro lado, **quando GESI é integrada desde o início**, multiplicam-se os impactos positivos:

- **Adoção ampliada** – projetos que contemplam diferentes perfis de produtores conseguem maior alcance e legitimidade.
- **Empoderamento econômico** – acesso a crédito, capacitação e novos mercados fortalecem a autonomia de mulheres e jovens.
- **Resiliência social e climática** – inclusão de grupos historicamente marginalizados aumenta a diversidade de estratégias de adaptação e gera soluções mais duradouras.
- **Alinhamento internacional** – iniciativas inclusivas dialogam com compromissos globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial, os ODS 5 (Igualdade de Gênero) e 10 (Redução das Desigualdades).

A experiência brasileira oferece exemplos ilustrativos: redes de mulheres no setor de biogás, que atuam tanto em inovação tecnológica quanto em capacitação comunitária; programas de biodigestores de baixo custo adaptados a pequenas propriedades; e políticas de crédito rural que vêm incorporando critérios de inclusão social. Esses casos reforçam que a integração de GESI não é apenas um imperativo ético, mas, também, uma **estratégia prática para aumentar a eficácia climática e a sustentabilidade de longo prazo dos projetos**.

Uma forma de avaliar o nível de comprometimento de uma iniciativa de mitigação com a promoção da igualdade de gênero e a inclusão social é utilizar a escala proposta pela UK PACT [56]. Essa referência permite classificar as iniciativas de acordo com o grau em que reconhecem e enfrentam desigualdades a partir de suas estratégias e ações, desde aquelas que as ignoram completamente até as que buscam transformá-las:

- **GESI cego:** As desigualdades de gênero e sociais não são consideradas no desenho, implementação, monitoramento ou avaliação dessa iniciativa.
- **GESI neutro:** O projeto reconhece a existência de desigualdades no contexto local, mas não desenvolve medidas concretas para enfrentá-las. Ainda que conscientes das disparidades, os responsáveis pela ação optam por uma abordagem que mantém o status quo.
- **GESI sensível ou responsivo:** A iniciativa busca atender às necessidades práticas de grupos sub-representados e marginalizados. Os dados são desagregados por gênero, raça/cor, idade, deficiência, entre outros marcadores

sociais, e algumas medidas de apoio são adotadas. Grupos desfavorecidos recebem apoio para o atendimento de suas necessidades.

- **GESI transformador:** A intervenção busca mudar normas, valores culturais, estruturas de poder e eliminar as raízes das desigualdades de gênero e socioeconômicas. Há redistribuição de recursos, promoção de equidade e empoderamento dos grupos marginalizados, com sua participação ativa em diferentes esferas da sociedade.

É essencial que os projetos de mitigação avancem dos níveis **cego** ou **neutro** para abordagens **sensíveis** ou **transformadoras**, capazes de disseminar conhecimento e tecnologia de forma inclusiva.

EXEMPLO PRÁTICO

Para garantir que as soluções de mitigação de metano cheguem a todas as pessoas, algumas iniciativas têm buscado aproximar tecnologias dos públicos sub-representados. No Brasil, o **Biodigestor Sertanejo**, por exemplo, foi desenvolvido como uma **tecnologia social de baixo custo** para o semiárido. Acompanhado de capacitação adaptada às condições locais, essa experiência permite que as famílias reduzam gastos com gás de cozinha, melhorem a segurança alimentar e aumentem sua **autonomia econômica** [57]. Da mesma forma, o biodigestor de baixo custo tem sido um forte aliado para agricultores familiares, sobretudo **mulheres do campo**. Ao simplificar tarefas domésticas e reduzir a dependência de fontes tradicionais de energia, essas tecnologias promovem qualidade de vida e autonomia, especialmente para **mulheres rurais**, historicamente responsáveis por grande parte dessas atividades [58].

Uma família de agricultores do interior de Santa Catarina, sul do Brasil, buscava destinar adequadamente os dejetos de 30 vacas e reduzir gastos com energia. Com apoio técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), implantou um biodigestor de baixo custo. O investimento inicial foi recuperado em apenas um ano e meio. O biogás passou a ser utilizado no fogão e no aquecimento da água, com tecnologia de fácil manejo e baixa manutenção, tornando-se referência estadual.

Exemplo:

- Valorização dos dejetos como fonte de energia renovável.
- Redução dos gastos com gás de cozinha e energia térmica.
- Tecnologia de fácil operação, adequada a agricultores familiares.
- Melhoria da qualidade de vida, especialmente para mulheres rurais.
- Rápido retorno do investimento (cerca de 18 meses).

