

**POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE DEJETOS DE
ESTABELECIMENTOS DE PRÉ-EMBARQUE BOVINO**

Sabrina Lessa da Silva Lima – sabrinalima.2003@hotmail.com
Curso de Gestão Ambiental, Universidade Federal de Pelotas
José Walter de Oliveira, 65-Areal
96085410 – Pelotas – Rio Grande do Sul

Maria Noémia Saúl Ambasse Mussa – marianoemisaul@gmail.com
Curso de Gestão Ambiental, Universidade Federal de Pelotas

Vagner Vieira Bigliardi – vagnerbigliardi@gmail.com
Programa de Pós-Graduação em zootecnia, Universidade Federal de Pelotas

Maurício Pinto da Silva – mauriciomercosul@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas/ Curso de Gestão Ambiental

Fernanda Medeiros Gonçalves (orientadora) – fmgvet@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas

Resumo: Os Estabelecimentos de Pré-Embarque (EPEs) concentram, durante os períodos de quarentena exigidos para a exportação de bovinos vivos, grandes contingentes de animais em área restrita, gerando elevado volume de dejetos em curto intervalo de tempo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial energético desses dejetos por meio da rota de biodigestão anaeróbia, a partir da caracterização físico-química de amostras de raspa de confinamento e de composto orgânico produzidos em sistema de concentração bovina. Foram analisados resultados de nitrogênio total, carbono orgânico, relação C/N, umidade e pH bem como o perfil completo de macro e micronutrientes do composto orgânico. Com base em potenciais de produção de biogás e metano relatados na literatura para dejetos de bovinos de corte e leiteiros, da ordem de 0,30 a 0,80 m³ de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados, foi estimado o volume de biogás e a energia potencialmente recuperável a partir do dejetos gerado em um EPE de porte médio durante um ciclo de quarentena de 21 dias. Os resultados indicam potencial de produção de centenas de milhares de litros de biogás por ciclo, com teor de metano estimado entre 55% e 65%, volume suficiente para geração de energia térmica ou elétrica de uso interno na própria unidade, reduzindo a dependência de fontes externas de

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

abes-rs@abes-rs.org.brwww.abes-rs.org.br

energia e mitigando as emissões de metano associadas ao manejo inadequado dos resíduos. Conclui-se que a biodigestão anaeróbia representa rota tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa para o aproveitamento energético dos dejetos gerados em EPEs, alinhada às demandas crescentes por sustentabilidade na cadeia de exportação de animais vivos.

Palavras-chave: Biogás, Biodigestão anaeróbia, Resíduos pecuários, Quarentena de exportação, Energia renovável.

ENERGY POTENTIAL FROM WASTE GENERATED IN CATTLE PRE-EXPORT QUARANTINE FACILITIES

Abstract: Pre-Export Establishments (EPEs) concentrate large numbers of cattle during mandatory quarantine periods prior to live export, generating high volumes of waste in a short time frame. This study evaluated the energy potential of this waste through anaerobic digestion, based on physicochemical characterization of feedlot scraping and organic compost samples from an analogous cattle-concentration system. Using literature values of biogas and methane yield per kilogram of volatile solids reported for beef and dairy cattle manure, the potential biogas volume and recoverable energy were estimated for a medium-sized EPE during a 21-day quarantine cycle. Results indicate the potential for hundreds of thousands of liters of biogas per cycle, with an estimated methane content of 55% to 65%, sufficient for internal thermal or electrical energy use, reducing dependence on external energy sources and mitigating methane emissions associated with improper waste management.

Keywords: Biogas, Anaerobic digestion, Livestock waste, Export quarantine, Renewable energy.

1. INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia consolidou-se como tecnologia de tratamento de resíduos a partir da sistematização de seus fundamentos bioquímicos e de engenharia de processo, sintetizados no trabalho de McCarty (1964), que descreveu as etapas microbiológicas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese e estabeleceu os parâmetros de controle (temperatura, alcalinidade, tempo de retenção) ainda hoje utilizados no dimensionamento de biodigestores. Mais de seis décadas depois, a tecnologia permanece como uma das rotas mais difundidas de valorização energética de resíduos orgânicos, sendo amplamente empregada no tratamento de dejetos de origem pecuária em todo o mundo.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Paralelamente, o reconhecimento do metano proveniente do manejo de dejetos animais como fonte relevante de emissões antrópicas de gases de efeito estufa levou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) a estabelecer metodologias internacionalmente padronizadas para a estimativa dessas emissões, com fatores de conversão de metano (MCF) e valores-padrão de sólidos voláteis por categoria animal e sistema de manejo (IPCC, 2019). Essas diretrizes evidenciam que, na ausência de tratamento controlado, o mesmo processo de decomposição anaeróbia que fundamenta a produção de biogás em biodigestores ocorre de forma espontânea e não controlada em pilhas e lagoas de dejetos expostas ao ambiente, resultando em emissão direta de metano para a atmosfera sem qualquer aproveitamento energético associado.

