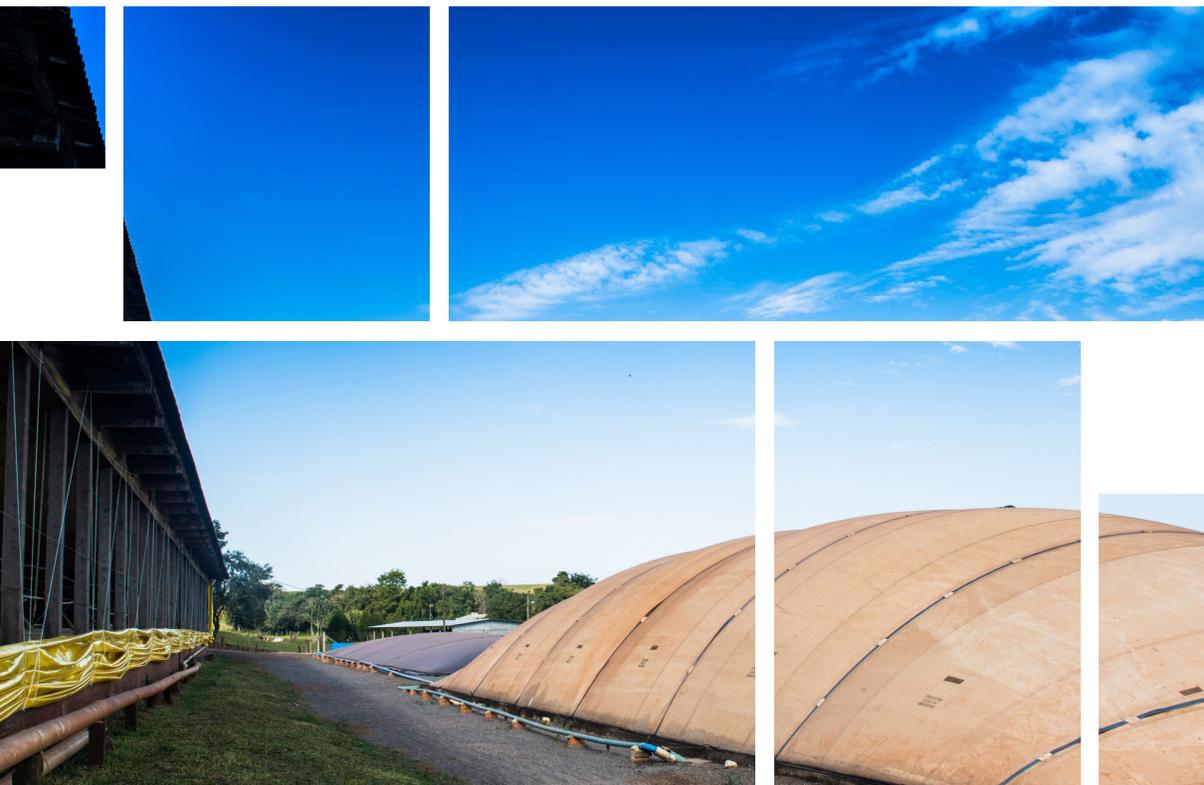


Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Suínos e Aves
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás

DOCUMENTOS 196

Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil

*Jessica Yuki de Lima Mito
Sabrina Kerkhoff
Jefferson Luiz Gonçalves Silva
Maycon Georgio Vendrame
Ricardo Luís Radis Steinmetz
Airton Kunz*

Autores

**Embrapa Suínos e Aves
Concórdia, SC
2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves

Rodovia BR 153 - KM 110
Caixa Postal 321
89.715-899, Concórdia, SC
Fone: (49) 3441 0400
Fax: (49) 3441 0497
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Centro Internacional de

Energias Renováveis - Biogás

Avenida Tancredo Neves, 6731
Edifício das Águas - Sala 11
Parque Tecnológico Itaipu
85.867-970, Foz do Iguaçu - PR
Fone: (45) 3576 7166
www.cibiogas.org
cibiogas@cibiogas.org

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Suínos e Aves

Presidente
Marcelo Miele

Secretária-Executiva
Tânia Maria Biavatti Celant

Membros
Airton Kunz, Ana Paula Almeida Bastos, Gilberto Silber Schmidt, Gustavo Julio Mello Monteiro de Lima, Monalisa Leal Pereira

Supervisão editorial
Tânia Maria Biavatti Celant

Revisão técnica
Felipe Souza Marques e Martha Mayumi Higarashi

Revisão de texto
Lucas Scherer Cardoso

Normalização bibliográfica
Claudia Antunes Arrieche

Tratamento das ilustrações
Vivian Fracasso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Vivian Fracasso

Foto da capa
Marcos Labanca

1ª edição
Versão eletrônica (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Suínos e Aves

Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil / Jessica Yuki de Lima Mito ... [et al.]. - Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p.; 21 cm. (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 01016245; 196).

1. Transferência de tecnologia. 2. Produção de biogás. 3. Produção de biometano. 4. Fertilizante. 5. Manejo de dejetos. 6. Técnicas de manejo. 7. Suinocultura. 8. Bovinocultura. 9. Mudanças climáticas. 10. Efeito estufa. 11. Emulsão de gases. I. Título. II. Série. III. Mito, Jessica Yuki de Lima. IV. Kerkhoff, Sabrina. V. Silva, Jefferson Luiz Gonçalves. VI. Vendrame, Maycon Georgio. VII. Steinmetz, Ricardo Luís Radis. VIII. Kunz, Airton.

CDD. 665.776

© Embrapa, 2018

Autores

Jessica Yuki de Lima Mito

Engenheira Ambiental, especialista em Gestão Ambiental de Municípios, analista no Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás, Foz do Iguaçu, PR

Sabrina Kerkhoff

Engenheira Ambiental, mestre em Ciências Ambientais, licenciada em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), bolsista no Parque Tecnológico Itaipu, Foz do Iguaçu, PR

Jefferson Luiz Gonçalves Silva

Engenheiro Agrícola, analista Ambiental na Fundação Parque Tecnológico Itaipu, Foz do Iguaçu, PR

Maycon Georgio Vendrame

Engenheiro Eletricista, na Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu, PR

Ricardo Luís Radis Steinmetz

Químico Industrial, doutor em Engenharia Química, analista da
Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Airton Kunz

Químico Industrial, doutor em Química, pesquisador da
Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Apresentação

O presente documento é resultado da Rede BiogásFert, em um trabalho liderado pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás-ER) e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI), por meio do Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), em conjunto com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Itaipu Binacional.

A Rede BiogásFert vincula-se ao programa de tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do Plano ABC, que detalha as ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para a agropecuária e visa cumprir os compromissos de redução de emissão de gases de efeito estufa do setor no Brasil.

Além disso, a Rede BiogásFert visa contribuir ao Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), com foco em informações sobre biogás e fertilizantes de resíduos das cadeias de suinocultura, bovinocultura e avicultura.

Este documento, como fruto de trabalho da Rede BiogásFert, contempla o desenvolvimento de metodologia para estimar o volume de dejetos e o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis de suínos e bovinos no Brasil, desenvolvido entre os anos de 2013 a 2016 e atualizado em 2018.

Portanto, neste documento estão contidas as informações pertinentes às metodologias de estimativa de produção de metano e biogás, bem como os parâmetros qualitativos pesquisados e delimitados para uso da Rede BiogásFert.

Rafael Hernando de Aguiar Gonzalez

Diretor de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás

Airton Kunz

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Suínos e Aves

Sumário

Introdução.....	11
Objetivo geral	12
Objetivos específicos	12
Metodologia da pesquisa.....	13
Unidade de observação	14
Manejo das unidades produtivas.....	14
Suínos	14
Leitão em maternidade.....	15
Leitão em creche.....	15
Matrizes.....	16
Crescimento e terminação	16
Bovinocultura de corte.....	16
Bovinocultura de leite	17

Metodologias de cálculo para estimativa do potencial de biogás	18
Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC.....	18
Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER.....	20
Suínos	20
Bovinos.....	21
Chen.....	22
Kunz	24
Parâmetros qualitativos	25
Peso vivo.....	26
Pesquisa bibliográfica para peso vivo.....	26
Valores de peso vivo adotados na Rede BiogásFert	28
Produção de efluentes	29
Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por suínos.....	29
Análise dos dados bibliográficos para produção de efluentes por suínos.....	32
Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por bovinos de corte e leite.....	34
Análise dos dados bibliográficos para produção de efluentes por bovinos de corte e leite	36
Concentração de sólidos voláteis.....	36
Pesquisa bibliográfica de sólidos voláteis para as espécies estudadas	36
Análise dos dados bibliográficos para sólidos voláteis para as espécies	38

Capacidade de produção de metano pelo dejetos.....	38
Pesquisa bibliográfica para as espécies	38
Análise dos dados bibliográficos para capacidade máxima de produção de metano para as espécies	39
Metodologia de cálculo adotada na Rede	40
BiogásFert	40
Parâmetros qualitativos adotados na Rede BiogásFert	41
Valores adotados para dados categorizados de plantel animal	41
Valores adotados para dados não categorizados de plantel animal ..	42
Aplicação das metodologias.....	43
Considerações finais	45
Agradecimento	46
Referências	46

Introdução

O Brasil possui uma variedade de sistemas produtivos e o seu território vasto reflete na diversificação dos produtos, de modo que se torna possível atender qualquer mercado no mundo, desde nichos específicos, com carnes mais nobres, até cortes de menor valor, sob qualquer demanda ou volume. Este potencial tem motivado a busca por novas tecnologias aplicadas à suinocultura e bovinocultura nas últimas décadas, visando o desenvolvimento dos sistemas produtivos, de modo a impulsionar os índices de produtividade e colaborar para uma pecuária mais eficiente e sustentável (ABIEC, 2016).

