

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA  
ESCOLA POLITÉCNICA

MURILO SENSULINI FRANCISCO

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DO  
TRATAMENTO DE DEJETOS BOVINOS – ESTUDO EXPERIMENTAL EM  
PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

São Paulo  
2018

MURILO SENSULINI FRANCISCO

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DO  
TRATAMENTO DE DEJETOS BOVINOS – ESTUDO EXPERIMENTAL EM  
PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

São Paulo  
2018

MURILO SENSULINI FRANCISCO

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DO  
TRATAMENTO DE DEJETOS BOVINOS – ESTUDO EXPERIMENTAL EM  
PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de para  
obtenção ao título de especialista em  
Energias Renováveis.

Orientador: Professora Dra.  
Vanessa Pecora Garcilasso

São Paulo  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa, Fábiana, pelo companheirismo, paciência, apoio, incentivo e confiança.

Aos meus pais, Edmundo Claudio e Marlene, minha irmã Débora entre tantas coisas que me ensinaram, mas principalmente pelo incentivo e apoio que sempre tiveram em mim.

A minha orientadora, Professora Dra. Vanessa Pecora Garcilasso, pela competente orientação, comentários, sugestões, paciência e incentivo.

E a todos meus amigos e colegas que aqui não citei nominalmente, mas que sempre me incentivaram.

Agradeço a todos vocês.

## **RESUMO**

Atualmente, a busca por fontes de energia renovável está se tornando cada vez mais necessária devido ao constante crescimento no consumo de energia. Portanto, é de vital importância a obtenção de energia a partir de fontes renováveis, principalmente com a utilização dos recursos naturais disponíveis localmente, como é o caso da bovinocultura, que fornece biomassa (dejetos) possível de ser tratada em sistemas anaeróbios, proporcionando a geração e o aproveitamento energético de biogás. Este trabalho qualifica as possibilidades de aproveitamento energético do biogás proveniente de dejetos bovinos. Além de analisar o potencial brasileiro de produção de biogás e os incentivos necessários, é apresentado o estudo experimental de tratamento de dejetos bovinos e produção e uso de biogás em pequena propriedade rural localizada no interior de São Paulo. Em conclusão, são analisados os aspectos ambientais, sociais e econômicos decorrentes da implantação desta tecnologia energética.

Palavras chaves: Energia renovável, biomassa, biogás, biodigestor.

## **ABSTRACT**

Currently, the search for renewable energy sources is becoming increasingly necessary due to the constant growth in energy consumption. Therefore, it is vitally important to obtain energy from renewable sources, especially with the use of locally available natural resources, such as bovine farming, which provides biomass (waste) that can be treated in anaerobic systems, and the energetic use of biogas. This work qualifies the possibilities of energy utilization of biogas from bovine manure. In addition to analyzing the Brazilian potential for biogas production and the necessary incentives, the experimental study of treatment of bovine manure and biogas production and use in small rural property located in the interior of São Paulo is presented. In conclusion, the environmental, social and economic aspects resulting from the implementation of this energy technology are analyzed.

Keywords: Renewable energy, biomass, biogas, biodigester.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 2.1 - Evolução do número de bovinos no Brasil.....	14
Figura 2.1 - Efetivos de bovinos e cabeças abatidas em 2016 .....	16
Figura 2.2 - Sistema extensivo – criação no pasto.....	17
Figura 2.3 – Sistema intensivo – criação em confinamento .....	18
Figura 2.4 - Sistema intensivo - pastejo rotacionado.....	21
Figura 2.5 - Sistema intensivo - Free Stall .....	22
Figura 2.6 - Sistema intensivo - Compost Barn .....	23
Figura 3.1 - Fluxograma processo de digestão anaeróbia .....	27
Figura 3.2 - Biodigestor modelo indiano.....	37
Figura 3.3 – Biodigestor modelo chinês .....	38
Figura 3.4 - Biodigestor modelo lagoa coberta.....	42
Figura 3.5 - Biodigestor modelo lagoa coberta.....	43
Figura 3.6 - Biodigestor CSTR .....	44
Figura 3.7 - Biodigestor CSTR interno .....	44
Figura 3.8 - Biodigestor UASB .....	46
Figura 5.1 – Dejetos dentro do saco plástico .....	54
Figura 5.2 – Homogeneização dos dejetos .....	55
Figura 5.3 – Construção da estufa .....	57
Figura 5.4 – Estufa terminada .....	57
Figura 5.5 – Queima do gás 1 .....	59
Figura 5.6 – Queima do gás 2 .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Porcentagem de água para diluição do material orgânico .....	32
Tabela 3.2 - Produção média de dejetos de animal vivo (Em Kg/dia) .....	32
Tabela 3.3 - Média de peso dos animais (Em Kg).....	33
Tabela 3.4 - Relação do volume de biomassa com o gás produzido .....	33
Tabela 3.5 - Características do biofertilizante produzido a partir de dejetos bovinos ...	36
Tabela 3.6 - Biodigestor com pouca profundidade .....	39
Tabela 3.7 - Biodigestor com maior profundidade .....	39
Tabela 3.8 - Comparação de características de construção do biodigestor .....	40
Tabela 4.1 - Composição média do biogás .....	50
Tabela 4.2 - Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás .....	51
Tabela 4.3 - Capacidade de geração de 1 m <sup>3</sup> de biogás.....	51
Tabela 5.1 - Carga e descarga dos biodigestores.....	56
Tabela 5.2 – Custo do projeto .....	62



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	12
1.2.	METODOLOGIA.....	13
<b>2.</b>	<b>SITUAÇÃO ATUAL DA BOVINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO ..</b>	<b>14</b>
2.1.	BOVINOCULTURA DE LEITE .....	18
2.2.	AÇÕES PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES EFEITO ESTUFA NA BOVINOCULTURA.....	24
<b>3.</b>	<b>BIODIGESTÃO ANAERÓBIA .....</b>	<b>27</b>
3.1.	PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	27
3.2.	BIODIGESTOR – ESTADO DA ARTE.....	28
3.3.	DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR.....	29
3.4.	TIPOS DE BIODIGESTOR .....	37
3.4.1.	<b>Modelos indiano e chinês .....</b>	<b>37</b>
3.4.2.	<b>Modelo lagoa coberta .....</b>	<b>41</b>
3.4.3.	<b>Modelo CSTR .....</b>	<b>43</b>
3.4.4.	<b>Modelo UASB .....</b>	<b>45</b>
3.5.	FATORES CRÍTICOS DO PROCESSO .....	47
<b>4.</b>	<b>BIOGÁS PROVENIENTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS BOVINOS .....</b>	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE CASO EXPERIMENTAL – APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS.....</b>	<b>53</b>

5.1.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
5.2.	DIFICULDADES ENCONTRADAS E ALTERAÇÕES NO SISTEMA.....	56
5.3.	RESULTADOS OBTIDOS .....	58
5.4.	USOS FINAIS DO BIOGÁS.....	60
5.5.	ASPECTOS ECONÔMICOS .....	61
5.6.	TRABALHOS FUTUROS.....	62
5.7.	CONSIDERAÇÕES GERAIS DO ESTUDO DE CASO EXPERIMENTAL....	64
6.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## 1. INTRODUÇÃO

“Qualquer tipo de energia pode ser definida, de uma forma bem objetiva, pela capacidade que tem de realizar trabalho” (RAMOS, 2018).