A exportação de bovinos vivos é segmento estratégico do agronegócio brasileiro, tendo o país atingido, em 2025, marca histórica superior a um milhão de animais exportados, com operações concentradas em portos como Rio Grande (RS), São Sebastião (SP) e Vila do Conde (PA) (COMPRERURAL, 2026). A etapa final desse processo ocorre nos Estabelecimentos de Pré-Embarque (EPEs), unidades habilitadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) nas quais os animais selecionados permanecem sob supervisão veterinária oficial por período mínimo de 24 horas, podendo o protocolo sanitário do país importador exigir quarentena de até 21 dias ou mais (BRASIL, 2018; JAMPBRASIL, 2025). A caracterização operacional e sanitária dos EPEs, incluindo seu enquadramento normativo detalhado, é discutida em maior profundidade em trabalho complementar sobre o potencial de produção de biochar a partir do mesmo resíduo, não sendo repetida aqui em sua extensão integral.

Durante a permanência no EPE, os animais são mantidos em piquetes de alta densidade, recebendo dieta balanceada e cuidados sanitários intensivos, condição que se assemelha à de um confinamento de terminação de curta duração. Essa concentração resulta em geração elevada de dejetos sólidos e líquidos por unidade de área, estimando-se uma produção média de 3,3 kg de dejetos por animal por dia (IRANCHO, 2025). Para lotes de exportação que frequentemente superam 5.000 a 20.000 cabeças por embarcação (COMPRERURAL, 2026), o volume de resíduos acumulado ao longo do período de quarentena é substancial, configurando tanto um desafio logístico-ambiental, nos termos quantificados pelas metodologias do IPCC (2019), quanto uma oportunidade de aproveitamento energético ainda não explorada na literatura nacional sobre EPEs.

A biodigestão anaeróbia, fundamentada nos princípios estabelecidos por McCarty (1964), é processo biológico amplamente estudado para o tratamento de dejetos de bovinos, no qual microrganismos anaeróbios decompõem a matéria orgânica em ausência de oxigênio, gerando biogás – mistura composta majoritariamente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) –

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

e um efluente estabilizado (biofertilizante), rico em nutrientes minerais (RESENDE et al., 2014). O biogás produzido apresenta elevado poder calorífico, podendo ser utilizado para geração de energia térmica e elétrica, substituindo fontes fósseis e reduzindo a emissão de metano para a atmosfera, gás cujo potencial de aquecimento global é muito superior ao do CO₂ quando liberado diretamente pela decomposição não controlada dos dejetos (CASALE, 2025).

Estudos brasileiros com dejetos de bovinos de corte e leiteiros relatam potenciais de produção de biogás que variam amplamente conforme a dieta, o genótipo animal e o tempo de retenção hidráulica do biodigestor, situando-se entre 150 e 370 litros de metano por quilograma de sólidos voláteis (SV) adicionados, e entre 0,30 e 0,80 m³ de biogás por kg de SV (ORRICO JÚNIOR et al., 2012; RESENDE et al., 2014). Tais valores evidenciam o potencial energético ainda subutilizado dos dejetos bovinos no Brasil, especialmente em sistemas de concentração animal de curta duração, como os EPEs, nos quais a gestão de resíduos é historicamente tratada apenas como questão de biossegurança e logística, sem aproveitamento energético associado.

Esse potencial subutilizado dialoga diretamente com a Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), cuja meta 7.2 estabelece o aumento substancial da participação de energias renováveis na matriz energética global, e o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), associado à mitigação de emissões de metano evitadas pelo tratamento controlado do dejetos (ONU, 2015). A conversão de um passivo ambiental recorrente da cadeia de exportação de animais vivos em vetor de geração de energia renovável posiciona a biodigestão anaeróbia de dejetos de EPEs como tecnologia de interesse não apenas sanitário e ambiental, mas também energético, tema que será retomado ao longo da discussão dos resultados.