Na suinocultura, os investimentos posicionaram o Brasil em quarto lugar no ranking de produção e exportação mundial, representando 10% do volume exportado de carne suína no mundo. A consequência destes investimentos refletiu no crescimento da produção que gira em torno de 4% ao ano, sendo os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul os principais produtores de suínos do País (MAPA, 2016; EMBRAPA, 2017).

Quanto à bovinocultura, considerada um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário mundial, o Brasil aloja o segundo maior rebanho efetivo do mundo, com cerca de 200 milhões de cabeças. Além disso, desde 2004, assumiu a liderança nas exportações, com um quinto da carne comercializada internacionalmente e vendas em mais de 180 países. O rebanho bovino brasileiro proporciona o desenvolvimento de dois segmentos lucrativos: as cadeias produtivas de carne e leite. Portanto, a presença da atividade em todos os estados brasileiros evidencia a importância econômica e social da bovinocultura em nosso país (MAPA, 2016).

No entanto, embora a alta produtividade de suínos e bovinos proporcione o desenvolvimento econômico e social, é preciso ressaltar que este efetivo de plantéis produz resíduos altamente poluentes. Portanto, há a necessidade de se indagar as questões ambientais desta atividade econômica. Entre as alternativas viáveis atualmente, a digestão anaeróbia destes resíduos se destaca como uma forma de promover a reciclagem e a geração de energia, além do fato de que a natureza das transformações biológicas durante o processo de digestão fornece como produto final o digestato, com potencial uso fertilizante (RESENDE *et al.*, 2015).

Contudo, o processo de digestão anaeróbia a partir de dejetos caracteriza-se atualmente como a chave para um sistema de produção mais sustentável, devido à redução do uso de energias convencionais e fertilizantes comerciais, além de fornecer um método altamente eficiente para reciclagem de recursos e fechamento do ciclo de produção. Afinal, a crescente busca por novas fontes alternativas para produção de energia e reciclagem de resíduos aponta para a utilização dos dejetos animais como opção economicamente viável dada a relevância da atividade pecuária no Brasil (ABBASI *et al.*, 2012).

Baseado neste cenário da pecuária brasileira, a Rede BiogásFert busca integrar informações relevantes para contribuir com a sociedade, uma vez que entre suas atividades se contempla o mapeamento e uma visão panorâmica do potencial de produção de biogás e fertilizantes orgânicos no País, além de proporcionar um compêndio de informações de bases de dados nacionais sobre os plantéis de suínos e bovinos. Portanto, a Rede BiogásFert objetiva gerar resultados de pesquisa e transferência de tecnologia quanto à produção e uso de biogás e biofertilizantes a partir de dejetos de animais, proporcionando informações relevantes para o incentivo a políticas públicas voltadas para o desenvolvimento das atividades agropecuárias e do biogás no país.

Objetivo geral

Definir e apresentar uma metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir do aproveitamento de dejetos, baseado nos plantéis suínos e bovinos no Brasil.

Objetivos específicos

- Descrever, brevemente, o manejo de unidades produtivas de suínos e bovinos, abrangendo seus respectivos sistemas de produção e categorias.
- Apresentar parâmetros qualitativos dos dejetos que são inerentes à produção de biogás (peso vivo, produção de dejetos, sólidos voláteis e capacidade máxima de produção de biogás).

- Demonstrar metodologias para estimar o potencial teórico de produção de metano e biogás.
- Aplicar, comparar e validar as metodologias de cálculo para estimar o potencial de produção de metano e biogás por meio de estudo de caso com dados de propriedade rural monitorada.

Metodologia da pesquisa

Foi realizado levantamento bibliográfico sobre metodologias existentes para estimar a produção de biogás baseado nos plantéis de animais. Os métodos encontrados foram aplicados com os seus próprios parâmetros qualitativos (peso vivo, produção de efluentes diária, sólidos voláteis e capacidade máxima de produção de metano). Estes valores dos parâmetros qualitativos dos métodos originais foram aplicados às condições da unidade de observação real, gerando assim um cenário denominado “original” de produção de biogás.

Também foram reunidos demais valores de parâmetros qualitativos localizados na literatura. Estes novos valores levantados passaram por uma análise boxplot, com o objetivo de eliminar os outliers. Valores discrepantes identificados na análise foram desconsiderados, resultando em um novo intervalo de valores que representam a maior parte dos dados. O novo intervalo de valores dos parâmetros qualitativos (ou valor mais representativo dentro o intervalo obtido) foi utilizado nas mesmas metodologias de cálculo para estimar a produção de biogás. Para isso, também foram usadas condições da unidade de observação real, desta forma gerando um cenário denominado “BiogásFert”.

Posteriormente, os potenciais teóricos de produção de biogás e biometano obtidos nas estimativas de cada metodologia pesquisada, e com a metodologia adotada pela Rede BiogásFert, foram comparados com a produção real da propriedade de referência.

Unidade de observação

Como propriedade de referência, foram coletados dados de produção de biogás e biometano de granja de suínos com capacidade de alojamento de 5.000 animais em terminação (UT), localizada em São Miguel do Iguaçu-PR. A granja é uma das unidades de produção de biogás com monitoramento periódico pelo CIBiogás, a qual possui dois biodigestores tipo lagoa coberta (BLC) em série, com TRH total de 35 dias. Durante o período de 1º de maio a 30 de dezembro de 2014, foram coletados dados de volume de biogás produzido (Thermatel PA2, da Magnetrol), amostras dos dejetos dos suínos para determinação de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) (APHA; AWWA; WEF, 2012) e amostras de biogás para determinação dos teores de metano (analisador fixo, Guardiam Plus). As análises de dejetos foram conduzidas pelo Laboratório de Biogás do CIBiogás, em Foz do Iguaçu-PR.

Manejo das unidades produtivas

Suínos

O plantel de suínos pode ser subdividido em categorias ou conforme o sistema de produção. Quanto às categorias, Oliveira (1993) delimita que as principais são:

- Maternidade (matriz fêmea + leitões).
- Leitão creche.
- Matriz gestação.
- Matriz macho.
- Crescimentos e terminação.

Quando se trata de sistema de produção, são utilizadas outras nomenclaturas, uma vez que nos sistemas são englobadas uma ou mais categorias. Os sistemas de produção para suínos são denominados (AMARAL *et al.*, 2016):

- Ciclo completo (CC).
- Unidade Produtora de Leitões (UPL).
- Unidade de Crescimento e Terminação (UCT).
- Unidade Produtora de Leitões Desmamados (UPD).
- Crechário (CR).

Tavares (2016) analisou e caracterizou os seguintes sistemas produtivos:

- Leitões em creche (CR).
- Crescimento-terminação (CT).

Leitão em maternidade

Nas unidades de produção de leitões em maternidade, os animais iniciam o ciclo pesando entre 2 a 3 kg e encerram o ciclo com aproximadamente 7 kg, com tempo de confinamento entre 21 e 28 dias. A alimentação nesta fase de vida do suíno compõe-se, principalmente, de leite das matrizes (porcas) (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003; MANUAL..., 2011). A limpeza do recinto de confinamento ocorre por meio de lavagem com água ou raspagem e os dejetos produzidos são encaminhados para esterqueiras, lagoas anaeróbias ou biodigestores.

Leitão em creche

Nas unidades de produção de leitões em creche, os animais iniciam o ciclo pesando em média 7 kg e o encerram com aproximadamente 25 kg. O ciclo dura entre 35 a 42 dias. A alimentação neste período compõe-se, principalmente, por ração (MANUAL..., 2011; AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003). A limpeza do recinto de confinamento ocorre por meio de lavagem com água ou raspagem e os dejetos produzidos são encaminhados para esterqueiras, lagoas anaeróbias ou biodigestores.

Matrizes

A produção de matrizes está diretamente ligada às unidades produtoras de leitões, de modo que, normalmente, as matrizes encontram-se nestas unidades. Os animais desta categoria pesam cerca de 250 kg e sua alimentação é composta por ração. Não é possível delimitar período de ciclo para esta categoria, pois os animais permanecem na propriedade enquanto forem considerados aptos para reprodução (MANUAL..., 2011; AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003).

A limpeza das baias nesta categoria ocorre por meio de lavagem com água ou raspagem e os dejetos produzidos são encaminhados para esterqueiras, lagoas anaeróbias ou biodigestores.

Crescimento e terminação

As unidades produtivas de suínos em terminação objetivam finalizar o ciclo de produção do animal e abastecer o mercado consumidor, portanto, esta é conhecida como a fase de engorda ou fase de terminação na produção de suínos. Nesta categoria, os animais iniciam a engorda pesando em média 25 kg e o encaminhamento para o abate ocorre até os 120 kg.

O ciclo produtivo do crescimento e terminação dura entre 90 e 105 dias (MANUAL..., 2011; AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003). A limpeza das baias nesta categoria pode ocorrer através de raspagem ou lavagem com água e os dejetos produzidos são encaminhados para esterqueiras, lagoas anaeróbias ou biodigestores.

Bovinocultura de corte

A atividade de criação de bovinos de corte inicia com a aquisição dos bezerras, que podem provir da própria fazenda ou então a partir da compra de fornecedores. A produção pode ocorrer de forma intensiva, neste caso no sistema de confinamento completo; na forma semiextensiva, quando há o fornecimento de complementos alimentares além da pastagem; e extensiva, quando os animais ficam soltos no pasto. No Brasil os sistemas mais utilizados são o semiextensivo e o extensivo (EMBRAPA, 2002).