Há muitos anos o homem utilizava sua própria força para execução das tarefas e com o passar do tempo começou a usar fogo para aquecimento e para cocção, foi a primeira fonte de energia do homem primitivo.

Após a utilização do fogo como fonte de energia, durante a Revolução Neolítica o homem aprendeu a domesticar alguns animais como os equinos e bovinos, aprendeu a plantar, cultivar a terra e a partir deste momento a biomassa apareceu como uma possível forma de energia.

Durante o período de 2.000 AC, o homem passou a utilizar a força do vento para mover as embarcações e moinhos. E no século II AC aprendeu a utilizar a água como fonte de energia hidráulica.

No início do segundo milênio durante a Revolução Industrial houve um crescimento acentuado da exploração do carvão mineral devido a invenção da máquina a vapor.

No século XVII surgiram os primeiros experimentos sobre eletrificação por atrito, este seria o primeiro passo para a futura descoberta e desenvolvimento da eletricidade.

Posteriormente foi a vez dos motores de combustão interna a gasolina e outros derivados de petróleo. A partir deste momento o petróleo se tornou a principal e mais disputada fonte de energia no mundo, ditando o ritmo da economia dos países de acordo com a produção e comercialização deste combustível fóssil.

Nos dias atuais um dos maiores desafios da humanidade está relacionado a energia elétrica. O objetivo é encontrar uma maneira para que possibilite o crescimento e desenvolvimento da população, porém é necessário que sejam feitas mudanças na maneira que a esta energia é produzida e consumida, o atual modelo a partir de fontes não renováveis está se tornando cada dia mais insustentável.

É necessário que sejam tomadas medidas urgentes para se descobrir um caminho e reestruturar o nosso modo de produção e consumo da energia, um modelo que não degrade tanto o meio ambiente. O foco hoje, seria substituição em larga escala das fontes geradoras de energia a partir de fontes não renováveis como o petróleo, para fontes renováveis como a biomassa, eólica, solar e outras fontes.

Atualmente, o crescimento e desenvolvimento industrial dependem a utilização destas novas tecnologias de geração. Possivelmente nos próximos anos deverão existir inúmeras fontes de energia renovável e pouco poluidoras cada uma com a sua participação na economia global, o que irá causar uma situação atípica na economia, acabar a dependência do petróleo, deixará de ser uma unanimidade.

Neste novo panorama de energia renovável, pode-se destacar o biogás; um gás produzido por meio da decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Um dos seus principais componentes é o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), que pode ser utilizado como combustível para a geração de energia elétrica, energia térmica ou para as duas ao mesmo tempo, por meio da cogeração, ou ainda como substituto ao gás natural.

O gás metano é um dos gases causadores do efeito estufa, fenômeno que tem causado grande preocupação no mundo, sendo foco em muitos debates e tratados internacionais (como o de Protocolo de Quioto) devido ao elevado potencial de alterar o sistema climático do planeta. O gás metano, segundo Ramos (2018), é 21 vezes mais prejudicial ao meio ambiente que o  $\text{CO}_2$ .

No mundo a energia é predominantemente gerada por fontes fósseis, por tanto não renováveis, o que acarreta grande impacto ao meio ambiente, situação essa que difere do Brasil.

No Brasil as diversas fontes de energia apresentam uma característica interessante frente aos outros países, pelo fato do Brasil ter a maior parte de sua geração elétrica proveniente de fontes renováveis, predominantemente de fonte hidráulica. Isto nos coloca em uma posição privilegiada em relação aos demais países, até mesmo os países de primeiro mundo, cujas fontes são predominantemente fósseis. Porém a situação do Brasil requer cuidados, pois nossos governantes não estão cuidando da situação energética como deveriam. De acordo com Ramos (2018), enquanto o PIB tem apresentado crescimento, a geração de energia se apresenta em patamares estáveis e baixos diante da demanda crescente.

Embora o Brasil possua enorme capacidade de gerar energia a partir de fontes renováveis, dados do PEGN (2018) revelam que em junho de 2018 a participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira contou com 81,9% da capacidade instalada e 87,8% da geração elétrica produzida no país, porém 63,7% é proveniente das hidroelétricas e apenas 9,1% de biomassa, 8,1% de solar e 1% de eólica. Esta dependência das hidroelétricas causa preocupação devido a escassez

de chuvas, o que compromete todo o sistema interligado nacional. É necessário que a matriz equilibre a participação das demais fontes de energia para não ficar dependente apenas da hidráulica.

Um dos grandes potenciais de geração de energia no Brasil é o resíduo proveniente de criação animal, como a bovinocultura. O seu tratamento em sistema anaeróbio proporciona a geração de biogás e, conseqüentemente, a geração de energia. Segundo dados do IPEA (2012), o rebanho de bovinos no Brasil, se traduz em um enorme potencial de geração de energia a ser explorado. A estimativa é de 1,7 bilhões de tonelada por ano de dejetos, o que representaria aproximadamente 62,9 milhões de  $\text{Nm}^3$  de biogás gerado, porém apenas uma pequena parcela deste potencial tem condições de ser aproveitado.

Entretanto, apesar desse grande potencial, ainda existem algumas barreiras a serem enfrentadas para alavancar o aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dentre as principais barreiras pode-se destacar a falta de investimento, qualificação profissional e ainda são poucos os incentivos governamentais, como por exemplo o Probiogás (Jende, 2016).

Desta forma, o biogás aparece como uma solução interessante para a geração de energia elétrica e térmica, atendendo aos requisitos de desenvolvimento sustentável, pelo fato de reduzir a emissão de metano que seria lançado na atmosfera.

## 1.1.OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar a geração e o aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento anaeróbio dos dejetos bovinos, por meio de estudo experimental em uma propriedade rural de pequeno porte.

O biogás é uma mistura de gases produzido a partir da decomposição de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio (meio anaeróbio), formado principalmente por gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

O biogás pode ser utilizado para diferentes fins energéticos, como geração de energia elétrica e térmica, além de ser um substituto ao gás natural quando purificado e transformado em biometano. O estudo experimental apresentado neste trabalho teve como foco o uso de biogás para cocção.

O trabalho apresenta os aspectos técnicos e econômicos do sistema de tratamento anaeróbio dos dejetos de bovinos para pequenas propriedades rurais, bem como do sistema de aproveitamento do biogás, mediante estudo experimental desenvolvido.

Durante a execução do experimento foram analisados os pontos positivos, tais como viabilidade técnico-econômica, recursos disponíveis de matéria-prima, entre outros; e também os pontos negativos, como por exemplo, problemas com a estabilidade do processo de biodigestão anaeróbia, dentre outros.

## 1.2. METODOLOGIA

O trabalho foi elaborado por meio de dados primários e secundários obtidos em artigos técnicos, revistas e livros especializados e pela internet.

Foram analisados estudos e pesquisas mais atuais, que demonstram as diversas possibilidades de aproveitamento energético do biogás, como: geração de energia elétrica, geração de energia térmica, além de substituição de gás natural. O trabalho também realizou análise da situação atual de bovinocultura no Brasil.

O biogás pode ser considerado uma alternativa energética muito interessante para o futuro, tendo em vista a crescente demanda, a redução da oferta e cada vez mais alto o custo de fontes energéticas como o petróleo.