Além dos benefícios ambientais e econômicos, a iniciativa promoveu maior autonomia para mulheres rurais, historicamente responsáveis por tarefas domésticas associadas à energia e ao preparo de alimentos. O depoimento de Zenilde ilustra essa transformação: “...Eu adorei, porque diminuiu bastante o meu serviço. Dá menos sujeira no fogão, na cozinha, menos fumaça, não precisa esquentar água pra lavar a louça e a ordenha. Sobra mais tempo de participar do clube de mulheres, dos cursos da Epagri. Estou muito contente.” (Zenilde Luiz, abril/2025).

PONTO PRINCIPAL

O biodigestor de baixo custo demonstra que soluções simples e acessíveis podem gerar impactos ambientais, econômicos e sociais significativos, fortalecendo a autonomia das famílias agricultoras e promovendo inclusão produtiva com justiça de gênero.

MENSAGEM-CHAVE

A integração de GESI nos projetos de mitigação de CH₄ garante que soluções técnicas sejam também socialmente viáveis, de modo a ampliar sua adoção, fortalecendo a resiliência das comunidades e alinhando-se a compromissos internacionais de justiça climática e desenvolvimento sustentável.



Lições para replicação

- 1. Incorpore GESI desde a fase inicial:** considerar desigualdades de gênero e inclusão social logo no diagnóstico evita soluções excludentes.
- 2. Valorize diferentes papéis produtivos:** reconheça que mulheres, jovens e agricultores familiares já atuam no manejo de dejetos e podem ser agentes centrais da transição.
- 3. Crie incentivos específicos:** linhas de crédito, treinamentos e políticas de apoio adaptadas a grupos marginalizados aumentam a adoção de tecnologias.
- 4. Adapte à cultura local:** respeite normas, valores e instituições de cada comunidade, de modo a garantir que a inclusão seja legítima e não imposta.
- 5. Monitore resultados sociais:** além de indicadores ambientais e econômicos, acompanhe se os projetos estão reduzindo desigualdades e ampliando a participação social.

7.2 Como garantir que as equipes estejam preparadas para integrar GESI?

A experiência mostra que a composição e a **preparação das equipes** são fatores decisivos para que a integração de gênero e a inclusão social (GESI) sejam consistentes em políticas e projetos de mitigação de CH₄. Uma equipe diversa, sensibilizada e comprometida amplia os olhares e enriquece o desenho das estratégias, evitando que a integração de GESI se restrinja a um discurso formal. Quando a diversidade está presente dentro da própria equipe, cria-se um ambiente mais propício para a transformação de desigualdades em práticas concretas.

Equipes diversas também garantem que a transversalização de GESI seja **contínua e institucionalizada** e não apenas uma etapa isolada ou dependente de indivíduos sensibilizados. Isso reduz riscos de retrocesso e aumenta a capacidade de geração de mudanças estruturais.

O comprometimento da equipe depende de dois fatores complementares:

- **Sensibilidade ao tema**, expressa na capacidade de reconhecer, com base em evidências, a relevância da igualdade de gênero e da inclusão social como condições fundamentais para o sucesso dos projetos;
- **Conhecimento prático**, traduzido em ferramentas, métodos e experiências que orientem como integrar essas dimensões ao longo de todas as etapas do ciclo do projeto.

Para avaliar esses aspectos, podem ser utilizados questionários de autoavaliação ou promovidos momentos de diálogo. Exemplos de perguntas que ajudam a identificar o grau de preparo incluem:

- Como os/as integrantes percebem a relevância de integrar GESI no projeto?
- Qual é o nível de conhecimento atual sobre estratégias e ferramentas de inclusão?
- Qual é o grau de interesse em participar de formações específicas?
- Há equidade de gênero e diversidade na composição das equipes e nos espaços de tomada de decisão?

Essas perguntas também podem ser estendidas às instituições parceiras envolvidas na implementação, de modo a fortalecer a integração de GESI em todas as etapas e entre todos os atores.

EXEMPLO PRÁTICO

No Brasil, no âmbito do **Plano ABC+**, foi aplicado um questionário de autoavaliação aos/as participantes dos Grupos Gestores Estaduais. As respostas revelaram uma valorização da importância da integração de GESI, mas também evidenciaram limitações no domínio técnico de ferramentas práticas. Ao mesmo tempo, destacou-se um interesse significativo em participar de formações específicas. Esses resultados orientaram a realização de uma **oficina inicial de sensibilização** e a elaboração de **capacitações específicas** para os interessados em aprofundar conhecimentos. O processo fortaleceu a base para uma integração mais efetiva de GESI nos planos de ação estaduais do ABC+, mostrando que diagnósticos bem conduzidos podem se converter em ações concretas de capacitação e mudança institucional.