Os animais são considerados aptos para o abate quando atingem em torno de 430 a 530 Kg e o tempo de permanência no sistema intensivo abrange por volta de 109 a 198 dias (EMBRAPA, 2002; AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003; BEEFPOINT, 2015).

A alimentação dos animais pode ser composta por alimentos volumosos (pastagens naturais, capineiras e silagens), energéticos (milho, sorgo, arroz) proteicos (farelo de soja ou algodão), minerais (fosfato bicálcico, calcário, sal comum, sulfato de cobre e zinco, óxido de magnésio), vitaminas e aditivos (EMBRAPA GADO DE LEITE, 2015).

Em relação aos dejetos produzidos, para o caso do gado confinado se torna necessário o manejo. No entanto, para o gado semiconfinado ou livre a pasto, devido à área ser extensa e os dejetos estarem dispersos, torna-se inviável o encaminhamento dos mesmos para algum sistema de tratamento.

Bovinocultura de leite

A criação de bovinos de leite, ou seja, de vacas propensas para ordenha, compreende inicialmente sua aquisição, o que normalmente ocorre através da gestação de alguns animais selecionados da própria propriedade, ou então por meio de fornecedores (COSTA; BATTAGLIA, 2014).

Os animais neste tipo de criação podem permanecer em regime de confinamento, semiconfinamento ou livres a pasto. No entanto, mesmo nos casos de semiconfinamento e livres a pasto, por pelo menos algumas horas durante o dia os animais estarão confinados no curral para a realização da ordenha.

As vacas leiteiras tendem a permanecer na propriedade até que sejam produtivas. O peso médio de um bovino de leite atinge entre 550 e 720 kg e a espécie mais utilizada é a de origem Holandesa (EMBRAPA, 2002; AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS, 2003).

A alimentação dos animais é semelhante à dos bovinos de corte, podendo ser composta por alimentos volumosos, energéticos, proteicos, minerais, vitaminas e aditivos (EMBRAPA GADO DE LEITE, 2015).

Por se tratar de criação de bovino com vistas à produção de leite, exigências devem ser cumpridas, principalmente em relação à higienização do ambiente de ordenha e demais cuidados com relação ao armazenamento do leite, que deve ser mantido no resfriador a 4°C para evitar a proliferação microbiana (COSTA; BATTAGLIA, 2014).

Os dejetos produzidos em unidades de bovinos de leite tendem a se concentrar no curral de ordenha. Portanto, como os dejetos estão dispostos de maneira concentrada, é possível encaminhá-los para algum sistema de tratamento.

Metodologias de cálculo para estimativa do potencial de biogás

Neste item, foram abordadas quatro das principais metodologias de estimativa do potencial de produção de metano e biogás desenvolvidas ou adaptadas por:

- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2006);
- Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER (2009);
- Chen (1983);
- Kunz (2006).

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC

A metodologia proposta pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2006) está descrita no Capítulo 10 - Emissões da Pecuária e Gestão de Estrume, item 4.10 - Emissões de Metano pelo Manejo de Estrume. Esta metodologia estima a produção teórica de metano e subdivide-se em três categorias, denominadas “Tier 1”, “Tier 2” e “Tier 3”, sendo que a escolha da categoria depende dos dados disponíveis para o cálculo.

- **Tier 1:** método simplificado que requer apenas dados da população de animais por espécie/categoria e o clima da região, combinando estes aspectos com os fatores de emissão padrão do IPCC para estimar as emissões.
- **Tier 2:** método mais complexo que requer informações detalhadas sobre as características dos animais e as práticas de manejo de dejetos, sendo utilizado para calcular o fator de emissão específico para as condições de cada país.
- **Tier 3:** método que requer o desenvolvimento de modelos e metodologias específicas para cada país, abrangendo a medição para quantificar os fatores de emissão. Este método vai além do Tier 2 e exige um detalhamento maior. Todavia, algumas vezes torna-se inviável sua aplicação devido aos custos.

Neste manual, serão abordadas as equações do Tier 2 (Equações 1 e 2 e Tabela 1), pois os Tiers 1 e 3 não contemplam plenamente os objetivos aqui propostos. Lembrando que, apesar desta metodologia ter sido desenvolvida originalmente para estimar emissões de metano, algumas adaptações surgiram visando o seu emprego para estimar a produção de biogás a partir de biodigestores. Neste manual, utilizou-se a metodologia original e a única adaptação foi a equivalência do resultado final de metano para biogás, considerando que o metano representa 60% do biogás.

$$FEM = SV \times 365 \times \beta_0 \times 0,67 \times \frac{FCM}{100} \times SM$$

Equação 1. Cálculo do fator de emissão de metano.

Onde:

FEM	$\text{kg}_{\text{CH}_4} \text{ cab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	fator de emissão de metano por população/categoria
SV	$\text{kg}_{\text{SV}} \text{ cab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$	sólidos voláteis
B₀	$\text{m}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos
0,67	adimensional	conversão de m ³ metano para kg metano
FCM	%	fator de conversão de acordo com o manejo
SM	adimensional	fator do sistema de gerenciamento dos resíduos

$$CH_4_{dejetos} = \sum \frac{FEM \times N}{10^6}$$

Equação 2. Cálculo da emissão de metano.

Onde:

CH₄_{dejetos}	Gg _{CH₄} ano ⁻¹	emissão de metano durante o manejo de dejetos
FEM	kg _{CH₄} cab ⁻¹ ano ⁻¹	fator de emissão de metano por população/categoria
N	número inteiro	número de animais da categoria em questão

Tabela 1. Valores tabelados da metodologia do IPCC para os parâmetros qualitativos.

Categoria	SV (kg cab ⁻¹ dia ⁻¹)	B ₀ (m ³ _{CH₄} kg _{SV} ⁻¹)	FCM (%)	SM
Suínos	0,3	0,29	0,79	1
Vacas de leite	2,9	0,13	0,79	1
Outros bovinos	2,5	0,1	0,79	1

Fonte: IPCC, 2006.

Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER

A metodologia desenvolvida pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER (2009) estima a produção de biogás e foi elaborada com base na metodologia e nos parâmetros descritos no IPCC (2006). Ressalta-se que, na metodologia desenvolvida pelo CIBiogás-ER, foram adicionados dados referentes ao peso dos animais e fração anual de permanência (suínos) e a fração diária de confinamento (bovinos), além de fórmulas para calcular a produção de dejetos, conforme as Equações 3, 4, 5, 6 e 7 e Tabela 2 que descreve os valores dos parâmetros qualitativos desta metodologia.

Suínos

$$PDDS = \Sigma(N^{\circ} \times PE)$$

Equação 3. Cálculo da produção diária de dejetos para suínos.

Onde:

PDDS	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de dejetos suínos da categoria animal
Nº	número absoluto	número de cabeças pertencentes à categoria animal
PE	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ cab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$	produção específica de dejetos por cabeça da categoria animal

$$PADS = \Sigma(PDDS \times 365 \times FAP)$$

Equação 4. Cálculo da produção anual de dejetos de suínos.

Onde:

PADS	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ ano}^{-1}$	produção anual de dejetos de suínos da categoria
PDDS	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de dejetos de suínos da categoria
FAP	adimensional	fração anual de permanência (entre 0 e 1)

Bovinos

$$PDDB = \Sigma(N^\circ \times TC \times PE)$$

Equação 5. Cálculo da produção diária de dejetos para bovinos.

Onde:

PDDB	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de dejetos por bovinos da categoria
Nº	número absoluto	número de animais da categoria em questão
TC	tempo de confinamento	horas de confinamento por dia
PE	$m^3 \text{ cab}^{-1} \text{ hora}^{-1}$	produção específica de dejetos de bovino por categoria

$$PADB = \Sigma(PDDB \times FAC)$$

Equação 6. Cálculo da produção anual de dejetos para bovinos.

Onde:

PADB	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ ano}^{-1}$	produção anual de dejetos por bovinos
PDDB	$m^3_{\text{dejetos}} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de dejetos por bovinos da categoria
FAC	adimensional	fração anual de confinamento (entre 0 e 1)

$$PDB = N^{\circ} \left(\frac{PM}{PP} \right) \times FDC \times SV_{padr\tilde{a}o} \times \left(\frac{FCM \times B_0 \times f_b}{CH_4} \right)$$

Equação 7. Cálculo da produção diária de biogás.

Onde:

PDB	m ³ dia ⁻¹	produção diária de biogás
N°	número absoluto	número de animais
PM	kg	peso médio
PP	kg	peso padrão
FDC	adimensional	fração diária de confinamento (entre 0 e 1)
SV	kg _{SV} cab ⁻¹ ano ⁻¹	sólidos voláteis
FCM	adimensional	fator de conversão de metano para a linha de base do sistema (lagoa aberta)
B₀	m ³ _{CH₄} kg _{SV} ⁻¹	capacidade de produção de metano pelo dejetos
f_b	adimensional	fator de correção de incertezas
CH₄	%	porcentagem de metano no biogás

Tabela 2. Valores tabelados da metodologia do CIBiogás-ER para os parâmetros qualitativos.

Tipo de rebanho	SV (kg SVcab. ano ⁻¹)	FCM (%)	B ₀ (m ³ CH ₄ . kgSV ⁻¹)	f _b	% CH ₄
Suínos	0,3	0,78	0,29	0,94	60
Bovino de leite	4	0,78	0,18	0,94	60
Outros bovinos	2,5	0,78	0,1	0,94	60

Chen

A metodologia desenvolvida por Chen (1983) é focada na determinação do potencial teórico de metano fazendo algumas considerações sobre configurações de reatores anaeróbios. Neste estudo, a única adaptação realizada foi a equivalência do resultado final em metano para obter o valor estimado em biogás, considerando que o metano representa 60% do biogás.