É apresentado também um estudo de caso experimental do aproveitamento de biogás proveniente do tratamento de dejetos bovinos em propriedade rural de pequena escala, localizada em Cajamar, SP.

## 2. SITUAÇÃO ATUAL DA BOVINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO

Atualmente o Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário mundial, sendo o segundo lugar com maior rebanho bovino no mundo e o primeiro em rebanho comercial, segundo dados do IBGE (2016).

Em 2016, o país apresentou um crescimento de 1,4% em relação a 2015, o efetivo brasileiro de bovinos atingiu a marca de 218,23 milhões de cabeças.

Pode-se observar a variação anual do número de bovinos no Brasil, conforme o Gráfico 2.1, no período compreendido entre 1985 até 2016. Segundo o IBGE (2016), a última queda registrada ocorreu em 2012 (0,7%), ano em que foi marcado por grandes variações climáticas, ocasionando queda de produção.

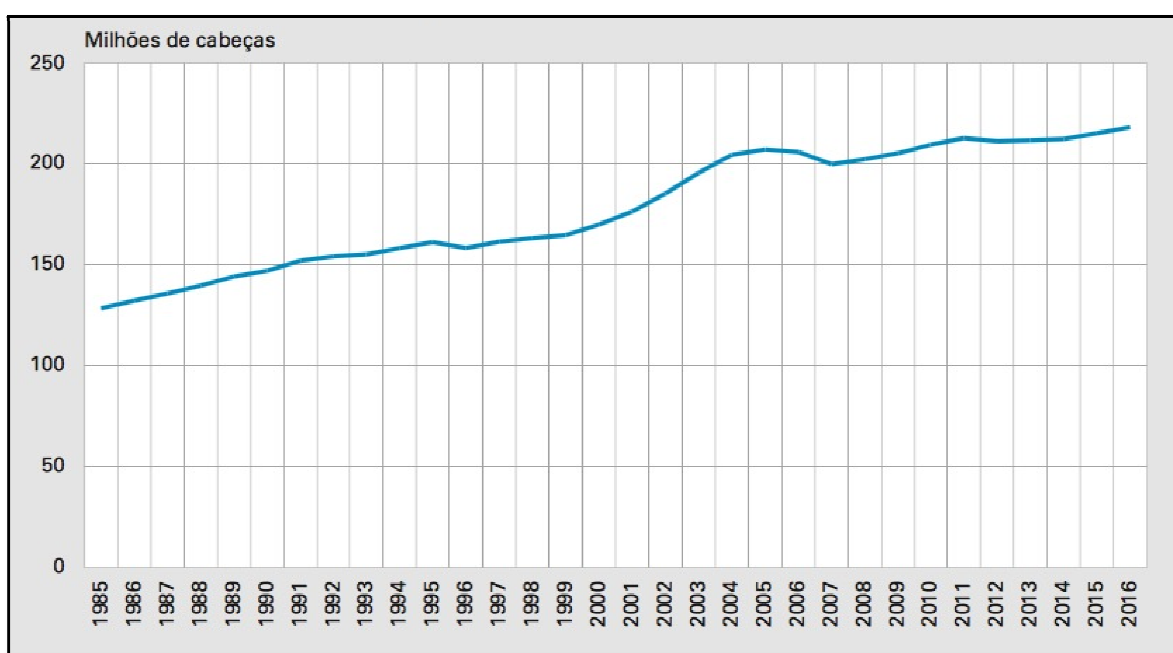


Gráfico 2.1 - Evolução do número de bovinos no Brasil  
Fonte: IBGE, Evolução do efetivo bovino no Brasil 1985-2016.

Em relação a região com a maior produção bovina, o centro-oeste do Brasil continua sendo referência para o restante do país, tendo 34,4% de toda produção nacional, e teve um crescimento de 3,3% em comparação a 2015, IBGE (2016). Tamanho desenvolvimento está aliado ao fato dos estados do centro-oeste possuírem grandes áreas favoráveis para a criação a pasto, e pela proximidade com os grandes centros de produção de grãos e agroindústrias, o que facilita a compra

de insumos para a produção animal, tanto para o sistema extensivo, quanto o confinado.

Segundo o IBGE (2016) a segunda região com a maior produção bovina do Brasil é a região norte, que registrou um plantel de 47,98 milhões de cabeças de gado, obtendo um crescimento de 1,7% em comparação a 2015. Já a região sul apresentou um crescimento de 0,5%, a região sudeste um crescimento de 0,8%, e a única região que apresentou queda na produção foi a região nordeste, queda de (2,1%).

Com relação aos estados brasileiro, o Mato Grosso continua sendo o maior estado produtor, com um total de 30,30 milhões de cabeça de gado, o que representa 13,9% do rebanho brasileiro. Completando os 4 maiores estados produtores, aparece em segundo lugar Minas Gerias com 18,8%, Goiás em terceiro com 10,5% e Mato Grosso do Sul em quarto com 10,0%, na Figura 2.1 pode-se verificar o efetivo bovino em todos os estados brasileiros IBGE (2016).

Em 2017 após 3 anos consecutivos em queda, o abate de bovinos no país cresceu 3,8% em relação a 2016, passando de 29,67 milhões para 30,83 milhões de cabeças. Esta queda segundo IBGE (2016) esta relacionada com a crise econômica que atingiu o país e reduziu a demanda por carne bovina durante os anos de 2014, 2015 e 2016. Da mesma maneira que Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul são os maiores produtores de carne do Brasil, estes estados também são responsáveis pelo maior número de animais abatidos conforme apresentado na Figura 2.1.

A Figura 2.1 ilustra a relação entre o efetivo e o abate de bovinos nas 27 Unidades da Federação.