MENSAGEM-CHAVE

Equipes diversas, sensibilizadas e capacitadas são a porta de entrada para políticas e projetos mais inclusivos. Sem esse ponto de partida, a integração de GESI tende a permanecer no plano formal. Com ele, abre-se caminho para mudanças estruturais capazes de transformar a forma como desigualdades de gênero e sociais são reconhecidas e enfrentadas em projetos climáticos.

Lições para replicação

- 1. Valorize a diversidade nas equipes:** incentive a participação equilibrada de gênero, raça, idade e perfis socioeconômicos, de modo a refletir a diversidade das comunidades atendidas.
- 2. Transforme diagnósticos em ação:** utilize resultados de avaliações e questionários para orientar formações, oficinas e medidas práticas de inclusão.
- 3. Invista em capacitação progressiva:** inicie com oficinas de sensibilização para nivelar entendimentos e avance para formações específicas, com instrumentos aplicáveis à realidade do projeto.
- 4. Amplie o compromisso para além da equipe:** envolva instituições parceiras na mesma lógica de avaliação e capacitação, visando a garantir que a integração de GESI seja transversal e coletiva.

7.3 Quais os passos para integrar GESI aos projetos de mitigação?

A integração de GESI em projetos de mitigação de CH₄ não deve ser entendida como uma etapa isolada, mas como um **processo contínuo** que se inicia no diagnóstico do contexto, orienta o desenho do projeto e se prolonga até o monitoramento e a avaliação. Quando bem conduzida, essa abordagem garante que as soluções sejam mais resilientes, legítimas e sustentáveis a longo prazo.

Para assegurar sua efetividade, recomenda-se seguir um **ciclo de etapas interligadas**:

- **Diagnóstico do contexto:** Realize uma análise de gênero e inclusão social que identifique desigualdades, barreiras de acesso, oportunidades e possíveis

impactos sobre mulheres, jovens, comunidades tradicionais e outros grupos sub-representados.

- Utilize dados secundários e metodologias participativas (grupos focais, formulários, entrevistas ou diálogos com organizações representativas).
 - Avalie também a sensibilidade e o conhecimento técnico da equipe do projeto.
 - A análise deve gerar recomendações claras e medidas afirmativas para a redução de barreiras, a ampliação de impactos positivos e a capacitação da equipe.
-
- **Desenho do projeto:** Incorpore os resultados da análise desde a formulação inicial, garantindo que metas, indicadores e atividades contemplem dimensões de GESI de forma transversal.
 - **Alocação de recursos:** Assegure orçamento e meios adequados para a implementação efetiva das estratégias de GESI. Sem recursos financeiros e humanos dedicados, a integração tende a se diluir.
 - **Implementação:** Fomente parcerias multissetoriais e multidisciplinares, incluindo organizações representativas de grupos sub-representados. Este é também o momento de reforçar a sensibilização e a capacitação de equipes que têm menor experiência com GESI.
 - **Monitoramento e avaliação:** Use ferramentas participativas que permitam escuta ativa das populações beneficiadas. A coleta e a análise de dados desagregados por gênero, raça, idade e outros marcadores sociais são essenciais para a identificação de gargalos, a correção de rotas e a mensuração dos impactos de forma transparente.

Existem diversos materiais de referência que apoiam a transversalização de GESI em projetos. Essa diversidade permite a adaptação de metodologias conforme o contexto:

- *Incorporando a inclusão na ação climática* (UK PACT): com base em experiências na América Latina, África Subsaariana e Ásia, identifica práticas eficazes, desafios recorrentes e lições práticas.
- *Como integrar questões de gênero em projetos de agricultura inteligente* para o clima (FAO e Banco Mundial): traz orientações teóricas e práticas, listas de verificação e estudos de caso.
- *Transversalização de gênero: uma questão de direitos humanos* (Luxembourg Aid & Development, ONU Mulheres): embora não focado em clima, oferece um guia prático para integrar equidade de gênero em diferentes iniciativas, propondo abordagem sistemática em todas as etapas do projeto.