A metodologia aborda parâmetros importantes como os sólidos voláteis (SV) e a capacidade máxima de produção de biogás por dejetos (B_0) e, portanto, tem sido muito utilizada para estimar o potencial teórico de produção de biogás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). A seguir, as Equações 8, 9, 10 e 11 demonstram as variáveis para o cálculo pela metodologia de Chen (1983). A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros qualitativos para esta metodologia.

$$PdM = \frac{B_0 \times SV}{TRH} \times \left(1 - \frac{k}{TRH \times \mu m - 1 + k} \right)$$

Equação 8. Cálculo da produtividade de metano.

Onde:

PdM	$m^3_{CH_4} m^{-3}_{bio} dia^{-1}$	produtividade em m^3 de metano por m^3 do biodigestor ao dia
B_0	$m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos
SV	$g_{SV} L^{-1}$	concentração de sólidos voláteis
TRH	dias	tempo de retenção hidráulica
k	adimensional	coeficiente cinético
μm	dia^{-1}	velocidade máxima de crescimento específico

$$k = 0,5 + 0,0043 \times e^{0,051 \times SV}$$

Equação 9. Cálculo do coeficiente cinético.

Onde:

k	adimensional	coeficiente cinético
SV	$g_{SV} L^{-1}$	concentração de sólidos voláteis

$$\mu m = 0,013 \times T - 0,0129$$

Equação 10. Cálculo da velocidade de crescimento específico.

Onde:

μm	dia^{-1}	velocidade máxima de crescimento específico
T	$^{\circ}C$	temperatura

$$PrM = PdM \times V_{bio}$$

Equação 11. Cálculo da estimativa da produção diária de metano conforme Chen.

Onde:

PrM	$m^3_{CH_4} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de metano
PdM	$m^3_{CH_4} m^{-3}_{bio} \text{ dia}^{-1}$	produtividade de metano
V_{bio}	m^3	volume do biodigestor

Tabela 3. Valores tabelados da metodologia de Chen para os parâmetros qualitativos.

Tipo de rebanho	SV ($g_{SV} L^{-1}$)	B0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)
Suínos	31,50	0,50
Bovino de leite	64,70	0,20
Bovinos confinados		0,35
Outros bovinos		0,25

Kunz

A proposta de Kunz e Oliveira (2006) estabelece uma relação direta para estimar o potencial teórico de produção de metano e compreende um cálculo simples envolvendo a capacidade máxima de produção de metano e sólidos voláteis (B_0 e SV) com o volume de dejetos produzidos diariamente, conforme as Equações 12 e 13 apresentam. A Tabela 4 demonstra os valores dos parâmetros qualitativos para esta metodologia.

$$PrM = B_0 \times SV \times Q$$

Equação 12. Cálculo da estimativa da produção diária de metano conforme Kunz.

Onde:

PrM	$m^3_{CH_4} \text{ dia}^{-1}$	produção diária de metano
B₀	$m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$	capacidade máxima teórica de produção de metano pelo dejetos
SV	$g_{SV} L^{-1}$	concentração de sólidos voláteis
Q	$m^3 \text{ dia}^{-1}$	volume total de dejetos produzidos ao dia

$$Q = N^{\circ} \times PD$$

Equação 13. Cálculo do volume de efluentes gerados ao dia.

Onde:

Q	$m^3 \text{ dia}^{-1}$	volume total de dejetos produzidos ao dia
N°	número inteiro	número de animais
PD	$m^3_{\text{animal}} \text{ dia}^{-1}$	volume de dejetos produzidos por animal e categoria ao dia

Tabela 4. Valores tabelados da metodologia de Kunz para os parâmetros qualitativos para granja de terminação de suínos.

Tipo de rebanho	SV ($g_{SV} L^{-1}$)	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)	PD ($L \text{ animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
Suínos	53,1	0,45	4,46

Parâmetros qualitativos

Para a realização do cálculo através das metodologias para estimar a produção teórica de metano ou biogás, é necessária a utilização dos parâmetros qualitativos, que podem ser obtidos através do monitoramento e análises na propriedade ou através de pesquisas bibliográficas.

Neste trabalho, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica quanto a parâmetros qualitativos, com vistas a formular um banco de dados, de modo a determinar um intervalo de valores adequados para aplicação nas metodologias.

Todavia, é recomendável a determinação dos parâmetros específicos para cada propriedade que se deseja estimar o potencial de biogás ou metano, e estes dados são obtidos através de ensaios laboratoriais. No entanto, como na maioria das vezes isto não é possível devido aos custos e mão de obra especializada exigida para desempenhar esta função, a alternativa é utilizar parâmetros pré-estabelecidos na literatura.

Neste item, serão abordados os parâmetros qualitativos que foram delimitados conforme a metodologia descrita para este manual, lembrando que nem todos os parâmetros são utilizados em todas as metodologias, visto que algumas se baseiam em princípios diferentes. Sendo assim, neste manual foram catalogados somente os principais parâmetros a serem considerados para estimar produção de metano e biogás. Além disso, conversões de unidades foram realizadas para que os parâmetros delimitados na análise pudessem ser aplicados em todas as metodologias.

Peso vivo

Pesquisa bibliográfica para peso vivo

O peso vivo refere-se à quantidade média de massa (kg) dos animais em relação a sua espécie e categoria (MANUAL..., 2011). Na literatura, são descritos diversos valores médios de peso vivo para suínos e bovinos de leite e corte. Os levantamentos bibliográficos quanto aos valores de peso vivo de cada espécie animal são descritos nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5. Pesquisa bibliográfica para peso vivo de suínos.

Categoria	Peso (kg)	Fonte
Maternidade	3	American Society of Agricultural and Engineers (2003)
	6 - 25	Oliveira (1993)
	3,5 - 50	Oliveira (1993)
Leitão creche	16	American Society of Agricultural and Engineers (2003)
	14,5 - 50	Oliveira (1993)
	7,3 - 24,5	Tavares (2016)
Matriz fêmea e Matriz macho	190 - 198	Oliveira (1993)
	215	American Society of Agricultural and Engineers (2003)
	198 - 250	Oliveira (1993)
Crescimento e terminação	35	Embrapa (2002) - Região Norte
	43,6	Embrapa (2002) - Região Nordeste
	50	Embrapa (2002) - Região Centro-Oeste
	51	Embrapa (2002) - Região Sudeste
	56	Embrapa (2002) - Região Sul
	69,25	FAEP (2010)
	90	Ageitec (2015)
	90	Oliveira (2001)
	90	Kunz e Oliveira (2006)
	100	Shigaki (2006)
	100	Lucas Júnior (2004)
	108	Oliveira (2004)
	50 - 70	Oliveira (1993)
	55 - 97	Rosilo-Calhe (2007)
	61	American Society of Agricultural and Engineers (2003)
24,5 - 122	Tavares (2016)	

Tabela 6. Pesquisa bibliográfica para peso vivo de bovinos de corte.

Categoria	Peso (kg)	Fonte
Bovino de corte	450	Embrapa (2002)
	300	Santos (2012)
	453	Siqueira Júnior (2005)
	453	Paulleti (2004)
	500	Ageitec (2015)
	500	Sganzerla (1983)
	450	IPCC (2006)
	360	American Society of Agricultural and Engineers (2003)

Tabela 7. Pesquisa bibliográfica para peso vivo de bovinos de leite.

Categoria	Peso (kg)	Fonte
Bovino de leite	400	IPCC (2006)
	400	Embrapa (2002)
	414	Embrapa (2002)
	450	Campos (1997)
	500	Oliveira (2001)
	635	MWPS (1985)
	640	American Society of Agricultural and Engineers (2003)

Valores de peso vivo adotados na Rede BiogásFert

A partir do levantamento bibliográfico para peso vivo das espécies animais contempladas no projeto do BiogásFert, foram delimitados os autores, bem como os valores, que seriam adotados para a Rede BiogásFert, conforme apresentam as Tabelas 8 e 9. Evidenciando que este foi o único parâmetro qualitativo que não passou por análise boxplot.

Tabela 8. Valores adotados para a Rede BiogásFert para peso vivo de suínos.

Descrição	Categoria	Peso vivo (kg)
Suínos	Maternidade ¹	3
	Leitão creche ²	15,93
	Crescimento e terminação ²	73,25
	Matriz (fêmea ou macho) ¹	215

Fonte: ¹American Society of Agricultural and Engineers (2003); ²Tavares (2016).

Tabela 9. Valores adotados na Rede BiogásFert para peso vivo de bovinos conforme ASAE.

Descrição	Categoria	Peso vivo (kg)
Bovino de corte	Animais em engorda	360
Bovino de leite	Vacas em lactação	640

Fonte: American Society of Agricultural and Engineers (2003).

Produção de efluentes

Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por suínos

A produção de efluentes contempla os resíduos eliminados pelos processos metabólicos dos animais (fezes e urina) e a água utilizada na limpeza dos ambientes (EMBRAPA, 2002). Os dados fornecidos pela literatura são variáveis, visto que, dependendo do manejo adotado na propriedade, o consumo de água poderá ser maior ou menor (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). Alguns autores também citam a produção de fezes pelos animais, o que para este manual é uma informação incompleta, uma vez que é conduzido para os biodigestores, além das fezes, a urina e a água que entram no sistema durante o manejo. A seguir, os dados levantados pela pesquisa bibliográfica (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10. Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por categoria de suínos.

Categoria	Efluentes (L animal⁻¹ dia⁻¹)	Fonte
Maternidade	27	Oliveira (1993); Serafim; Guimarães (2012); Oliveira (2011); Nishimura (2009); Dartora <i>et al.</i> , (1998); Gusmão (2008); Soler (2012) Kunz <i>et al.</i> , (2005); Diesel <i>et al.</i> , (2002), Cibiogás (2009)
Leitão creche	1,4	
Crescimento e terminação	7	
Matriz gestação	16	
Matriz macho	9	

Tabela 11. Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por ciclo de produção de suínos.