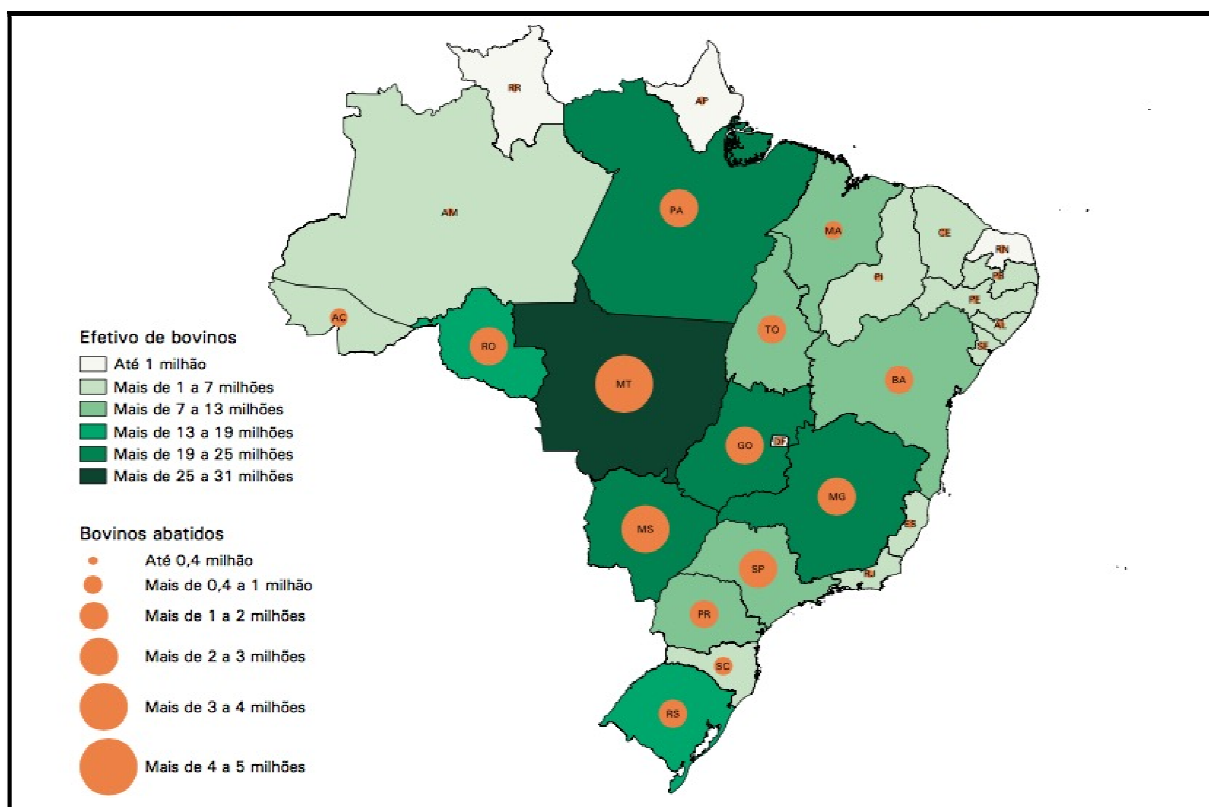


Figura 2.1 - Efetivos de bovinos e cabeças abatidas em 2016

Fonte: IBGE 2016, Efetivos de bovinos e cabeças abatidas em 2016

De acordo com o IBGE (2016), o setor da pecuária tem uma grande participação no PIB brasileiro, representando mais de 15% do PIB nacional. O setor é responsável por 18% das exportações do agronegócio nacional e já passou por inúmeras fases de expansão e retração. Com base nisto a pecuária é considerada um dos principais pilares econômicos do país.

Já no mundo, de acordo com o crescimento apresentado nos últimos três anos, WEST (2017) a previsão é de que o rebanho bovino mundial supere 1 bilhão de cabeças em 2018, valor esse atingido em 2014.

Além da importante participação do Brasil na produção de animais, alguns países apresentarão um crescimento acentuado como os Estados Unidos com 94 milhões de cabeças, a Argentina com 50 milhões e a Austrália com 25,5 milhões, esses valores são uma estimativa para o ano de 2018.

De acordo com WEST (2017), em 2018 o rebanho brasileiro chegará a marca de 232 milhões de animais e o indiano em 305 milhões. Na Índia, estão incluídos os búfalos. A Índia e o Brasil são os países com o maior rebanho mundial.

Um dos principais consumidores de carne bovina no mundo, a China, apresentou um crescimento na produção de 7%, porém o consumo teve evolução de

20%. O que torna a China um dos principais importadores de carne bovina, adquirindo cerca de 1 milhão de toneladas por ano. Com base nesta demanda crescente dos países asiáticos, superior a produção, o Brasil deve aproveitar a alta demanda para exportar mais e com isso aprimorar e melhorar a criação nos próximos anos.

Para WEST (2018) a produção mundial de carne bovina deve atingir 63 milhões de toneladas em 2018. Em 2015, estava em 59,6 milhões. O Brasil e a Índia exportam 1,8 milhão de toneladas e os Estados Unidos importam 1,4 milhão de toneladas por ano, estes são os maiores exportadores e importador da atualidade.

Devido a esta tamanha importância econômica, muitos produtores estão investindo em melhores práticas de manejo a fim de reduzir os custos de produção e área ocupada. Partindo neste sentido atualmente muitos produtores estão investindo em sistemas de criação a partir do confinamento dos animais. No modelo tradicional e predominante no país o gado é criado totalmente no pasto (sistema extensivo), conforme Figura 2.2. No sistema intensivo o modelo é o sistema de confinamento dos animais, onde permanecem em uma pequena área onde tem todas as suas necessidades atendidas a fim de possibilitar um rápido desenvolvimento, conforme apresentado na Figura 2.3.



Figura 2.2 - Sistema extensivo – criação no pasto  
Fonte: Embrapa, 2018.



Figura 2.3 – Sistema intensivo – criação em confinamento  
Fonte: Embrapa, 2018.

No sistema extensivo, os dejetos dos animais permanecem sobre o solo sem que haja qualquer tipo de coleta ou tratamento adequado. Já no sistema intensivo a área do confinamento pode ser concretada, afim de não contaminar o solo e facilitar a limpeza (coleta dos dejetos). A limpeza deve ser realizada com determinada frequência afim de dar o tratamento adequado dos dejetos.

IPEA (2012), o rebanho nacional de bovinos de corte e de leite produz cerca de 1,7 bilhões de toneladas por ano de dejetos. Porém, não podemos considerar toda a produção dos dejetos gerados pela criação de gado de corte, pois a grande maioria do gado de corte é criado de maneira extensiva, o que inviabiliza o aproveitamento dos dejetos e urina dos animais. Desta maneira, segundo IPEA (2012), o cenário muda bastante quando limitado apenas a animais confinados, pois a quantidade de dejetos aproveitáveis para a biodigestão passa para aproximadamente 351 milhões de toneladas por ano.

## 2.1. BOVINOCULTURA DE LEITE

A bovinocultura voltada para a produção de leite é um importante setor econômico, principalmente porque têm muito potencial a ser explorado não apenas para a produção leiteira, mas também para a produção de biogás e biofertilizante por meio da biodigestão anaeróbia dos dejetos. Muitos produtores possuem suas criações totalmente ou parcialmente confinadas, o que facilita a coleta dos resíduos

para posterior tratamento, uma área ainda pouco explorada em vista do grande potencial existente no Brasil.

Para Zoccal (2017), são inúmeros fatores que possibilitam a ampliação deste setor, como por exemplo:

- menor custo de produção comparado a outros países;
- aumento da demanda de alimentos para outros países;
- aumento na qualidade da produção;
- prevenção e controle dos principais problemas relacionados a redução da produtividade.

Outro fator determinante é o melhoramento genético bovino, um fator de destaque no crescimento da pecuária que melhorou de forma exponencial ao decorrer dos anos.

Segundo Zoccal (2017), a pecuária está avançando rápido na busca por novas tecnologias e desenvolvimento genético. Tais técnicas como a transferência de embriões; inseminação artificial em tempo fixo e a aspiração folicular para FVI (técnica de aperfeiçoamento utilizada na fertilização in vitro) estão se tornando cada vez mais frequentes, o que contribui muito para o melhoramento genético dos animais, tanto no gado de corte, no gado de leite e também nos reprodutores.

A produção leiteira avançou muito, e hoje esta atividade está presente em praticamente todo o território nacional. Muitos produtores estão cada vez mais se especializando na produção de leite utilizando raças puras e seus cruzamentos, sempre com um objetivo em comum, aumentar a produção por animal/dia, e os resultados estão sendo alcançados. Já existem registros em torneios leiteiros de produção diária acima de 100 litros na raça Holandesa e Girolando, próximo de 70 litros com animais Jersey e de 60 litros com vacas Gir, mas a média nacional ainda é baixa, de 8 litros/vaca/dia (Zoccal, 2017).