Este trabalho teve como objetivo estimar o potencial de produção de biogás e a energia recuperável a partir dos dejetos gerados em um EPE de porte médio, com base na caracterização físico-química de amostras de dejetos bovino e de seu produto compostado, discutindo a viabilidade técnica e as vantagens ambientais da adoção da biodigestão anaeróbia nesse tipo de instalação, à luz de sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Adicionalmente, busca-se contribuir para a literatura ainda incipiente sobre o aproveitamento energético de resíduos gerados especificamente em Estabelecimentos de Pré-Embarque, tema pouco explorado em comparação à vasta produção científica sobre biodigestão de dejetos de confinamentos convencionais de terminação. A particularidade dos EPEs – operação intermitente, exigências sanitárias rigorosas impostas pelos protocolos de quarentena internacional e proximidade obrigatória aos portos de embarque – impõe restrições e oportunidades específicas ao desenho de soluções de aproveitamento energético, que merecem

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

investigação dedicada, distinta da simples extrapolação de parâmetros obtidos em sistemas de produção pecuária de ciclo completo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo adota abordagem exploratória de caráter quali-quantitativo, fundamentada em laudos de caracterização físico-química de dejetos bovinos provenientes de sistema de confinamento localizado no município de Capão do Leão (RS) – mesma base analítica empregada em estudo complementar sobre o potencial de biochar do mesmo resíduo –, adotado como modelo análogo a um EPE em razão da semelhança de manejo (alta densidade animal, raspagem periódica do piso e curto tempo de residência do dejetos antes da remoção). Enquanto o estudo complementar avalia a rota de transformação termoquímica do material, a presente análise volta-se à sua rota biológica de valorização energética.

2.1. Caracterização do substrato

As amostras foram coletadas em dois períodos de produção e/ou tratamento do dejetos, representando o material coletado de uma pilha de material (dejetos) em tratamento por compostagem por 120 dias e amostras do material de raspagem diretamente do piso de permanência dos animais (material fresco). Os parâmetros analisados foram nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em g kg⁻¹, além de carbono orgânico (C), relação C/N, umidade, pH, macro e micronutrientes (Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, B, S, N, P₂O₅, K₂O), carbono orgânico total (C.O.T.), matéria orgânica (M.O.), pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e relação C/N, conforme metodologia oficial estabelecida pela Portaria SDA/MAPA nº 1110/2024 (BRASIL, 2024).

O teor de carbono orgânico e a relação C/N foram utilizados como indicadores indiretos do conteúdo de sólidos voláteis (SV) potencialmente biodegradáveis, parâmetro central para a estimativa da produção de biogás em processos de biodigestão anaeróbia, uma vez que a fração orgânica volátil constitui o substrato efetivamente convertido pelos microrganismos metanogênicos (ORRICO JÚNIOR et al., 2012).

2.2. Estimativa do potencial de biogás e de energia

Para a estimativa do potencial de biogás, adotou-se a faixa de produção de 0,30 a 0,80 m³ de biogás por kg de sólidos voláteis (SV) adicionados, intervalo compatível com os valores reportados para dejetos de bovinos de corte e leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica e composições de dieta (ORRICO JÚNIOR et al., 2012; RESENDE et al., 2014; SCIELO, 2012). O teor de sólidos voláteis foi estimado a partir do teor de matéria

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

orgânica determinado no composto e do carbono orgânico das amostras de raspa de confinamento, assumindo-se relação aproximada entre carbono orgânico e sólidos voláteis totais.

Para manter a comparabilidade entre as rotas de valorização avaliadas para o mesmo resíduo, adotou-se o mesmo cenário ilustrativo utilizado em estudo complementar sobre o potencial de biochar dos dejetos de EPEs: geração diária de 3,3 kg de dejetos por animal alojado (IRANCHO, 2025) e um EPE operando com lote de 5.000 bovinos durante 21 dias de quarentena, porte compatível com operações relatadas para portos brasileiros de exportação de gado vivo (COMPRERURAL, 2026; LANCE RURAL, 2018). O teor médio de metano no biogás foi assumido entre 55% e 65%, faixa típica de biodigestores operados com dejetos bovinos (SCIELO, 2012; RESENDE et al., 2014). A energia potencialmente recuperável foi estimada considerando o poder calorífico inferior do metano de aproximadamente 9,9 kWh m⁻³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização físico-química dos dejetos

Os resultados da caracterização das amostras de dejetos in natura e do dejetos compostado são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química das amostras de dejetos in natura e dejetos compostado provenientes de um EPE.