Sistema de produção	Efluentes (L animal⁻¹ dia⁻¹)	Fonte
Ciclo completo (CC)	85	Oliveira (1993; 2003); Brondani (2010)
	150	Perdomo <i>et al.</i> , (1999); Diesel <i>et al.</i> , (2002); Oliveira (2011)
	85	Dartora (1998)
	15	Gusmao (2008)
	10,2	Sinotti (2005)
	57	Fepam (2012)
	100	Manual... (2011)
	70	Santos (2000)
	140 a 150	Konzen (2000); Menezes <i>et al.</i> (2004); Campos (1997)
	155 a 170	Konzen (2000)
Leitão creche (CR)	120	Embrapa (2015)
	1,57	Tavares (2016)
	1,2	Scherer <i>et al.</i> , (1996)
	1,4	Cibiogás (2009)
	1,4	Oliveira (1993)

Continua...

Tabela 11. Continuação...

Sistema de produção	Efluentes (L animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Fonte
Unidade Produtora de Leitões (UPL)	45	Oliveira (1999); Oliveira (2003); Brondani (2010)
	90	Perdomo <i>et al.</i> , (1999); Diesel <i>et al.</i> , (2002); Oliveira (2011)
	45	Dartora <i>et al.</i> , (1998)
	21,5	Fepam (2012)
	60	Manual... (2011)
	85	Santos (2000)
	47	Campos (2004)
	60	Oliveira; Souza-Lima (2006)
	45	Oliveira (2005)
	70	Coldebella <i>et al.</i> (2006)
	72	Souza <i>et al.</i> (2004)
Unidade Produtora de Desmamados (UPD)	92	Lira <i>et al.</i> (2008)
	5,49	Rathunde (2009)
	35 a 40	Oliveira (1993); Konzen (2000); Menezes <i>et al.</i> (2004); Campos (1997)
	35 a 40	Konzen (2000)
	51,05	Embrapa (2015)
Unidade de Crescimento e Terminação (UCT)	7	Oliveira (1993; 2003; 2011); Brondani (2010)
	11,2	Perdomo <i>et al.</i> , (1999); Diesel <i>et al.</i> , (2002); Oliveira (2011)
	9	Dartora <i>et al.</i> (1998)
	11,2	Perdomo <i>et al.</i> (1999)
	10,8	Nagae <i>et al.</i> (2005)
	9,73	Sinotti (2005)
	6,7	Fepam (2012)
	7,5	Manual... (2011)
	60	Santos (2000)
5,7 a 7,5	Angonese <i>et al.</i> (2006)	

Continua...

Tabela 11. Continuação...

Sistema de produção	Efluentes (L animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Fonte
Unidade de Crescimento e Terminação (UCT)	8,6	Lucas Júnior (2004)
	7	Oliveira (2005)
	7	Beck (2007)
	12 a 15	Oliveira (1993); Konzen (2000); Menezes <i>et al.</i> (2004); Campos (1997)
	12,8	Embrapa (2015)
	8,3	Santa Catarina (2014)
	4,9 a 8,5	Scherer <i>et al.</i> (1996)
	6,05	Soler (2012)
	7,3	Fernandes (2012)
	5,88	American Society of Agricultural and Engineers (2003); Ipea (2012)
	6,03	Kunz; Oliveira (2006)
	8	Motta (2012)
	8 a 12	Winrock (2008)
	7	Gama (2003)
	15	Ferreira Junior (2002)
	10,8	Nagae <i>et al.</i> (2005)
7	Konzen <i>et al.</i> (1983) apud Souza <i>et al.</i> (2009)	
4,45	Tavares (2016)	

Análise dos dados bibliográficos para produção de efluentes por suínos

A produção de efluentes por suínos pode ser caracterizada pelo sistema de produção ou pelas categorias. Quanto às categorias, as referências bibliográficas mais citadas e amplamente validadas na literatura são as de Oliveira (1993), que delimita os valores de produção de efluentes para cada categoria (Tabela 12), e a de Tavares (2016), Tabela 13, que apresenta valores de suínos em creche e em terminação.

Tabela 12. Produção diária de efluentes para as categorias de suínos segundo Oliveira (1993).

Categoria	L animal ⁻¹ dia ⁻¹
Leitão creche	1,40
Crescimento e terminação	7,00
Matriz (macho)	9,00
Matriz (fêmea)	16,00
Maternidade	27,00

Fonte: Oliveira (1993).

Tabela 13. Produção diária de efluentes para as categorias de suínos segundo Tavares (2016).

Categoria	Massa corporal (kg)	L animal ⁻¹ dia ⁻¹
Crechário	6 - 24,5	1,6
Crescimento - Terminação	24,5 - 122,6	4,5

Fonte: Tavares (2016).

Já na Tabela 14, constam os valores de produção de dejetos segundo os valores de referência da Instrução Normativa 11 da Fundação do Meio Ambiente (FATMA, 2014; Tavares, 2016).

Tabela 14. Produção diária de efluentes para as categorias de suínos segundo FATMA (2014).

Categoria	Massa corporal (kg)	L animal ⁻¹ dia ⁻¹
Ciclo completo	-	47,1
Unidade Produção de Leitões	-	22,8
Unidade Produção Desmamados	-	16,2
Crechário	6 - 28	2,3
Crescimento - Terminação	23 - 120	4,5

Fonte: FATMA (2014).

Em relação ao sistema de produção, os parâmetros qualitativos encontrados na literatura passaram pela análise boxplot, obtendo-se o intervalo de valores descritos na Tabela 15.

Tabela 15. Intervalo de valores delimitados pela análise para produção de efluentes por suínos conforme o ciclo de produção.

Sistema de produção	L animal ⁻¹ dia ⁻¹		
	V _{mín}	V _{méd}	V _{máx}
Ciclo completo (CC)	63,5	90,88	145
Unidade Produtora de Leitões (UPL)	37,50	54	72,00
Unidade de Crescimento e Terminação (UCT)	7,00	10,28	10,80

Fonte: Tavares (2016).

Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por bovinos de corte e leite

As Tabelas 16 e 17 apresentam o resultado da pesquisa bibliográfica quanto à produção de efluentes média gerada por bovinos de corte e leite.

Tabela 16. Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por bovinos de corte confinados.

Categoria	Efluentes (L animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Fonte
Bovino de corte	21	Santos (2012)
	30	Jordan (2005)
	32,6	Paulleti (2004)
	32,6	Siqueira Júnior (2005)
	40	Ferreira Junior (2002)
	43,92	IPCC (2006)
	80	Motta (2012)
	20,49	Embrapa (1993)
	65	Fepam (2014)
	32,4	Manso (2007)
	30	Souza et al. (2015)

Tabela 17. Pesquisa bibliográfica para produção de efluentes por bovinos de leite confinados.

Categoria	Efluentes (L animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Fonte
Bovino de leite	64,08	IPCC (2006)
	64	Embrapa (2002)
	136	Blanco <i>et al.</i> (2004)
	42 a 77	Giessman (1981)
	100	Freitas (2008)
	200	Pohlmann (2000)
	40 a 600	Pohlmann (2000)
	24,4	Konzen (1980) apud Gelain (2011)
	78,16 a 96,72	Gelain (2011)
	40	Hirano e Silva (2014)
	32,6	Pauletti (2004)
	21	Santos e Nogueira (2012)
	24,4	WPS (1985)
	45	Campos (1997)
	32,6	Pauletti (2004)
	200	Pohlmann (2000)
	50,68	Menezes <i>et al.</i> (2004)
	118	Konzen (2000)
	51,2 a 70,4	Campos (1997)
	57,6	Pereira (1992)
55,04	American Society of Agricultural and Engineers (2003); Schneider <i>et al.</i> (2011)	
51,2 a 70,4	Generoso (2001) apud Santos (2012)	
30	Jordan (2005)	
32,6	Siqueira Júnior (2005)	
50	Winrock (2008)	
80	Motta (2012)	

Análise dos dados bibliográficos para produção de efluentes por bovinos de corte e leite

Os intervalos de valores delimitados a partir da análise dos dados coletados para produção de efluentes por bovinos de corte e leite são descritos na Tabela 18.

Tabela 18. Intervalo de valores delimitados pela análise para produção de efluentes por bovinos de corte e leite em sistemas de produção confinados.

Categoria	L animal ⁻¹ dia ⁻¹		
	V _{min}	V _{méd}	V _{máx}
Bovino de corte	30,00	34,80	43,92
Bovino de leite	32,60	57,68	93,72

Fonte: Tavares (2016).

Concentração de sólidos voláteis

Pesquisa bibliográfica de sólidos voláteis para as espécies estudadas

Os sólidos voláteis referem-se à fração orgânica que será volatizada dentro do biodigestor. Estão contidos nos sólidos totais os sólidos voláteis e fixos. Este é um dos parâmetros mais relevantes para estimar produção de biogás uma vez que, dependendo da fração de sólidos voláteis, a produção de biogás pode ser intensificada ou reduzida. Portanto, os teores de sólidos voláteis caracterizam a fração orgânica de material que será fermentado para produzir o biogás, ou seja, quanto maior for sua concentração na biomassa, maior será a produção de biogás, considerando a eficiência do biodigestor (EMBRAPA, 2002). A seguir, os valores encontrados na literatura para sólidos voláteis de acordo com a espécie animal (Tabelas 19, 20 e 21).

Tabela 19. Pesquisa bibliográfica para sólidos voláteis para suínos.