Ainda segundo Zoccal (2017), praticamente metade do leite produzido no país vem de pequenas propriedades (aproximadamente 47% do volume produzido no país). O setor do leite (indústria de laticínios até a produção no campo) é uma das principais atividades que gera emprego no país. São mais 1,2 milhões de produtores que dependem do leite para o sustento da família e mais de 3 milhões de pessoas trabalhando na indústria. Em 2016, o faturamento da produção de leite foi de R\$ 27 bilhões.

Os números demonstram a força e a importância do agronegócio e da produção de leite para o país. Os estados que apresentaram um crescimento do emprego formal na área foram os estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Pernambuco.

Com relação ao VBP (Valor Bruto da Produção) o leite representa 22% do valor gerado pela pecuária, a carne bovina representa 49,1%, a produção de frangos 16,9%, suínos 5,4% e ovos 6,6%.

De acordo com Zoccal (2017), o VBP agropecuária de 2017, atingiu R\$ 531,7 bilhões, uma redução de 2,58% em relação ao ano anterior, cujo faturamento atingiu o valor de R\$ 545,8 bilhões. Esta baixa é reflexo da queda no preço dos insumos utilizados na produção, como a soja (16,7%) e o milho (31,5%).

Hoje no Brasil a bovinocultura leiteira, segundo informações do IPEA (2012), apresenta sistemas de criação extensivo, intensivo ou confinado, diferente do sistema de produção do bovino de carne onde os sistemas são extensivo ou confinado.

No modelo extensivo, que é o tradicional e mais utilizado pelos pequenos produtores, o gado leiteiro é criado livre no pasto, havendo pouco uso de tecnologia e melhoramento genético, conforme Figura 2.2. Neste método de criação, todos os animais ficam em uma mesma área de grande proporção e são encaminhados ao curral apenas na hora da ordenha, momento em que, geralmente, recebem uma complementação alimentar.

Já o modelo intensivo, na bovinocultura de leite o sistema é um pouco diferente da bovinocultura de corte, pode ser o sistema de criação do gado no pasto ou confinado. Entretanto, no modelo a pasto, o pasto é dividido em diversos piquetes e os animais pastam cada dia em um piquete diferente, conforme Figura 2.4, respeitando os períodos de pastejo e o período necessário de descanso da pastagem.





Figura 2.4 - Sistema intensivo - pastejo rotacionado  
Fonte: Embrapa, 2018.

A grande vantagem deste sistema de pastejo é conseguir controlar o pasto e sua utilização, consequentemente será possível colocar um maior número de animais na mesma área. Neste sistema é possível determinar quanto tempo os animais estarão em cada piquete, afim de dar o tempo de descanso suficiente para a pastagem (forrageira), respeitando o tempo de desfolha o que proporciona maior aproveitamento nutritivo, o pasto tende a ser mais uniformes e a eficiência nutritiva do pastejo tende a ser muito mais elevada.

Para determinar o período de descanso e o número de piquetes devemos dividir o período de descanso (em dias)/tempo de pastejo (em dias) + 1. O período de descanso deve obedecer as características de cada tipo de forrageira e o tempo em que a espécie leva para atingir o pico de produção (valor nutritivo). Já o tempo de pastejo deve levar em consideração o volume de forrageira por área, quantos animais serão alocados nesta área e quanto tempo levará para ser consumida esta forragem. Fazendo esta conta é acrescentado 1, este 1 é referente ao piquete em que os animais estão, por tanto o piquete não está em descanso, por isso sempre será mais 1. Este sistema é chamado de pastejo rotacionado.

Nos dois modelos apresentados, extensivo e intensivo a pasto, a coleta dos dejetos é complicada pelo fato dos animais estarem a maior parte do tempo nas pastagens.

Já em alguns modelos de criação intensivo, sistema de confinamento, a coleta dos dejetos é realizada mais facilmente.

A seguir serão apresentados os dois sistemas de confinamento mais utilizados no país, que são o free stall e o compost barn.

O modelo free stall, apresentado na Figura 2.5, consiste em áreas com camas individualizadas, corredores de acesso para alimentação, bebedouro e sala de ordenha.



Figura 2.5 - Sistema intensivo - Free Stall  
Fonte: Embrapa, 2018.

Entre os benefícios do free stall podemos destacar: (i) a possibilidade de controlar as condições do ambiente, aumentando assim o conforto animal evitando variações de produção durante o ano, devido a variação climáticas; (ii) oferecer temperatura adequada às vacas, utilizando ventiladores e aspersores de água, para garantir o conforto térmico do animal; (iii) facilitar o monitoramento e controle do rebanho, como detecção de cios, acompanhamento pré e pós-parto, bem-estar animal, etc; (iv) otimizar o uso do espaço, liberando assim áreas disponíveis para recria ou produção de alimentos; entre outros. Neste modelo todo esterco é retirado diariamente, mais de uma vez ao dia. Este é o modelo ideal para a utilização de biodigestores.

Já o modelo compost barn também bastante difundido no Brasil, tem por característica deixar os animais livres no estábulo. Este modelo é semelhante ao

free stall, entretanto a diferença entre os sistemas é que no compost barn é utilizado uma "cama" orgânica cobrindo todo o estábulo, sendo assim não permite a utilização de biodigestores para o tratamento do esterco e da urina ali gerados, conforme Figura 2.6. Segundo Neiva (2016), as vacas defecam e urinam no material, dando início ao processo denominado "compostagem", que controla a decomposição de materiais orgânicos.



Figura 2.6 - Sistema intensivo - Compost Barn  
Fonte: Neiva, 2016.

Neste sistema, o esterco e a urina gerados pelo gado permanecem no mesmo local e por isso passam por uma semi compostagem aeróbica (em contato com o ar). A cama deve estar sempre seca para proporcionar conforto ao animal por esse motivo, o material depositado na cama deve passar sempre por uma aeração, isto é feito com o auxílio de ventiladores e pelo menos duas vezes ao dia o material depositado na superfície deve ser mexido com o auxílio de tratores com enxadas rotativas e dependendo do manejo utilizado a cama pode permanecer por até um ano sem ser substituída. Para executar a limpeza devesse observar o limite físico do estábulo (cheio), o composto de ser retirado totalmente e a camada superficial de ser retirada, separada e depois que o estábulo estiver completamente limpo, este composto superficial é colocado novamente afim de dar condições para que as bactérias continuem o trabalho de compostagem aeróbica (Neiva, 2016).



## 2.2. AÇÕES PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES EFEITO ESTUFA NA BOVINOCULTURA

A bovinocultura é considerada a atividade econômica que causa o maior impacto ambiental no Brasil. Segundo Procreate (2017), podemos destacar:

- Destruição de ecossistemas; com o esgotamento ou baixa produção do solo, os sistemas de criação avançam para áreas ainda inexploradas como o Cerrado e Amazônia. Juntamente com a pecuária, as atividades agrícolas e madeireiras causam esse desmatamento.
- Degradação do solo; devido a falta de manutenção e correção das pastagens, pode causar erosão e compactação do solo.
- Poluição dos recursos hídricos; devido a grande carga de dejetos, e diversos produtos utilizados na criação que são conduzidos para rios e lagos.
- Efeito estufa; um dos impactos mais significativos da bovinocultura, apresenta emissões superiores ao setor de transporte. No Brasil se desconsiderarmos as queimadas e desmatamentos a bovinocultura represtam mais de 42% das emissões de gases de efeito estufa (Procreate, 2017).