Embora valiosos, esses guias devem ser **adaptados às realidades locais**, respeitando culturas, normas e estruturas institucionais de cada país.

EXEMPLO PRÁTICO

O Instituto 17 (i17) elaborou um diagnóstico de gênero e inclusão social para subsidiar a integração de GESI nos projetos da cadeia do biogás no Brasil. Como não havia dados sistematizados disponíveis, foram utilizados registros da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS) para mapear empresas do setor e sua força de trabalho. Os resultados revelaram que as mulheres ocupam apenas 21% dos postos de trabalho na cadeia, recebem salários mais baixos em todos os estágios e enfrentam desigualdades ainda maiores quando são negras ou pardas, concentradas em cargos de menor remuneração. A partir dessas evidências, foram formuladas recomendações para enfrentar desigualdades estruturais e consolidar um setor de biogás mais justo e resiliente.

MENSAGEM-CHAVE

A integração de GESI não é uma ação isolada, mas um processo estratégico e contínuo. Colocar a equidade no centro do ciclo de projetos de mitigação garante soluções mais resilientes e com impacto social duradouro.

Lições para replicação

- 1. Planeje para a igualdade, não apenas para a mitigação:** proponha ações concretas para assegurar que benefícios como crédito, tecnologia e capacitação cheguem a todos os grupos sociais.
- 2. Elabore um bom diagnóstico do contexto:** invista em análises de GESI robustas para orientar estratégias e ações desde o início.
- 3. Mostre resultados com dados claros:** use informações desagregadas por gênero, raça/cor, idade e outros marcadores sociais para evidenciar avanços e desafios.
- 4. Articule parcerias estratégicas:** envolva redes, associações e organizações representativas de grupos sub-representados no desenho e na execução das ações.
- 5. Conecte a políticas estruturantes:** utilize aprendizados locais para influenciar programas nacionais e regionais, de modo a ampliar o alcance das práticas inclusivas.

A *Rede Mulheres do Biogás* é uma iniciativa brasileira criada no âmbito do **Programa de Energia para o Brasil (BEP)**, para promover a **equidade** de gênero no setor de biogás. A rede está incubada no Instituto 17 e tornou-se um espaço de conexão, empoderamento e fortalecimento de mulheres, combinando grupos de WhatsApp, reuniões, mentorias online e eventos presenciais. Sua missão é **conectar e empoderar mulheres do setor em busca da igualdade de gênero** e sua visão é consolidar-se como referência nacional na promoção da equidade na transição energética.

Destaques da Rede Mulheres do Biogás:

- Espaço de articulação e apoio mútuo, com mais de **500 integrantes** no Brasil e no exterior.
- Atuação colaborativa com empresas e atores estratégicos para fomentar **boas práticas institucionais**.
- Valorização de princípios como justiça, diversidade, sororidade, liderança colaborativa e transparência.
- Reconhecimento internacional com o prêmio Hero of the Year, concedido pela World Biogas Association (WBA) em 2023.
- Consolidação como rede estratégica para dar **visibilidade às profissionais do setor** e transformar estruturas organizacionais rumo à inclusão e sustentabilidade.

Guiada por seus valores e práticas colaborativas, a Rede busca não apenas ampliar a presença feminina no setor de biogás, mas também **transformar as estruturas organizacionais** para que se tornem mais justas, inclusivas e sustentáveis.

PONTO PRINCIPAL

A Rede Mulheres do Biogás mostra que iniciativas de articulação social podem transformar a transição energética em um processo mais inclusivo, conectando profissionais, fortalecendo lideranças femininas e promovendo mudanças estruturais no setor de bioenergia.

✓ Checklist do Capítulo 7

☐	Mapeie desigualdades e barreiras sociais no diagnóstico inicial	Garante que mulheres, jovens, agricultores familiares e comunidades tradicionais sejam considerados desde o desenho do projeto.
☐	Classifique o nível de integração GESI (cego, neutro, sensível, transformador)	Permite definir metas realistas de avanço e monitorar progressos de inclusão.
☐	Inclua metas e indicadores sociais no marco lógico do projeto	Assegura que resultados sociais (participação, renda, capacitação) sejam acompanhados junto aos ambientais.
☐	Forme equipes diversas e aplique avaliações de sensibilização	Fortalece a capacidade institucional e reduz o risco de que a integração de GESI fique apenas no discurso.
☐	Invista em capacitação progressiva e oficinas participativas	Amplia conhecimentos práticos e garante apropriação das estratégias por todos os atores envolvidos.
☐	Destine orçamento específico para ações de GESI	Evita que a inclusão social dependa apenas de recursos residuais ou do voluntarismo.
☐	Valorize tecnologias sociais de baixo custo e fácil manejo	Amplia a replicabilidade e os impactos positivos, especialmente em comunidades rurais.
☐	Ative parcerias com redes e organizações representativas	Fortalece articulação social e institucional para mudanças duradouras (Ex: Rede Mulheres do Biogás).
☐	Monitore resultados com dados desagregados por gênero, raça, idade e outros marcadores sociais	Permite identificar desigualdades persistentes e ajustar estratégias.
☐	Conecte aprendizados locais a políticas estruturantes nacionais e regionais	Garante que soluções inclusivas ultrapassem o nível do projeto e influenciem a transição energética em escala.