Categoria	SV (g _{sv} L ⁻¹)	Fonte
Suínos	16,38	Diesel <i>et al.</i> (2002); Embrapa (2002)
	23,1	Summers <i>et al.</i> (1980) apud Chen <i>et al.</i> (1981)
	23,75	Angonese <i>et al.</i> , 2006
	25,4	Angonese <i>et al.</i> , 2006
	25,49	Angonese <i>et al.</i> , 2006
	27,36	Nagae <i>et al.</i> , 2005
	27,5	Santos (2000)
	31,5	Chen (1983)
	39,2	Fischer (1975) apud Chen (1983)
	40,89	EU-Agro Biogás (2015)
	43,5	Fischer, 1975 apud Chen (1983)
	46,8	Fischer, 1975 apud Chen (1983)
	60	Fischer, 1975 apud Chen (1983)
	80,53	American Society of Agricultural and Engineers (2003)
	100 a 104,28	Oliveira <i>et al.</i> (2009)
	42,85	IPCC (2006)
53,1	Oliveira; Higarashi (2006)	
43,6	Tavares (2016)	
31,1	Tavares (2016)	

Tabela 20. Pesquisa bibliográfica para sólidos voláteis para bovinos de corte.

Categoria	SV (g _{sv} L ⁻¹)	Fonte
Bovino de corte	67,5	Barros (2009)
	80,19	EU-Agro Biogás (2015)
	18,03	Motta (2012)
	56,92	IPCC (2006)
	67,17	Oliveira <i>et al.</i> (2009)

Tabela 21. Pesquisa bibliográfica para sólidos voláteis para bovinos de leite.

Categoria	SV ($\text{g}_{\text{sv}} \text{L}^{-1}$)	Fonte
Bovinos de leite	62,42	Cibiogás (2009)
	123,68	EU-Agro Biogás (2015)
	18,03	Motta (2012)
	32,66	Weber (2014)
	42,66	Blanco <i>et al.</i> (2014)
	45,25	IPCC (2006)
	64,7	Chen <i>et al.</i> (1981)
	72,41	Oliveira <i>et al.</i> (2009)

Análise dos dados bibliográficos para sólidos voláteis para as espécies

Os intervalos de valores delimitados a partir da análise para o parâmetro qualitativo de sólidos voláteis de acordo com as espécies são descritos na Tabela 22.

Tabela 22. Intervalo de valores delimitados pela análise para sólidos voláteis por espécies.

Categoria	SV ($\text{g}^{\text{sv}} \text{L}^{-1}$)		
	$V_{\text{mín}}$	$V_{\text{méd}}$	$V_{\text{máx}}$
Suínos	25,45	35,38	45,20
Bovino de leite	24,43	50,54	68,56
Bovino de corte	18,67	51,41	80,19

Capacidade de produção de metano pelo dejetos

Pesquisa bibliográfica para as espécies

A capacidade de produção de metano (B_0) compreende a máxima produção de metano possível a partir de determinada biomassa. Este parâmetro é obtido através da análise laboratorial da biomassa, todavia na literatura constam

autores que delimitam valores para a capacidade máxima de produção de biogás (B_0) conforme se observa nas Tabelas 23, 24 e 25.

Tabela 23. Pesquisa bibliográfica para capacidade de produção de metano máxima para suínos.

Categoria	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)	Fonte
Suínos	0,29	IPCC (2006)
	0,34	EU-Agro Biogas (2015)
	0,37	CIBiogás-ER (2015)
	0,5	Chen (1983)

Tabela 24. Pesquisa bibliográfica para capacidade de produção de metano máxima para bovinos de leite.

Categoria	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)	Fonte
Bovino de corte	0,1	IPCC (2006)
	0,13	Chen (1983)
	0,18	EU-Agro Biogas (2015)
	0,27	CIBiogás-ER (2015)

Tabela 25. Pesquisa bibliográfica para capacidade de produção de metano máxima para bovinos de leite.

Categoria	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)	Fonte
Bovino de leite	0,06	EU-Agro Biogas (2015)
	0,13	IPCC (2006)
	0,2	Chen (1983)
	0,21	CIBiogás-ER (2015)

Análise dos dados bibliográficos para capacidade máxima de produção de metano para as espécies

Os intervalos de valores delimitados a partir da análise para o parâmetro qualitativo de capacidade máxima de produção de metano de acordo com as espécies são descritos na Tabela 26.

Tabela 26. Intervalo de valores delimitados pela análise para capacidade de produção de metano máxima por espécies.

Categoria	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1}$)		
	V_{min}	$V_{méd}$	$V_{máx}$
Suínos	0,32	0,38	0,44
Bovino de leite	0,10	0,15	0,21
Bovino de corte	0,12	0,17	0,23

Metodologia de cálculo adotada na Rede BiogásFert

A metodologia de Chen (1983) foi a escolhida para a Rede BiogásFert. Os principais quesitos que levaram à escolha desta metodologia foram a sua ampla disseminação e validação no meio científico, além dos resultados satisfatórios obtidos nos testes comparativos para validar a metodologia.

Após a aplicação de todas as metodologias com seus respectivos parâmetros, e também com os parâmetros refinados pela análise, observou-se que esta apresentou um intervalo de valores quanto à estimativa de produção de metano e biogás condizente com a realidade observada no monitoramento da propriedade de referência.

Os testes realizados com as metodologias demonstraram que para resultados mais confiáveis é necessária a utilização de parâmetros qualitativos mais específicos, seja por meio de análises laboratoriais ou por dados refinados estatisticamente, visto que a utilização dos parâmetros de cada autor e de cada metodologia não reflete, muitas vezes, resultados condizentes com a realidade.

Parâmetros qualitativos adotados na Rede BiogásFert

Valores adotados para dados categorizados de plantel animal

Os valores dos parâmetros qualitativos adotados para o cálculo na Rede BiogásFert foram delimitados com base no levantamento bibliográfico e análises dos dados, conforme o item sobre Parâmetros Qualitativos que este manual apresentou.

Para bovinos de leite e corte, foram adotados os valores máximos descritos para os parâmetros qualitativos (SV, B_0 e produção diária de efluentes), conforme a Tabela 27, de maneira a proporcionar o potencial máximo de produção teórica.

Tabela 27. Valores dos parâmetros qualitativos adotados na Rede BiogásFert para bovinos de leite e corte para dados categorizados.

	SV ($g_{sv} L^{-1}$)	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$)	Produção de efluentes ($L animal^{-1} dia_{-1}$)
Bovino de corte	80,19	0,23	43,9
Bovino de leite	68,59	0,21	93,7

Quanto aos parâmetros qualitativos (SV e B_0) para suínos, foram adotados os valores descritos na Tabela 28.

Tabela 28. Valores dos parâmetros qualitativos adotados na Rede BiogásFert para suínos.

Parâmetro qualitativo	
SV ($g_{sv} L^{-1}$)	35,38
B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$)	0,32

Quanto aos valores para produção diária de efluentes por suínos, o cálculo pode ser gerado de acordo com o número de animais pertencentes a cada categoria. Os valores adotados são os descritos por Oliveira (1993) (Tabela 29).

Tabela 29. Valores de produção de efluentes adotados na Rede BiogásFert para dados categorizados.

Categoria	L animal⁻¹ dia⁻¹
Leitão creche	1,40
Crescimento e terminação	7,00
Matriz (macho)	9,00
Matriz (fêmea)	16,00
Maternidade	27,00

Fonte: Oliveira (1993).

Valores adotados para dados não categorizados de plantel animal

Nas estimativas por plantel total, ou seja, por espécie animal, sem levar em consideração dados categorizados, foram necessários ajustes nos parâmetros qualitativos visando obter valores representativos para dados não categorizados. Para isso, foram utilizados como base os dados aplicados nas estimativas por categoria animal, porém realizaram-se médias e validações.

Esta alternativa de estimativa por plantel total foi adicionada ao sistema BiogásFert porque nem todas as fontes de dados fornecem os plantéis de forma categorizada e, portanto, torna-se necessária uma estimativa que considere apenas a espécie animal. Os valores adotados para os parâmetros qualitativos nesta modalidade para suínos e bovinos são descritos na Tabela 30.

Tabela 30. Valores dos parâmetros qualitativos adotados na Rede BiogásFert para as espécies para dados não categorizados.

	SV (g_{sv} L⁻¹)	B₀ (m³_{CH4} kg_{sv}⁻¹)	Produção de efluentes (L animal⁻¹ dia⁻¹)
Suínos	35,38	0,32	10,28
Bovinos	74,38	0,22	68,83

Todavia, há de se considerar que estes parâmetros por plantel geral, assim como os delimitados por categorias, não são indicados para cálculos de projeto, pois nestes casos torna-se necessário englobar outras variáveis. Além disso, ressalta-se que o objetivo da Rede BiogásFert não é fornecer dados para implantação de projetos, mas sim para estimar a produção de biogás e metano e visualizar um panorama geral, de maneira a impulsionar políticas públicas que fomentem a cadeia do biogás.

Aplicação das metodologias

A aplicação das metodologias foi realizada com o objetivo de demonstrar a diferença dos resultados entre as metodologias e parâmetros levantados. Para compor esta etapa do trabalho, foram adotadas informações do número de animais (5.000) e da vazão média de biogás de 701 m³ de biogás.dia⁻¹ registradas na unidade produtiva São Pedro Colombari (unidade de observação), como forma de avaliar a produção monitorada com os resultados da pesquisa levantada.

Para realização das estimativas das quatro metodologias (CHEN, 1983; KUNZ; OLIVEIRA, 2006; CIBIOGÁS-ER, 2009; IPCC, 2006), adotou-se os parâmetros e constantes consideradas em cada respectiva metodologia, de acordo com as informações coletadas a partir da pesquisa bibliográfica. Além disso, esses resultados foram comparados com as estimativas da metodologia com os parâmetros adotados pela Rede BiogásFert e com a vazão média real de biogás, monitorada durante o período do estudo.