Afim de combater estes impactos o mundo está se unindo para criar medidas de combate as emissões de gases de efeito estufa. Atualmente várias medidas já entraram em vigor.

No ano de 2016 durante a COP-21, foi assinado pela NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) um plano (Acordo de Paris) para a redução da emissão dos gases de efeitos estufa. O acordo foi aprovado em 2015 em uma conferência em Paris por 195 países, com o compromisso do desenvolvimento global sustentável. De acordo com Barretto (2018), a meta brasileira é de reduzir até 2025, 37% das emissões dos gases do efeito estufa e 43% até 2030, tendo como base o ano de 2005. Além disso o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável para 18% até 2030 e alcançar uma participação de 45% de energias renováveis para compor a matriz energética nacional.

Outro plano para combater a emissão de gases do efeito estufa é o plano ABC. O plano ABC é uma política pública, onde as ações não são impostas e sim

adotadas por setores da agropecuária a fim de reduzir a emissão de gases de efeito estufa através de tecnologias sustentáveis. Formigoni (2017), explica que em 2012 começou a ser formada a comissão para por em prática os sete programas que compõem o plano ABC, sendo seis relacionados a redução na emissão de gases e um referente a adaptação as mudanças climáticas:

- Recuperação de Pastagens Degradadas;
- Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs);
- Sistema Plantio Direto (SPD);
- Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN);
- Florestas Plantadas;
- Tratamento de Dejetos Animais;
- Adaptação a Mudanças Climáticas.

A ideia é gerar uma linha de crédito ao produtor rural, a fim de que este possa ter condições de investir em sua atividade rural de maneira autossustentável, com o objetivo reduzir o impacto ambiental.

De acordo com o MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento no período de 2016 / 2017 (julho-agosto) foram registrados 16 contratos, totalizando R\$45.082,00. Já no ano seguinte ouve um grande aumento no número de contratos, em 2017 / 2018 (julho-agosto) foram registrados 227 contratos, totalizando R\$146.450,00.

Atualmente o BNDS trabalha com uma taxa de juros de 5,25% ao ano, para produtores que pretendem fazer melhorias frente a legislação ambiental de redução das emissões de gases do efeito estufa e taxa de 6% para demais atividades.

Outro plano criado de incentivo a sustentabilidade na redução da emissão de gases do efeito estufa, foi o Plano Nacional de Agroenergia, este teve início no final do ano de 2005 com o objetivo principal de produzir e disseminar conhecimentos em tecnologia para viabilizar a sustentabilidade da produção e a utilização da energia elétrica de maneira racional.

O Probiogás foi um projeto de cooperação criado entre o Brasil e Alemanha em 2015, com o objetivo de incentivar a produção e o uso energético eficiente do biogás proveniente de aterros sanitários, do setor do agropecuário e da agroindústria. De acordo com Jende (2016), o principal objetivo deste plano era: (i) melhorar as condições regulatórias, (ii) aproximar instituições de pesquisa e ensino e

(iii) despertar a indústria do biogás para o mercado, demonstrando os benefícios e a grande viabilidade do setor. O projeto foi finalizado em 2017, porém deixou muitos ensinamentos e hoje o setor tem condições de continuar as pesquisas e desenvolvimento sem o incentivo do governo.

Já no estado de São Paulo, a Cesp – Companhia Energética de São Paulo, empresa vinculada à Secretaria Estadual de Energia e Mineração, iniciou em abril de 2018 um projeto de P&D ANEEL que é composto por três objetivos principais: (i) implantação de uma planta de geração de biogás no campus da Unesp em Jaboticabal, (ii) produção de um Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo e (iii) modelagem para a comercialização da energia gerada (CESP, 2018).

A planta de geração de biogás, a partir de um biodigestor, será alimentada com dejetos animais, vinhaça proveniente de sistemas de cogeração e uma plantação de batata doce, segundo Lucas Jr. (2010) a batata doce aumenta muito o rendimento do biodigestor. A energia elétrica gerada pelas hidroelétricas tende a ser cada vez menor, por isso devem ser criadas novas fontes de energia.

De acordo com a CESP (2018), o projeto de P&D registrado na Aneel, irá gerar um Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo. Onde serão indicados o potencial de biomassa e a capacidade que esta biomassa tem de gerar energia como por exemplo os dejetos animais, resíduos da agricultura, dentre outros.

Segundo a CESP (2018), São Paulo já tem indicação da potência instalada de 5,7 gigawatts referente a cana-de-açúcar. Por isso o interesse em conhecer o potencial das demais biomassas, o que pode mudar o cenário energético paulista e nacional, a partir do momento que estas informações forem disponibilizadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

“O Atlas da Bioenergia irá identificar as possibilidades por região, por município e por diferentes tipos de biomassa”, afirmou a professora Suani Teixeira Coelho, coordenadora do Atlas de Bioenergia no projeto CESP/ANEEL e coordenadora do Grupo de Pesquisa em Bioenergia (GBIO) do Instituto de Ambiente e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) (CESP 2018).

Outro incentivo do Governo do Estado de São Paulo, vem a partir da PEMC - Política Estadual de Mudanças Climáticas, que estabelece um desafio frente as mudanças climáticas e vem incentivando o uso da biomassa e do biogás no estado de São Paulo a fim de criar uma independência energética.

### 3. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Este capítulo apresenta as tecnologias utilizadas para o tratamento dos resíduos rurais, como os dejetos dos animais, e de que forma o biogás gerado pode ser utilizado.

#### 3.1. PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia ou biodigestão é caracterizada pelo processo de decomposição da matéria orgânica presente no material a ser degradado, na ausência de oxigênio. O processo é subdividido em quatro etapas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, conforme representado na Figura 3.1 e descrito a seguir.

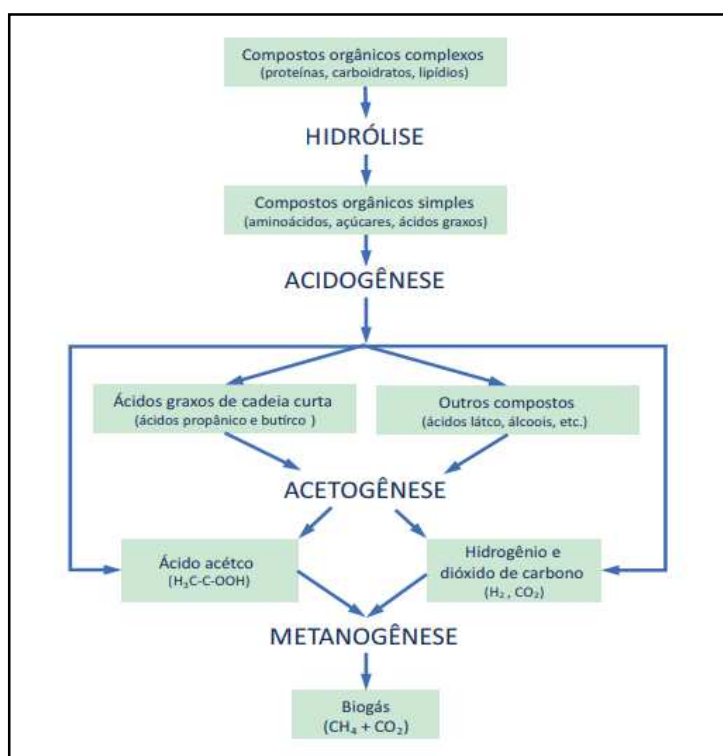


Figura 3.1 - Fluxograma processo de digestão anaeróbia  
Fonte: COELHO, 2018.