Parâmetro	Unidade	In natura (média, n=3)	Compostado (média, n=2)
Nitrogênio total (N)	%	0,282	0,205
Fósforo (P)	%	0,128	0,252
Potássio (K)	%	0,117	0,208
Cálcio (Ca)	%	0,403	0,365
Magnésio (Mg)	%	0,186	0,165
Carbono orgânico (C)	%	3,986	1,870
Relação C/N	–	14,67:1	9,21:1
pH	–	8,89	7,30

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

A umidade relativamente baixa (22,6% a 26,9%) em relação ao dejetos bovino fresco, que tipicamente apresenta umidade superior a 80% (LORIMOR; POWERS, 2004, apud SCOT CONSULTORIA, 2025), sugere que o material analisado corresponde a dejetos já parcialmente seco no momento da raspagem, com perda de umidade por exposição ao ambiente do confinamento. Esse aspecto é relevante para o dimensionamento de biodigestores, uma vez que a biodigestão anaeróbia convencional opera de forma mais eficiente com substratos diluídos, sendo necessária, na prática operacional de um EPE, a adição de água de lavagem das instalações ou de efluentes líquidos already gerados na unidade para ajustar o teor de sólidos totais do afluente à faixa ideal de 4% a 10%, comumente adotada em biodigestores rurais (UNESP, 2018).

Os baixos teores de matéria orgânica no dejetos compostado e a relação C/N indicam material que já passou por decomposição aeróbia, restando fração orgânica recalcitrante e de menor potencial de biodegradação anaeróbia em comparação ao dejetos fresco.

Tabela 2 - Médias dos parâmetros comuns às duas análises, em percentual (%): dejetos in natura versus composto orgânico do EPE.

Parâmetro	Unidade	In natura (média, n=3)	Compostado (média, n=2)
Nitrogênio total (N)	%	0,282	0,205
Carbono orgânico (C)	%	3,986	1,870
Relação C/N	–	14,67:1	9,21:1
pH	–	8,89	7,30

Material fresco versus material compostado como substrato da biodigestão anaeróbia

A redução de mais da metade no teor médio de carbono orgânico entre o dejetos in natura e o composto (de 3,986% para 1,870%) tem implicação direta e desfavorável sobre o potencial de biodigestão anaeróbia, uma vez que o carbono orgânico facilmente degradável constitui justamente o substrato que os microrganismos metanogênicos convertem em biogás. Zou e Kang (2018), em estudo dedicado especificamente à relação entre pré-tratamento por compostagem e produção de biogás, demonstraram que a compostagem prévia do substrato reduz a produção subsequente de biogás na biodigestão anaeróbia, uma vez que ambos os processos – compostagem aeróbia e digestão anaeróbia – competem pela mesma fração de carbono orgânico lábil, sendo que a primeira já consome, por via aeróbia, parte considerável do substrato que seria convertido em metano caso fosse encaminhado diretamente ao biodigestor.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Esse achado é corroborado pelo comportamento esperado de sistemas de biodigestão rural, nos quais o dejetos fresco, com maior teor de sólidos voláteis disponíveis, tende a produzir o volume ótimo de biogás e a apresentar maior eficiência de destruição de sólidos no digestor, ao passo que substratos já parcialmente estabilizados (como compostos maturados) entregam volumes de biogás proporcionalmente menores por unidade de massa adicionada (AGUASIGMA, 2025). A literatura técnica sobre manejo de dejetos reconhece, inclusive, que a compostagem é tecnologia mais adequada para materiais de natureza seca ou empilhável e com elevado teor de material fibroso (palha, cama), justamente o tipo de substrato menos indicado para biodigestão anaeróbia eficiente sem pré-tratamento de hidrólise (AGUASIGMA, 2025), reforçando que as duas rotas de tratamento – compostagem e biodigestão – são, em certa medida, concorrentes pelo mesmo carbono orgânico, e não etapas sequenciais complementares quando o objetivo é maximizar a geração de biogás.