8 PRÓXIMOS PASSOS PARA REPLICAÇÃO

Ao longo deste guia, percorremos um caminho estruturado que partiu da compreensão global do papel do metano até a adaptação de soluções práticas às realidades locais. Cada capítulo foi organizado para apoiar gestores, técnicos, produtores e formuladores de políticas a transformar diagnósticos em ferramentas de apoio para a ação climática concreta. Iniciamos destacando a relevância global da pecuária nas emissões de metano, passamos pelo mapeamento de cadeias produtivas, pela projeção territorial e energética dos dejetos, pela escolha e adaptação de tecnologias, pela identificação de barreiras e, finalmente, pela integração de gênero e inclusão social.

Mitigar as emissões de metano é uma oportunidade imediata. A experiência brasileira mostra que é possível transformar um passivo ambiental em soluções energéticas, agrícolas e sociais. Quando apoiada em dados confiáveis, tecnologias adaptadas e políticas públicas consistentes, a mitigação das emissões de GEE de dejetos animais gera benefícios múltiplos: contribui, a curto prazo, para reduzir o processo de aquecimento global, fortalece a segurança alimentar, amplia o acesso à energia renovável e promove inclusão social.

Mais do que um manual técnico, este guia é um convite para que cada país desenvolva sua própria estratégia de mitigação de metano, utilizando a estrutura apresentada como ponto de partida. A replicação não significa copiar, mas sim **adaptar metodologias, critérios e soluções à realidade**

local. Com isso, torna-se possível alinhar ações locais a compromissos globais, como o **Acordo de Paris**, os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** e o *Global Methane Pledge*, reforçando o papel dos países do Sul Global como protagonistas da transição para uma pecuária de baixo carbono.

Mensagens-chave deste guia:

- **A mitigação do metano é estratégica:** contribui, a curto prazo, para reduzir o processo de aquecimento global e gera benefícios sociais, econômicos e ambientais.
- **Mapeamento sólido é o ponto de partida:** conhecer cadeias produtivas e sistemas de criação garante foco e efetividade.
- **Territorialização gera impacto:** traduzir diagnósticos em recortes regionais orienta políticas públicas concretas.
- **Tecnologias precisam de adaptação:** não há solução única, mas arranjos ajustados ao contexto local.
- **Barreiras e inclusão social definem a escala:** a remoção de entraves técnicos, financeiros e institucionais e a integração de GESI asseguram legitimidade e adesão.