#### · Fase 1 - Fase de hidrólise

Nesta primeira fase do processo as bactérias liberam no meio as enzimas que irão promover a hidrólise das partículas, decompondo compostos orgânicos como os carboidratos, proteínas e lipídios e transformando em moléculas menores e solúveis ao meio como os aminoácidos, açúcares e ácidos graxos (COELHO, 2018).

- Fase 2 - Fase Acidogênese

Nesta fase, as bactérias produtoras de ácidos transformam os compostos formados a partir da hidrólise em ácidos orgânicos (ácido láctico, ácido butílico), etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono e outros.

- Fase 3 - Fase Acetogênese

Na terceira fase, as bactérias acetogênicas degradam os produtos obtidos na segunda fase, gerando ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, que são percussores do biogás. Essas bactérias atuam tanto em meio aeróbio como anaeróbio.

- Fase 4 - Fase Metanogênica

Na quarta e última etapa da digestão anaeróbia é onde ocorre a formação do metano. As bactérias metanogênicas, são obrigatoriamente anaeróbias e transformam o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético formados na fase anterior em metano (principal componente do biogás). Estas bactérias são muito sensíveis a mudanças de temperatura e do pH.

As bactérias presentes nestes processos de digestão anaeróbia trabalham de maneira simbiótica, pois se uma das etapas estiver defasada o acúmulo excessivo de certas substâncias afetaria a produção de todas as demais etapas.

Outras alterações que afetam o processo de biodigestão são: a ausência de oxigênio, a composição do material a ser degradado, a temperatura e o pH. Estes itens serão detalhados no item 3.5 deste trabalho.

### 3.2. BIODIGESTOR – ESTADO DA ARTE

No final do século XVII um pesquisador italiano, Alessandro Volta, descobriu um gás inflamável resultante da decomposições de resíduos vegetais presente nos pântanos, o gás metano.

No início do século XIX pesquisadores pelo mundo começaram a estabelecer teorias e experimentos relacionados a digestão anaeróbia, até que no final do século XIX foi projetada a primeira fossa séptica em uma cidade da Inglaterra, onde o gás foi utilizado para iluminar a cidade.

Já o primeiro biodigestor a ser colocado em funcionamento regular foi na Índia durante o início do século XX, na cidade de Bombaim. Durante muitos anos a Índia foi referência neste seguimento, muitos a consideram como o "berço" do biodigestor (Perminio, 2013).

É inegável que a Índia teve uma enorme participação no desenvolvimento desta tecnologia, criando em 1939 a primeira usina de biogás a esterco. Após esta etapa houve uma enorme conscientização da população de como deveriam ser tratados os dejetos afim de obter o biogás e ainda aproveitar o biofertilizante na lavoura. A partir deste trabalho a ideia se multiplicou na Índia e foram construídos aproximadamente 500 mil biodigestores no país.

Já no final do século XX, devido a crise energética em 1973, o biodigestores foi utilizado por muitos países, países ricos e pobres, porém em nenhum deles o biodigestor continuou sendo tão presente quanto na Índia e na China.

Para a China o uso dos biodigestores era uma questão de segurança energética, inicialmente por questão militar. Devido a Guerra Fria, um ataque nuclear paralisaria o país, porém com a implantação de inúmeros biodigestores a geração de energia estaria descentralizada, o que na visão dos chineses seria uma segurança no fornecimento de energia, principalmente para a indústria. O que não aconteceria no caso de um ataque a centrais energéticas, o país não teria energia para suprir a atividade econômica do país, causando uma paralisação geral (Perminio, 2013). Por esse motivo, os primeiros biodigestores têm o nome de modelo indiano e modelo chinês, foram os modelos pioneiros e desenvolvidos nestes países.

### 3.3.DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR

Biodigestor é uma câmara hermeticamente fechada onde o material orgânico é tratado em meio anaeróbio, resultando desta fermentação o biogás e o biofertilizante.

Este processo de fermentação para a formação do biogás é o mesmo empregado para a fabricação de vinho, vinagre, cerveja, dentre outros. Porém algumas bactérias necessitam do oxigênio para fermentar, como é o caso da produção de cerveja e vinagre, e estas bactérias são chamadas aeróbias. Já para o biodigestor são necessárias as bactérias anaeróbias, que só desenvolvem suas

funções em ambientes com ausência de oxigênio. Portanto, a produção de biogás só acontece a partir trabalho destas bactérias anaeróbias (Kunz, 2017).

De acordo com Queiroz (2016), atualmente existem diversos tipos de biodigestor, sendo a grande maioria compostos, basicamente, de duas partes: um tanque para abrigar e permitir que a digestão da biomassa seja processada, e a parte superior com fechamento hermético para o acúmulo do biogás (gasômetro), que deve ser uma manta de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) maleável, exigência da CETESB.

Com relação ao abastecimento, os biodigestores podem receber dois tipos de classificação: pode ser intermitente (batelada) ou contínuo (fluxo diário de biomassa).

O biodigestor modelo batelada opera de maneira bastante simples e exige pouca manutenção, requer cuidado durante o abastecimento e a descarga do material. Este modelo é composto por um ou diversos tanques em série (tanque anaeróbio), onde o tanque é abastecido completamente com material a ser biodigerido, em uma única vez e fechado hermeticamente (Coelho, 2012). O material permanece dentro do tanque durante o período necessário para a completa biodigestão.

Este modelo é comumente usado em locais onde disponibilidade de material ocorre em períodos longos, geralmente em confinamento de gado de corte, granjas, etc. locais onde a biomassa fica disponível após a comercialização dos animais e limpeza do galpão (Deganutti, 2018).

Portanto os biodigestores de batelada operam de forma descontinua, ou seja, o biodigestor é alimentado uma única vez com sua carga total de material orgânico. Após encher o biodigestor, este é fechado hermeticamente (de forma a não permitir a entrada de oxigênio) durante todo o processo de fermentação, este tempo variar de acordo com a biomassa a ser biodigerida, o local de instalação e a carga depositada no biodigestor. No momento em que houver redução na produção de biogás, este será um indício de que o processo está próximo de acabar e que toda matéria orgânica já foi decomposta. Quando chegar a este ponto, deverá ser feita a retirada da matéria (biofertilizante), porém deve permanecer 20 % da matéria orgânica no local, o que irá garantir as fornecimento das bactérias necessárias para a decomposição do próximo material orgânico que será colocado no biodigestor (Oliveira,1993).

Os biodigestores contínuos operam com cargas diárias de biomassa, que se movimentam através do biodigestor pela sua carga hidráulica, deslocando lentamente. A medida que o material entrar, outro deverá sair, mantendo desta maneira a descarga proporcional à entrada, a fim de manter o mesmo nível. Um fator muito importante para este tipo de operação, se refere ao fato da necessidade da matéria orgânica ser diluída antes de ser colocada dentro do biodigestor, seria ainda melhor, triturar o material caso este contenha partes sólidas. O objetivo neste caso seria evitar entupimentos e formação de crostas (Coelho, 2012).