Sob a perspectiva do nitrogênio, contudo, a comparação favorece parcialmente o composto: a relação C/N mais baixa do material compostado (9,21:1, Tabela 3) já se aproxima da faixa considerada ótima para biodigestão de dejetos bovinos isolados, situada entre 20:1 e 30:1 quando se busca evitar inibição por amônia em substratos de C/N muito baixo, mas insuficiente quando comparada a substratos de maior relação C/N, capazes de sustentar digestão mais prolongada antes da exaustão do carbono disponível. Em conjunto, os resultados deste estudo indicam que o dejetos in natura constitui substrato preferencial para a maximização da produção de biogás em EPEs, devendo a compostagem ser reservada para a fração de dejetos não destinada à biodigestão, ou para o tratamento do digestato residual após a etapa anaeróbia, e não como pré-tratamento do material a ser efetivamente biodigerido.

3.2. Estimativa do potencial de biogás e de energia

A partir da geração diária de 3,3 kg de dejetos por animal e do cenário de 5.000 bovinos durante 21 dias de quarentena, estimou-se a geração total de dejetos e o correspondente potencial de produção de biogás, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa de geração de dejetos e potencial de produção de biogás em cenário ilustrativo de EPE (5.000 bovinos, 21 dias de quarentena).

Parâmetro	Valor estimado
Dejetos úmidos gerados (kg dia ⁻¹)	16.500
Dejetos úmidos totais no ciclo (t)	346,5
Sólidos voláteis estimados (% do dejetos úmidos)	≈ 15 – 18
Massa de SV no ciclo (t)	52,0 – 62,4

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Biogás potencial (0,30 m ³ kg ⁻¹ SV, m ³)	15.600 – 18.720
Biogás potencial (0,80 m ³ kg ⁻¹ SV, m ³)	41.600 – 49.920
Teor médio de metano (%)	55 – 65
Energia potencial recuperável (MWh, cenário médio)	≈ 150 – 280

Fonte: elaborado pelos autores, com base em ORRICO JÚNIOR et al. (2012), RESENDE et al. (2014), IRANCHO (2025) e dados analíticos das Tabelas 1 e 2.

Os resultados indicam que um único ciclo de quarentena de um EPE de porte médio poderia gerar entre aproximadamente 15.600 e 49.920 m³ de biogás, dependendo da eficiência do processo de biodigestão e das condições operacionais do biodigestor (tempo de retenção hidráulica, temperatura, diluição do substrato). Considerando-se teor médio de metano de 60% e poder calorífico de aproximadamente 9,9 kWh por metro cúbico de metano, a energia potencialmente recuperável situa-se na faixa de 150 a 280 MWh por ciclo de quarentena, volume relevante para suprir demandas de energia térmica (aquecimento de água, secagem) e elétrica de uso interno do próprio EPE, incluindo iluminação de currais, bombeamento de água e, eventualmente, climatização de instalações administrativas.

Esses valores são da mesma ordem de grandeza dos relatados por Resende et al. (2014) para sistemas de biodigestão de dejetos bovinos sob diferentes manejos, nos quais a produção acumulada de biogás variou conforme o sistema de criação (convencional ou orgânico) e a composição da dieta, com sistemas convencionais – mais próximos do padrão nutricional adotado em EPEs, que recebem dietas energéticas para manutenção do peso dos animais durante a quarentena – apresentando maior potencial energético e maior redução de sólidos totais e voláteis no processo.

Adicionalmente, Orrico Júnior et al. (2012) reportaram valores de até 370 litros de biogás e 250 litros de metano por quilograma de SV adicionado para dejetos bovinos utilizados isoladamente como substrato, valores que se situam no limite superior da faixa adotada neste estudo, sugerindo que, sob condições otimizadas de biodigestão (codigestão com outros resíduos, controle de temperatura, tempo de retenção adequado), o potencial energético dos dejetos de EPEs pode superar as estimativas conservadoras aqui apresentadas.

3.3. Vantagens ambientais e operacionais

Além do aproveitamento energético direto, a biodigestão anaeróbia proporciona redução significativa dos teores de sólidos totais e voláteis do dejetos, da ordem de 27% a 47% conforme relatado na literatura (ORRICO JÚNIOR et al., 2012; SCIELO, 2012), o que diminui o volume final de material a ser destinado como biofertilizante e reduz a carga poluente de eventuais

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

efluentes líquidos gerados na operação do EPE. O processo também contribui para a redução do número de microrganismos indicadores de contaminação fecal e de ovos de parasitas de ruminantes, sendo vinte dias de tempo de retenção hidráulica considerados suficientes para reduções expressivas desses indicadores em biodigestores operados com dejetos de bovinos leiteiros (SCIELO, 2012), prazo compatível com o período de quarentena típico de um EPE. Esse efeito depurador materializa, de forma concreta, a meta 6.3 do ODS 6 (Água Potável e Saneamento), voltada à redução da poluição e ao aumento da reciclagem segura de efluentes (ONU, 2015).