Este guia se encerra como um convite à ação coletiva. O desafio da mitigação do metano na pecuária não pertence a um único país, mas a uma comunidade de nações que compartilham vulnerabilidades, potencial produtivo e vontade de inovar. O Sul Global reúne não apenas a maior parte da população mundial, mas, também, uma diversidade de sistemas agropecuários e a energia social necessária para a condução de soluções transformadoras. Ao adaptar este roteiro às suas realidades, esses países podem mostrar ao mundo que é possível conciliar segurança alimentar, inclusão social e mitigação climática em um mesmo caminho. O tempo de agir é agora: **cabe ao Sul Global assumir seu protagonismo e demonstrar que a transição para uma pecuária sustentável, justa e de baixo carbono não é apenas necessária, mas possível, viável e inspiradora para todo o planeta.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAO. Pathways towards lower emissions. Rome: FAO; 2023. <https://doi.org/10.4060/cc9029en>.
- [2] United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2021.
- [3] Forster P, T. Storelvmo KAWC, J.-L. Dufresne, D. Frame, D.J. Lunt, T. Mauritsen MDP, M. Watanabe MW, Zhang H. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, p. 923–1054. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.
- [4] CCAC - Climate and Clean Air Coalition. Guidance for national planning to reduce short-lived climate pollutants and promote integrated air pollution and climate mitigation strategies CCAC Initiative on Supporting National Action & Planning on short-lived climate pollutants (SNAP). 2021.
- [5] FAO. Livestock and environment statistics: manure and greenhouse gas emissions. Global, regional and country trends, 1990–2018. 2020.
- [6] FAOSTAT. Emissions from Livestock. FAO, Food and Agriculture Organization of the United States 2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GLE> (accessed August 26, 2025).
- [7] IBGE. PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal 2023. https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria (accessed August 26, 2025).
- [8] IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Censo Agropecuário: tabela 6942: 2017. <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6942> (accessed August 26, 2025).
- [9] Avila VS de, Figueiredo EAP de, Krabbe EL, Duarte SC, Saatkamp MG. Poedeira Embrapa 051 - guia de manejo das poedeiras coloniais de ovos castanhos. Folheto 2017:12. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076928/poedeira-embrapa-051---guia-de-manejo-das-poedeiras-coloniais-de-ovos-castanhos>.
- [10] Leytem AB, Archibeque S, Cole NA, Gunter SA, Hristov A, others. Chapter 4: Quantifying Greenhouse Gas Sources and Sinks in Animal Production Systems. Quantifying greenhouse gas fluxes in agriculture and forestry: Methods for entity-scale inventory. 2nd ed., Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist; 2024.
- [11] Machado Cardoso G, Machado de Melo Junior A, Oliveira Barros N, Ribeiro Tomich T, de Sá Guimarães A, Campos de Carvalho B, et al. Comunicado Técnico 98: Manejo da cama de compost barn para redução das emissões de gases do efeito estufa. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite; 2025.
- [12] Santos IA dos, Nogueira LAH. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. Revista Agrogeoambiental 2012;4. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v4n12012373>.

- [13] Blanco M, Zenatti DC, Feiden A, Tietz CM, Giacobbo G. Produção De Biogás a Partir De Dejetos Da Bovinocultura De Leite E Cama De Aviário. *Acta Iguazu* 2014;3:14–27.
- [14] Motta KU. Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos. Dissertação. Universidade Federal do Paraná & Universitat Stuttgart, 2012.
- [15] Kunz A, Tápparo DC, Nicolosso R da S, Steinmetz RLR, Krabbe EL. Considerações técnicas sobre o uso de carcaças de animais mortos não abatidos em processos de digestão anaeróbia. *Comunicado Técnico - Embrapa* 2021:12.
- [16] Augusto KVZ. Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: Compostagem e Biodigestão Anaeróbia. Dissertação. Universidade Estadual Paulista, 2007.
- [17] Kunz A, Oliveira PAV de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola* 2006;XV:28–35.
- [18] Instituto 17. Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização a curto prazo. Programa de Energia para o Brasil – BEP (Brasil). São Paulo/SP: 2022.
- [19] Picharillo MEFFF de. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência. Brasil: 2020.
- [20] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas inventories - Chapter 10: Emissions from livestock enteric fermentation and manure management. Chapter 10 2006.
- [21] Thompson AG, Wagner-Riddle C, Fleming R. Emissions of N₂O and CH₄ during the Composting of Liquid Swine Manure. *Environ Monit Assess* 2004;91:87–104. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000009231.04123.2d>.
- [22] IDR Paraná. RenovaPR - Paraná Energia Rural Renovável n.d. <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Parana-Energia-Rural-Renovavel> (accessed October 19, 2025).
- [23] Embrapa Suínos e Aves. Gestão dos resíduos da produção animal: reciclagem como fertilizante e impacto ambiental. vol. II. 1a. Brasília: Embrapa; 2024.
- [24] Nicoloso R da S, Oliveira PAV de, Kunz A, Krabbe EL, Barros EC. Critérios técnicos mínimos para o licenciamento ambiental de granjas de suínos 2023:56.
- [25] Campos AT de, Campos AT, Campos DS, Pires M de FA; Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite. *Circular Técnica Embrapa* 75 2003;75:1–10.
- [26] Medeiros SAF de, Sampaio FG, Sotta ED, Mariani LF, Bühring GB. Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019. *MAPA* 2019:50.
- [27] Ribeiro EM, Barros RM, Tiago Filho GL, dos Santos IFS, Sampaio LC, Santos TV dos, et al. GHG avoided emissions and economic analysis by power generation potential in posture aviaries in Brazil. *Renew Energy* 2018;120:524–35. <https://doi.org/10.1016/j.RENENE.2018.01.005>.
- [28] Mito JY de L, Kerkhoff S, Silva JLG, Vendrame MG, Steinmetz RLR, Kunz A. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. *Embrapa Suínos e Aves* 2018:56.