Os resultados finais são expressos em biogás, portanto, para as metodologias de Chen, IPCC e Kunz foi necessária a conversão da produção de metano estimada para biogás, considerando a proporção de 60% de metano no biogás, Figura 1.

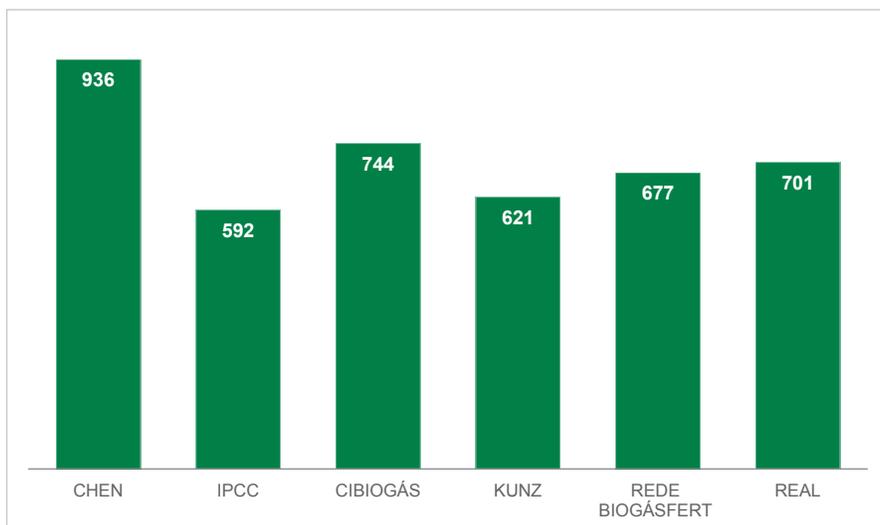


Figura 1. Resultados das estimativas teóricas de produção de biogás ($\text{m}^3 \text{ biogás} \cdot \text{dia}^{-1}$) para unidade produtiva-piloto.

Observações: Os valores da coluna “Rede BiogásFert” referem-se ao resultado da estimativa com base nos valores descritos no item Metodologia de cálculo adotada na Rede BiogásFert. O valor de 701 m^3 de biogás. dia^{-1} da coluna “Real” refere-se ao volume médio de vazão de biogás mensurado durante o período de monitoramento da unidade de observação.

Estes resultados demonstram que a metodologia e os parâmetros definidos pela Rede BiogásFert apresentaram similaridade com os valores monitorados na unidade observada. A metodologia de Chen, usada como base para construção do cenário “BiogásFert”, caracteriza-se por ser mais completa e consistente, além de ser um modelo matemático amplamente utilizado e validado na literatura para estimar produção teórica de metano e, conseqüentemente, biogás (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Mesmo assim, a metodologia de Chen no seu formato original (usando parâmetros originais) gera a estimativa mais discrepante dentre as demais avaliadas. Porém, na construção do cenário “BiogásFert”, usando os valores descritos no item Metodologia de cálculo adotada na Rede BiogásFert, a metodologia de Chen passou a apresentar o valor mais próximo da média real.

Entretanto, é necessário ressaltar que entre os fatores determinantes para a produção de metano e biogás são influenciados pelo manejo dos dejetos e tipo de instalações da granja. Estas condições influenciam na qualidade e quantidade dos efluentes, sendo que o aumento no volume de efluentes resultantes da diluição destes (sem alteração no plantel de animais) não significa índices maiores de geração de biogás, pois, encontra-se vinculada ao teor de SV do efluente.

É necessário considerar que este trabalho analisou metodologias e parâmetros que se adequassem ao uso de biodigestores de lagoa coberta e nas condições de manejo descritas ao longo deste documento, de modo que outras tecnologias e técnicas de manejo possuem suas particularidades e, portanto, devem ser analisadas caso a caso.

Considerações finais

O compêndio de dados e informações padronizadas neste documento servirão de base para definição dos parâmetros e da metodologia da Rede BiogásFert. A análise apresentada visou aprimorar a aplicação das metodologias, promovendo assim o refino de informações utilizadas nos estudos futuros, sem quaisquer deméritos às metodologias não selecionadas pela Rede BiogásFert.

Contudo, ressalta-se que futuras adequações e aprimoramentos poderão ser adicionados ou modificados para uso da rede, visto que o objetivo será mantê-la atualizada e condizente com os avanços de pesquisas e os desenvolvimentos técnico e tecnológico do setor.

Sendo assim, o levantamento bibliográfico a respeito das metodologias existentes para determinar a produção teórica de biogás, bem como o levantamento dos valores de parâmetros qualitativos utilizados na literatura, proporcionou uma fonte de dados de grande relevância para gerar um panorama geral da capacidade de produção de biogás no território brasileiro e servir de base para análises primárias, bem como de fonte de dados para fomentar o uso do biogás por meio de políticas públicas.

Agradecimento

Os autores agradecem os colaboradores abaixo pelas contribuições diretas e indiretas a este documento: Rafael Hernando de Aguiar Gonzalez; Juliana Gaio Somer; Eliana Mira De Bona; Andressa Crystina Coutinho da Silva; Leidiane Ferronato Mariani; Nyara Chandora Camilo; Leonardo Pereira Lins.

Referências

ABBASI, T.; TAUSEEF, S. M; ABBASI, S. A. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation - An overview. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 5, p. 3228-3242, 2012.

MANUAL brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 140 p.

ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Pecuária Brasileira**. Disponível em: < http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp>. Acesso em: 22 jan. 2016.

OLIVEIRA, L. A.; TARTARI, R.; MARQUES, F. S.; CASADO, C.; SOUSA, C. E. **Levantamento, identificação e desenvolvimento de banco de dados da biomassa residual na Bacia do Paraná 3**. Foz do Iguaçu: ADEOP, 2009. 58 p.

AGEITEC - AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Bovinos de Corte e Suínos**. Disponível em < <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/> > acesso em 28 nov. 2015.

AMARAL, A. C. do.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; SCUSSIATO, D. C. T.; GASPARETO, T. C. Influence of solid-liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system. **Journal of Environment Management**, v. 168, p. 229-235, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.014>.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A.T.; ZACARIM, C.E.; MATSUO, M.S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor, Campina Grande, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for Evaluation of Water and Wastewater**. 22 ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND ENGINEERS. **ASAE D384.1 FEB03**: manure production and characteristics. St. Joseph, 2003. 4 p. Standard.

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; NASCIMENTO, Y. D. S.; GUSHIKEN, E. CALHEIROS, H. C. SILVA, F. G. B.; STANO JÚNIOR, A. Estudo da Produção de Biogás da Digestão anaeróbia de Esterco Bovino em um Biodigestor. **Revista Brasileira de Energia**, v.15, nº 2, p. 95-116, 2009.

- BECK, A. M. O biogás de suíno como alternativa energética sustentável. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **A energia da produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade.** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007.
- BEEF POINT. **Crescimento e terminação de bovinos de Corte 4 - Peso Ideal de Abate.** Disponível em < <http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/sistemas-de-producao/crescimento-e-terminacao-de-bovinos-de-corte-4-qual-peso-ideal-de-abate-5185/> > acesso em 30 nov. 2015.
- BLANCO, M. F. J.; ZENATTI, D. C. FEIDEN, A. RAFAELY, W. TIETZ, C. M.; GIACOBBO, G. Produção de Biogás a partir de Dejetos da Bovinocultura de Leite e Cama de Aviário. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, nº 1, p.14-27, 2014.
- BRONDANI, J. C. **Biodigestores e Biogás: Balanço Energético, Possibilidades de Utilização e Mitigação do Efeito Estufa.** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2010.
- CAMPOS, A. T. **Análise da Viabilidade da Reciclagem de Dejetos de Bovinos com Tratamento Biológico, em Sistema Intensivo de Produção de Leite.** 1997. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 1997.
- CAMPOS, A. T. Análise energética de biodigestores tubulares usando dejetos de suínos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 5. 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: NIPE/SBEA/UNICAMP, 2004. v. 1. p. 1-6.
- CIBIOGÁS-ER - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - BIOGÁS. **Manual de Equações e Metodologias do Simulador.** Plataforma de Informações para Energias Renováveis. Foz do Iguaçu: CIBiogás-ER, 2009.
- CIBIOGÁS-ER - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - BIOGÁS. **Informações Técnicas: Parâmetros de Controle da Biodigestão anaeróbia.** Documentos internos. Foz do Iguaçu, 2015.
- CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G.; VAREL, V. H. **Anaerobic fermentation of beef cattle manure.** U.S. Meat Animal Research Center. Nebraska: U.S. Department of Energy, 1981.
- CHEN, Y. R. Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. **Agricultural Wastes**, v. 8, n. 2, p. 65-81, 1983.
- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M. de; SOUZA, J. de. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200053&Ing=en&nrm=abn>. Acesso em: 13 jan. 2016.
- COSTA, M. J. R. P.; BATTAGLIA, D. **Boas práticas de manejo: vacinação bovinos leiteiros.** 1. ed. 2. imp. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2014.
- DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos de suínos.** BIPERS, ano 7, n. 11, mar. 1998. 41 p. (Boletim Informativo. Pesquisa & Extensão).

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. Coletânea de Tecnologias sobre Dejetos Suínos. BIPERS, ano 10, n. 14, ago. 2002. 30 p. (Boletim Informativo. Pesquisa & Extensão).

EMBRAPA. Emissões de metano da pecuária. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. Relatório de Referência.