Sob a ótica da gestão ambiental do setor exportador, a captura do metano gerado pela decomposição dos dejetos representa mitigação direta de emissões de gases de efeito estufa que ocorreriam de forma não controlada caso o material fosse simplesmente empilhado ou disposto a céu aberto, prática ainda observada em parte dos confinamentos brasileiros, nos quais 92,5% das unidades pesquisadas no levantamento Confinar Brasil 2024 coletam os dejetos, mas a destinação predominante (96,2%) é a aplicação direta como adubo, sem tratamento prévio por biodigestão (SCOT CONSULTORIA, 2025). Essa captura e o aproveitamento energético associado do metano, em vez de sua simples mitigação passiva, conectam o achado diretamente à meta 13.2 do ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e, simultaneamente, à meta 7.2 do ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), que preconiza o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética (ONU, 2015), uma vez que o biogás gerado substitui, ao menos parcialmente, fontes de energia fóssil utilizadas nas operações do EPE.

Por fim, o biofertilizante resultante do processo de biodigestão, rico em nitrogênio, fósforo e potássio mineralizados, mantém valor agrônômico comparável ou superior ao do composto orgânico tradicional, podendo ser comercializado ou utilizado nas próprias áreas agrícolas vinculadas ao EPE, compondo modelo de economia circular que agrega valor ao que hoje é tratado apenas como passivo ambiental do processo de exportação de animais vivos, em linha com a meta 12.5 do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), de redução substancial da geração de resíduos por reciclagem e reuso, e com a meta 2.4 do ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), associada ao fortalecimento de práticas agrícolas resilientes (ONU, 2015).

Vale ainda destacar que a adoção de tecnologias de aproveitamento energético de resíduos pecuários tende a se tornar fator de competitividade comercial para o setor exportador brasileiro, à medida que mercados importadores, sobretudo na União Europeia e em parte do Oriente Médio, passam a exigir comprovação de práticas de baixo carbono ao longo de toda a cadeia produtiva, incluindo as etapas finais de preparo dos animais antes do embarque. Nesse sentido, a biodigestão anaeróbia em EPEs pode ser incorporada a estratégias de certificação

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

ambiental e de rastreabilidade da pegada de carbono da carne e dos animais vivos exportados, agregando diferencial competitivo às operações brasileiras frente a concorrentes internacionais.

3.4. Arranjos tecnológicos e viabilidade de implantação

A implantação de biodigestores em EPEs demanda adequações operacionais específicas, considerando a natureza intermitente da atividade: ao contrário de confinamentos de terminação, que operam de forma contínua ao longo do ano, os EPEs alternam ciclos de ocupação plena (durante a quarentena) com períodos de instalações vazias entre embarques. Esse padrão sazonal pode ser administrado por meio de biodigestores do tipo batelada, alimentados por lote a cada novo ciclo de quarentena, ou por sistemas contínuos de menor porte, dimensionados para a capacidade média anual de animais recebidos pelo estabelecimento, com tanque de armazenamento (pulmão) para os períodos de menor geração de dejetos (UNESP, 2018). A própria adoção desse arranjo tecnológico, ainda incipiente no setor pecuário exportador, representa avanço alinhado ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), particularmente à sua meta de modernização da infraestrutura e adoção de tecnologias limpas e ambientalmente corretas (ONU, 2015).

Modelos de biodigestores já consolidados no meio rural brasileiro, como os modelos indiano e chinês, têm sido avaliados quanto à eficiência de redução de sólidos totais e voláteis e à produção de biogás em diferentes tempos de retenção hidráulica, com resultados indicando melhor desempenho do modelo chinês em tempos de retenção de vinte dias (SCIELO, 2012), prazo compatível com a duração mínima de quarentena estabelecida pelos protocolos sanitários de exportação. Essa coincidência temporal é vantajosa do ponto de vista operacional, pois permite que o ciclo de biodigestão se complete dentro do próprio período em que os animais permanecem no EPE, facilitando a sincronização entre a geração de dejetos, o tratamento anaeróbico e a disponibilização do biofertilizante e do biogás ao final da quarentena.