- [29] FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Guide to Biogas: From production to use. 2010.
- [30] Instituto 17. Biogás no Brasil: Potencial oferta a curto prazo 2021.
- [31] ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GNEB. Resolução ANP No 886, DE 29 de setembro de 2022 2022.
- [32] Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. Aplicações do Biogás para Geração de Energia Elétrica. Brasília: 2020.
- [33] EPA. Anaerobic digestion screening tool 2022;2.2.
- [34] Instituto 17. Biogás no Brasil: Análise de viabilidade econômica e de potencial de investimentos 2022.
- [35] CIBiogás. Manual para criadores de suínos - Suinocultura e Biogás: Benefícios e Desafios 2025. <https://cibiogas.org/blog/manualpara-criadores-de-suinos-suinocultura-e-biogas-beneficios-e-desafios/#:~:text=Projetos%20de%20suinocultura%20em%20termina%C3%A7%C3%A3o,pr%C3%B3ximo%20a%205%20mil%20su%C3%ADnos> (accessed October 20, 2025).
- [36] MAPA B. Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo; 2016.
- [37] Soares IP, Sabaini PS, Guiducci R do CN, Gambetta R, Gonçalves SB. Biodigestor para pequenos estabelecimentos agropecuários - Potencial de geração de renda e impacto ambiental 2024:19p.
- [38] FAO. The BEFS Analysis for Tanzania. BEFS - Bioenergy and Food Security Project 2010.
- [39] EPA. Livestock Anaerobic Digester Database. EPA - United States Environmental Protection Agency n.d. <https://www.epa.gov/agstar/livestock-anaerobic-digester-database> (accessed September 10, 2025).
- [40] DBFZ - Deutsches Biomasseforschungszentrum. Annual Report 2019. Leipzig: 2020.
- [41] FAO. Biomass Waste Management Strategy for Uganda. Kampala: 2021.
- [42] Gustafsson M, Meneghetti R, Souza Marques F, Trim H, Dong R, Al Saedi T, et al. A perspective on the state of the biogas industry from selected member countries. vol. 2. IEA Bioenergy Task37. IEA Bioenergy; 2024.
- [43] Velankar HR. Status of Biogas Implementation In India. Bangalore: 2022.
- [44] WISIONS os sustainability. Exchange: Consolidating the Adoption of Small and Medium-Scale Biogas Technology by Livestock Farmers in Costa Rica n.d. <https://www.wisions.net/study/exchange-consolidating-the-adoption-of-small-and-medium-scale-biogas-technology-by-livestock-farmers-in-costa-rica/> (accessed September 10, 2025).
- [45] Chen Y, Yang G, Sweeney S, Feng Y. Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:545–9. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.07.019>.

- [46] EPA. AgSTAR: Biogas Recovery in the Agriculture Sector. EPA - United States Environmental Protection Agency n.d. <https://www.epa.gov/agstar> (accessed September 10, 2025).
- [47] Creswell JW., Plano Clark VL. Designing and conducting mixed methods research. SAGE; 2018.
- [48] Mabecua F, Dimande N, Condo A, Klintenberg P, Lucas C, Schwede S. Barriers to successful implementation of small-scale biogas technology in Southern Africa: What can be learned from past initiatives in Mozambique? *Energy Proceedings* 2024;43.
- [49] Gallego-Schmid A, Vásquez-Ibarra L, Guerrero AB, Henninger CE, Rebolledo-Leiva R. Circular economy in a recently transitioned high-income country in Latin America and the Caribbean: Barriers, drivers, strengths, opportunities, key stakeholders and priorities in Chile. *J Clean Prod* 2025;486:144429. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.144429>.
- [50] Siemons A, Urrutia C, Gonzales-Zuñiga S, Pelekh N, Jeffery L. Barriers to mitigating emissions from agriculture. 2023.
- [51] Kulugomba R, Mapoma HWT, Gamula G, Blanchard R, Mlatho S. Opportunities and Barriers to Biogas Adoption in Malawi. *Energies (Basel)* 2024;17:2591. <https://doi.org/10.3390/en17112591>.
- [52] Mutahi PM, Kimutai SK, Adaramola MS. Barriers to the Growth and Implementation of Biogas Technology: The Kenyan Experience. *Energy Sci Eng* 2025:1–16. <https://doi.org/10.1002/ese3.70237>.
- [53] Mittal S, Ahlgren EO, Shukla PR. Barriers to biogas dissemination in India: A review. *Energy Policy* 2018;112:361–70. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.10.027>.
- [54] Nevzorova T, Kutcherov V. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews* 2019;26:100414. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2019.100414>.
- [55] Rocha-Meneses L, Luna-delRisco M, González CA, Moncada SV, Moreno A, Sierra-Del Rio J, et al. An Overview of the Socio-Economic, Technological, and Environmental Opportunities and Challenges for Renewable Energy Generation from Residual Biomass: A Case Study of Biogas Production in Colombia. *Energies (Basel)* 2023;16:5901. <https://doi.org/10.3390/en16165901>.
- [56] UK PACT. Embedding inclusion in climate action. 2024.
- [57] Instituto 17, Diaconia. Biodigestor Sertanejo: Tecnologia social para o fortalecimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: 2022.
- [58] EPAGRI. Biodigestor dá destino aos dejetos animais e gera energia limpa no campo: veja como construir um 2020. <https://www.epagri.sc.gov.br/biodigestor-da-destino-aos-dejetos-animais-e-gera-energia-limpa-no-campo-confira-o-passo-a-passo/> (accessed August 26, 2025).
- [59] Dagnino R. Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas [online]. Campina Grande: SciELO - EDUEPB; 2017