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Sistema de alimentação**. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/alimentacao.html>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

EMBRAPA. Central de Inteligência de Aves e Suínos – CIAS. Disponível em: <www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias>. Acesso em: 13 out. 2017.

EPAGRI (Florianópolis, SC). **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis: EPAGRI/ Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1995. 106 p.

EU-AGRO-BIOGAS. **Feedstock Atlas**. Online European Feedstock Atlas Basis Version. Universitaet fuer Bodenkultur. Disponível em < <http://daten.ktbl.de/euagrobiogasbasis/startSeite.do?selectedAction=start> > Acesso em 15 set. 2015.

FAEP - FEDERAÇÃO DA AGROINDÚSTRIA DO ESTADO DO PARANÁ. **A força do Campos a Serviço do Brasil**. Boletim Informativo, ano 24, n. 1329. Disponível em < <http://www.sistemafaep.org.br/publicacao/boletins-informativos?ano=201> > Acesso em 18 dez. 2015.

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura**, Porto Alegre: Fepam, 2012. 10 p.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à bovinocultura confinada e semiconfinada**, Porto Alegre: Fepam, 2014. 8 p.

FERREIRA JUNIOR, V. O Brasil como fornecedor de alimentos no mundo globalizado: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG, **Anais...** Uberlândia: CBNA, 2002. p. 1- 4.

FERNANDES, D.M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. 2012. 211 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FREITAS, J.Z. **Esterqueiras para Dejetos Bovinos**. Manual Técnico. Programa Rio Rural. Secretaria do Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, nº 4. Niterói, 2008.

FATMA - FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n. 11, Suinocultura. Florianópolis, 2014. 37 p.

GAMA, M. L. S. **Planejamento e gestão do tratamento de dejetos suínos no distrito federal: aplicação de instrumentos de avaliação multicriterial**. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental). Universidade Católica de Brasília, Brasília.

GELAIN, E.R. **Dejetos de Bovinos de Leite no Assentamento Santa Julia - Júlio de Castilhos (RS): Produção e Possibilidades de Uso**. 2011. Monografia (Especialização em Agricultura Familiar Camponesa e Educação do Campo) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria.

GENEROSO, F. B. **Quantificação e caracterização de dejetos produzidos em propriedade com exploração leiteira para uso em biodigestores e reciclagem de nutrientes**. 2001. 66 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Ciências Agrárias e Veterinárias). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GIESSMANN, E. **Biologia e técnica de manejo do esterco líquido**. Palmeira: Colônia Witmarsum/ Cooperativa Mista Agropecuária Witmarsum, 1981. 12 p. Mimeografado.

GUSMÃO, M.M.F.C.C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **emissions from livestock and manure management**. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, v. 4, c. 10. 2006.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

HIRANO, M.Y.; SILVA, C.L. Análise da viabilidade do uso de biogás gerado a partir de dejetos bovinos em microturbinas para fins de geração, cogeração e trigeração de energia. **10º Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 1, p. 28-41, 2014.

JORDAN, R. A. **Desenvolvimento de uma bomba de calor água-água adicionada a biogás para utilização em processos de aquecimento e resfriamento em sistemas de produção de leite**. 2005. 286 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas/SP.

KONZEN, E. A. **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Documento ° 5, 32 p. 2000.

KUNZ, A.; AMARAL, A. C. do; STEINMETZ, R. L. R. **Padronização de uso das unidades de medida em processos de produção de biogás**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2016. 4 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 537).

KUNZ, A.; CHIOCHETTA, O.; MIELE, M.; GIROTTO, A. **Comparativo de custos de implantação de diferentes tecnologias de armazenagem/tratamento e distribuição de dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 16 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular técnica, 42).

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, ano 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

LIRA, J. C. U.; DOMINGUES, E. G.; MARRA, E. G. Análise econômica do potencial energético do biogás em granja de suínos – estudo de caso. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 8., 2008, Poços De Caldas. **Anais...** Induscon, 2008.

LUCAS JÚNIOR, J. de. **Manejo de dejetos em suinocultura: biodigestores**. FCAV/UNESP, Jaboticabal, Depto. De Engenharia Rural, 2004.

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu.

MANSO, K.R.J.; FERREIRA, O.M. Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia Ambiental, Goiânia.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Bovinos e bubalinos / suínos**. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/animal/especies>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

MENEZES, J. F. S.; ALVARENGA, R. C.; SILVA, G. P.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F. F. **Carne de frango na agricultura: perspectivas e viabilidade técnica e econômica**. Rio Verde, GO: Fundação do Ensino Superior de Rio Verde, 2004. 28 p. (FESURV. Boletim Técnico, 3).

MVPS - MIDWEST PLAN SERVICE. **Dairy housing and equipment handbook**. 14. ed. Ames Iowa: Iowa State University, 1985. cap.8, p.1-15. (MWPS-7).

MOTTA, K.U. **Avaliação da geração de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

NAGAE, R.; DAMASCENO, S.; RICHARD, A. Caracterização do dejetos de suínos em crescimento e terminação criados no sistema de lâmina d'água submetido a dois manejos de higienização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

NOGUEIRA, R. G.; LUCAS JUNIOR, J.; BRANCO, P. M. P.; FERREIRA, L. M. S.; PERNA JUNIOR, F. AREVALO, L. P. Caracterização qualitativa e potencial de produção de metano do biogás de dejetos de bovinos confinados em biodigestores. In: SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE E CIÊNCIA ANIMAL, 3., 2013, Pirassununga. **Anais...** São Paulo, SP: USP/FMVZ, 2013.

OLIVEIRA, P. A. V. de. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPISA. Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. A. V. de. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SÃO PAULO, 27.; JORNADA TÉCNICA, 24., 2001, Bastos, SP. **Anais...** Bastos : Sindicato Rural de Bastos, 2001. p. 16-28.

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

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 2005. 8 p. (EMBRAPA-CNPISA. Comunicado técnico, 417)

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 115).

OLIVEIRA, G. B.; SOUZA-LIMA, J. E. **O desenvolvimento sustentável em foco: uma contribuição multidisciplinar**. Curitiba: São Paulo, SP: Annablume, 2006. 168 p.

OLIVEIRA, L. A. G. **Dejetos suínos: qualidade, utilização e o impacto ambiental**. 2011. 54 f. Disciplina Seminários Aplicados (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia.

OLIVEIRA, P. A. V. de **Produção e manejo de dejetos de suínos**. Brasília: EMPRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/8-PauloArmando_Producao.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R. H. da; MEDRI, W.; MIRANDA, C. de R. **Dimensionamento de sistemas de tratamento (decantador e lagoas) e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. 5 p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico, 234).

PEREIRA, A. S. **Higiene e Sanidade Animal - Fundamentos de Produção Animal**. Publicações Europa-América, abril de 1992. 236p.

POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no estado de São Paulo**. 115p. 2000. Dissertação (Mestrado de Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000219682>>. Acesso: 5 ago. 2015.

RATHUNDE, P.H. **Viabilidade econômica da geração distribuída do biogás de dejetos animais no município de Cruz Machado**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Organizações e Desenvolvimento) - Centro Universitário Franciscano (FAE), Curitiba.

RESENDE, J. A. de; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L. da; CARNEIRO, J. da C.; RIBEIRO, M. T.; LIMA, J. C. F.; OTENIO, M. H. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de leite, 2015. 5 p. il. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 110).

ROSILLO-CALLE, F. **The Biomass Assessment Handbook**, London: Earthscan, 2007.

SANTOS, I. A.; NOGUEIRA, L. A. H. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbica. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 41-49, 2012.

SANTA CATARINA. Valores a serem adotados quanto a produção de dejetos por suínos para elaboração de licença ambiental. **Diário Oficial de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, n. 19.937, 5 nov. 2014.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. CCE- Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN - Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

SANTOS, I. A. **Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas a Bovinocultura: o valor fertilizante do esterco e o impacto da biodigestão anaeróbica**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: EPAGRI, 1996. 46p. (EPAGRI. Boletim técnico, 79).

SCHNEIDER, V. E.; PERESIN, D.; TRETIN, A. C.; BORTOLIN, T. A.; SAMBUICHI, R. H. R. **Resíduos agrosilvopastoris I – resíduos orgânicos**. Caderno de Diagnóstico. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2011.

SERAFIM, G. B.; GUIMARÃES FILHO, L. P. Estudo sobre o reaproveitamento dos dejetos de suínos na Bacia do Rio Sangão - Santa Catarina. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 5, n. Edição especial, p. 151-174, 2012.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 194-209. 2006.

SINOTTI, A. P. S. **Avaliação do volume de dejetos e da carga poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do ciclo criatório**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SIQUEIRA JÚNIOR, L. A. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira**. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SOLER, A.L. **Levantamento de dados da geração e caracterização de dejetos na suinocultura em fase de creche e terminação**. 2012. 79 f. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.

SOUZA, S. N. M. de; PEREIRA, W. C.; PAVAN, A. A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

SOUZA, C. F.; CARVALHO, C. C. S.; CAMPOS, J. A.; MATOS, A. T.; FERREIRA, W. P. M. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 128-133, 2009.

SOUZA, C. F.; JUNIOR, C. G. S. T.; OLIVEIRA, K. P. **Bovinos de corte em confinamento – manejo de dejetos em esterqueiras – dimensionamento**. Resposta Técnica nº 1. Ambiagro – Núcleo de Pesquisas em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais, 2015.

TAVARES, J. M. R. **Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura**. 229 f. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis.

WINROCK - INTERNATIONAL BRASIL. **Manual de treinamento em biodigestão**. Versão 2.0, 2008.

Realização



PTI

CIH

Centro Internacional
de Hidroinformática



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS

Embrapa
Suínos e Aves