Em termos de arranjo institucional, a centralização do processamento de dejetos em unidades de biodigestão compartilhadas entre EPEs próximos a um mesmo porto de exportação – a exemplo da concentração de unidades observada no estado de São Paulo, com cerca de dez EPEs operando nas proximidades do Porto de São Sebastião (LANCE RURAL, 2018) – pode favorecer ganhos de escala, reduzindo o investimento unitário necessário para cada estabelecimento e viabilizando a comercialização conjunta do excedente de energia ou do biofertilizante gerado.

3.5. Síntese da contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

A Tabela 5 sintetiza os principais achados deste estudo à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (ONU, 2015), evidenciando que o aproveitamento energético de dejetos de EPEs por biodigestão anaeróbia articula simultaneamente dimensões energéticas, climáticas, hídricas, agrônômicas e tecnológicas.

Tabela 5 - Síntese da contribuição do aproveitamento energético de dejetos de EPEs para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ODS	Meta(s) relacionada(s)	Contribuição identificada no estudo
ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável	2.4	Biofertilizante mineralizado resultante da biodigestão, com valor agrônômico comparável ou superior ao do composto tradicional.
ODS 6 – Água Potável e Saneamento	6.3	Redução de sólidos totais/voláteis e de indicadores de contaminação fecal, diminuindo a carga poluente de efluentes do EPE.
ODS 7 – Energia Limpa e Acessível	7.2	Geração de biogás como fonte renovável, substituindo parcialmente combustíveis fósseis no consumo energético interno do EPE.
ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura	9.4	Modernização tecnológica da gestão de resíduos pecuários por meio de biodigestores adaptados à operação intermitente dos EPEs.
ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis	12.5	Conversão de passivo ambiental recorrente em biogás e biofertilizante, reduzindo volume final de resíduo a destinar.
ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima	13.2	Captura e aproveitamento energético do metano, mitigando emissões que ocorreriam de forma não controlada na decomposição do dejetos.

Fonte: elaborado pelos autores, com base em ONU (2015) e nos resultados discutidos nas seções 3.1 a 3.4.

3.6. Limitações do estudo

Três fontes de incerteza merecem destaque na interpretação dos resultados aqui apresentados. Em primeiro lugar, à semelhança do que se aplica ao estudo complementar sobre biochar do mesmo resíduo, o material caracterizado corresponde a um confinamento convencional, e não a um EPE em operação, de modo que eventuais diferenças de dieta, manejo sanitário intensivo e tempo de residência do dejetos podem alterar a relação entre carbono orgânico e sólidos voláteis efetivamente biodegradáveis. Em segundo lugar, os valores de sólidos voláteis foram inferidos indiretamente a partir do teor de matéria orgânica e de carbono orgânico determinados nos laudos disponíveis, e não de determinação gravimétrica direta de sólidos totais e voláteis,

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

etapa metodológica indispensável em qualquer ensaio de biodigestão conduzido com rigor experimental.

Em terceiro lugar, e de forma específica à rota de biodigestão anaeróbia, a eficiência do processo é fortemente sensível a variáveis operacionais não contempladas nas estimativas de ordem de grandeza aqui apresentadas, como a temperatura de operação do biodigestor, o tempo de retenção hidráulica efetivamente praticado e a eventual necessidade de diluição do substrato para ajuste do teor de sólidos totais à faixa ideal de fermentação. Em regiões de clima subtropical, como o Rio Grande do Sul, a variação sazonal de temperatura ambiente pode reduzir a atividade dos microrganismos metanogênicos nos meses mais frios, exigindo aquecimento auxiliar do substrato ou dimensionamento mais conservador da capacidade do biodigestor para garantir desempenho estável ao longo do ano. Recomenda-se, portanto, que os valores aqui apresentados sejam tomados como referência preliminar, a ser validada por ensaios em biodigestores piloto alimentados com dejetos efetivamente coletados em EPEs ao longo de diferentes estações do ano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros de sólidos voláteis, carbono orgânico e relação C/N do dejetos bovino de um EPE situam-se dentro das faixas reportadas na literatura para substratos bovinos com bom desempenho em biodigestão anaeróbia. Esses parâmetros sustentam que, para um cenário ilustrativo de EPE com 5.000 bovinos em ciclo de 21 dias de quarentena, é possível atingir a geração de 15.600 a 49.920 m³ de biogás, correspondendo a aproximadamente 150 a 280 MWh de energia recuperável por ciclo. Este montante que, em conjunto com a estimativa de produção de biochar discutida em trabalho complementar sobre a mesma matriz de resíduos, evidencia que o dejetos gerado em EPEs admite mais de uma rota simultânea de valorização, a depender do estágio de decomposição em que o material é coletado.