APÊNDICE

Glossário de sistemas de manejo de dejetos

- **Lagoa anaeróbia (*Anaerobic lagoon*):** projetadas para estabilização e armazenamento de dejetos líquidos, geralmente a céu aberto, com tempo de retenção superior a um ano. A água tratada pode ser reciclada para irrigação, fertirrigação ou outras aplicações. Apesar de sua simplicidade, estão associadas a elevadas emissões de metano se não houver cobertura ou queima controlada do biogás.
- **Biodigestor (*Anaerobic digester*):** unidades fechadas que realizam a digestão anaeróbia das excretas, resultando na geração de biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) e digestato. Quando operados com captação e aproveitamento energético, têm alto potencial de mitigação. Demandam infraestrutura adequada, controle operacional e destinação segura do digestato. Para que a digestão anaeróbia contribua efetivamente para a mitigação das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), é necessário assegurar o manejo eficiente tanto do biogás quanto do digestato. Práticas como a queima do biogás sem aproveitamento energético (*flare*) devem ser evitadas, e o sistema deve ser constantemente monitorado a fim de reduzir as emissões fugitivas.
- **Armazenamento sólido (*Solid storage*):** sistema simples no qual o esterco é empilhado a céu aberto por períodos de vários meses. Comum em propriedades de menor escala, está sujeito à perda de nutrientes e emissão de GEE por fermentação anaeróbia interna.
- **Fossa de armazenamento (*Pit storage*):** o esterco é armazenado sob o piso das instalações, com pouca ou nenhuma adição de água. Utilizado em confinamentos, representa risco elevado de emissão se não houver tratamento posterior.
- **Sistema slurry (*Liquid/slurry*):** consiste no armazenamento do esterco em tanques ou lagoas na forma líquida ou semissólida, com ou sem adição de água. Usualmente associado à posterior aplicação no solo, é frequente em sistemas intensivos e requer cuidados para evitar emissões difusas.
- **Compostagem (*Composting*):** é um processo biológico que ocorre na presença de oxigênio, promovendo a decomposição controlada da matéria orgânica. O processo resulta na estabilização dos dejetos e na produção de composto orgânico, com potencial para uso como fertilizante agrícola. Reduz significativamente as emissões de CH_4 e N_2O quando substitui práticas como esterqueiras e armazenamento sólido. Pode ser aplicada à fração sólida separada ou diretamente em dejetos com alta relação C/N.
- **Criação de aves sem cama coletora (*Poultry manure without litter*):** sistema em que o estrume se acumula seco em poços abaixo das gaiolas. Pode ser considerado uma forma passiva de compostagem. É amplamente difundido em criações de poedeiras.
- **Criação de aves com cama coletora (*Poultry manure with litter*):** os dejetos se acumulam sobre substrato vegetal (maravalha, palha etc.), que funciona como cama. Após o período de 6 a 12 meses, o material é coletado e pode ser utilizado como composto orgânico. Predominante em criações de frangos de corte.



Produzido por



Instituto 17

ISBN: 978-65-989522-1-1



CDL