Conclui-se que a biodigestão anaeróbia constitui alternativa tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa para o tratamento dos dejetos gerados em EPEs, com potencial de suprir parte da demanda energética interna dessas unidades. Adicionalmente, contribui para a redução das emissões de metano nestes sistemas.

A tecnologia articula contribuições simultâneas a seis Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 6, 7, 9, 12 e 13), reforçando que o aproveitamento energético de resíduos de EPEs transcende a simples mitigação de um passivo ambiental, posicionando-se como vetor de transição energética da pecuária de exportação brasileira alinhado à Agenda 2030.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Recomenda-se, para estudos futuros, a realização de ensaios de biodigestão em escala piloto com dejetos efetivamente coletados em EPEs, a determinação direta dos teores de sólidos voláteis e da composição do biogás produzido, bem como análises de viabilidade econômica para a implantação de biodigestores nessas unidades, eventualmente em arranjo combinado com unidades de pirólise para o tratamento do efluente sólido digerido.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Estância del Sur pela disponibilização dos laudos analíticos utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

AGUASIGMA. **Manure and slurry reuse for biogas production**. Disponível em: <<https://aguasigma.com/en/produccion-de-biogas-a-partir-de-estiercol-y-purines-soluciones-sostenibles-para/>>. Acesso em: 26 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de 28 de agosto de 2018**. Estabelece os procedimentos para exportação de bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos vivos. Brasília: MAPA, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria SDA nº 1.110, de 13 de maio de 2024**. Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios dos programas e controles oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária.

CASALE. **Manejo de dejetos em confinamento bovino: como as inovações tecnológicas apoiam práticas sustentáveis**. Disponível em: <<https://casale.com.br/en/blog/manejo-de-dejetos-em-confinamento-bovino-como-as-inovacoes-tecnologicas-apoiam-praticas-sustentaveis/>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

COMPRERURAL. **Como 20 mil bois atravessam o oceano de uma só vez – e como o bem-estar animal é garantido**. Disponível em: <<https://www.comprerural.com/como-20-mil-bois-atravesam-o-oceano-de-uma-so-vez-e-como-o-bem-estar-animal-e-garantido-na-exportacao-de-gado-vivo/>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. In: **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Geneva: IPCC, 2019.

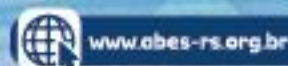
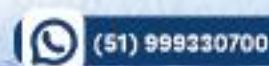
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



IRANCHO. **Confinamento de bovinos: como lidar com os dejetos?** Disponível em: <<https://www.irancho.com.br/confinamento-de-bovinos-como-lidar-com-os-dejetos/>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

JAMPBRASIL. **Como funciona a exportação de gado bovino no Brasil?** Disponível em: <<https://www.jampbrasil.com.br/blog/como-funciona-a-exportacao-de-gado-bovino-no-brasil/>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

LANCE RURAL. **Conheça o que é necessário para exportar gado vivo.** Disponível em: <<https://www.lancerural.com.br/conheca-o-que-e-necessario-para-exportar-gado-vivo/>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

MCCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. **Public Works**, v. 95, n. 9, p. 107-112, 1964.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 7, 2012.

RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; CARNEIRO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; LIMA, J. C. F.; OTENIO, M. H. Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica. **Embrapa Gado de Leite**, Juiz de Fora, 2014.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, 2012.

SCOT CONSULTORIA. **Manejo de dejetos em confinamentos**. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/agro-sustentavel/53386/manejo-de-dejetos-em-confinamentos.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

UNESP – Universidade Estadual Paulista. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos: caracterização e potencial de produção de biogás**. Repositório Institucional UNESP, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c5571bdd-5a46-459f-ab58-612517ef3b44/content>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



13º Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Tecnologias Ambientais e Inovação

23, 24 e 25 de setembro de 2026

ZOU, S.; KANG, D. Relationship between anaerobic digestion characteristics and biogas production under composting pretreatment. **Renewable Energy**, v. 125, p. 485-494, 2018.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br