De acordo com Oliveira (1993), uma das principais recomendações para operar um biodigestor é referente a temperatura dentro do biodigestor, esta deve ser mantida o mais constante possível. Caso ocorram grandes variações, poderá haver uma redução brusca no processo de produção do biogás. Em regiões frias é comum isolar o biodigestor das variações climáticas externas, envolvendo-o com lã de vidro, isopor ou outros produtos impermeabilizantes. Já no Brasil, devido ao clima tropical, o simples fato de construí-lo no interior da terra já cumpre essa função, porém isto não é uma regra, cada caso deve ser estudado separadamente. As bactérias que atuam no processo de biodigestão anaeróbia, estão produzindo também o calor necessário para continuarem vivas. Informações detalhadas sobre a temperatura no biodigestor serão apresentadas no item 3.5, em fatores críticos de processo.

Com relação ao material orgânico que irá abastecer o biodigestor deve ser, preferencialmente, na forma líquida, para que não dificulte o processo da digestão anaeróbia e também a produção de biogás. A Tabela 3.1, apresenta a proporção de água que deve ser misturada a matéria orgânica para que haja uma boa degradabilidade do material (Oliveira, 1993).



Tabela 3.1 - Porcentagem de água para diluição do material orgânico

<b>Matéria Orgânica</b>	<b>Proporção da Mistura (kg : litro de água)</b>
Esterco de vaca fresco	1 : 1
Esterco de vaca seco na superfície	1 : 2
Esterco de cavalo	1 : 1
Esterco de ovelha	1 : 3
Restos culturais verdes	1 : 0,5 a 1
Esterco de galinha	1 : 2
Esterco de porco	1 : 1

Fonte: Oliveira (1993)

Para o produtor definir as dimensões do biodigestor a ser construído, primeiro deve ser analisada a quantidade de biomassa disponível em sua propriedade e depois a sua necessidade de produção de biogás.

Segundo Asae (2003), a determinação da produção de dejetos pode ser realizada com base no número de animais. Pode-se utilizar como referência a produção de dejetos que são gerados por kg de animal vivo/dia, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Produção média de dejetos de animal vivo (Em kg/dia)

<b>Tipo de Criação (unidade)</b>	<b>Unidade (kg/dia)</b>
Frango de corte	0,085
Poedeiras	0,064
Gado de leite	0,086
Gado de corte	0,058
Suíno	0,084

Fonte: Asae (2003)

Também de acordo com Asae (2003) o peso médio dos animais é representado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Média de peso dos animais (Em kg)

<b>Tipo de Criação (unidade)</b>	<b>Unidade (kg)</b>
Frango de corte	2,4
Poedeiras	1,6
Gado de leite	430
Gado de corte	450
Suíno	70

Fonte: Asae (2003)

Para calcular a quantidade de dejetos, produzido por animal, basta fazer a multiplicação entre a produção média de dejetos por animal, expressa em kg/dia, pelo peso vivo de cada animal, como apresentado abaixo (Asae, 2003).

Frango de corte:  $0,085 \times 2,4 \text{ kg} = 0,2 \text{ kg}$  dejetos por animal por dia

Poedeiras:  $0,064 \times 1,6 \text{ kg} = 0,1 \text{ kg}$  dejetos por animal por dia

Gado de leite:  $0,086 \times 430 \text{ kg} = 37 \text{ kg}$  dejetos por animal por dia

Gado de corte:  $0,058 \times 450 \text{ kg} = 26 \text{ kg}$  dejetos por animal por dia

Suíno:  $0,084 \times 70 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$  dejetos por animal por dia

Segundo Oliveira (1993), a quantidade de biogás produzido por cada unidade geradora por dia, pode ser calculado, multiplicando a quantidade de esterco produzido diariamente, em kg, pela sua produção em L/kg, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Relação do volume de biomassa com o gás produzido

<b>Tipo</b>	<b>Produção Diária (esterco)</b>	<b>Quantidade de Biogás Produzido na Biodigestão Anaeróbia</b>	<b>Quantidade de Biogás Produzido por Animal</b>
Frango de corte	0,2 kg	62 L/kg	12,4L
Poedeira	0,1 kg	62 L/kg	6,2L
Gado de leite	37 kg	36 L/kg	1332L
Gado de corte	26 kg	36 L/ kg	936L
Suíno	6 kg	78 L/kg	468L

Fonte: Oliveira, 1993.

De acordo com Oliveira (1993) podemos estimar o tamanho do biodigestor através da seguinte fórmula abaixo:

$$TB = V \times TRH \quad (1)$$

Onde:

TB = tamanho do biodigestor (m<sup>3</sup>).

V = vazão diária de dejetos (Nm<sup>3</sup>/dia).

TRH = tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica (que varia dependendo do material a ser tratado e de suas características).

O efluente já biodigerido, ou seja, o efluente tratado que sai do biodigestor é o biofertilizante, este biofertilizante proveniente de dejetos animais (não podemos afirmar o mesmo para o esgoto) não é poluente e apresenta boa qualidade para uso como fertilizante agrícola. Segundo Oliveira (1993), o biofertilizante apresenta os seguintes aspectos:

- Menor teor de carbono do material, pois o processo de biodigestão transforma o carbono em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>;
- Consequentemente com a redução do carbono ocorre o aumento do nitrogênio e demais nutrientes;
- Com o aumento do nitrogênio e redução do carbono na matéria orgânica, melhora as condições para utilização na agricultura. O nitrogênio é essencial no desenvolvimento e crescimento das plantas;
- Melhor eficiência do biofertilizante, devido ao fato do material já estar em alto grau de decomposição; o que facilita a absorção dos nutrientes pelo solo.

Um fator de extrema importância durante o tratamento dos dejetos é a segurança sanitária do processo como um todo, desde a construção até a operação.

A fim de garantir a redução dos riscos durante o processo de biodigestão e a disseminação de micro-organismos nocivos a saúde humana, animal e ambiental, deve obedecer um tempo de retenção hidráulica de 30 dias em sistemas anaeróbios ativos, após esse período, pode usa-lo como fertilizante agrícola (Fávero, 2003). É necessário uma área disponível na propriedade que esteja longe de rios, córregos, poços, nascentes, etc, afim de evitar a contaminação, caso aconteça alguma eventualidade durante o processo.

De acordo com Fávero (2003), deve-se seguir os seguintes critérios, antes de utilizar o biofertilizante no solo:

- Fazer a análise do solo, para determinar a quantidade necessária a ser usada;
- Seguir os parâmetros estabelecidos pela segurança sanitária;
- Não utilizar uma quantidade superior a que o solo pode absorver;
- Utilizar técnicas que preservem o solo;
- Procurar utilizar em espécies que exijam quantidade maiores de nitrogênio (N) e fósforo (P).

Fávero (2003) detalha que os dejetos são formados por multinutrientes, porém estes elementos variam de acordo com o produto utilizado na biodigestão, e em quantidades desproporcionais as que serão absorvidas pelas plantas. Portanto, quando se utiliza os dejetos na adubação do solo, com base nos elementos que são a base da maioria dos fertilizantes N-P-K (nitrogênio – fósforo - potássio), certamente os demais multinutrientes estarão com níveis muito superiores aos que a planta demanda.

Um estudo realizado por Lucas Jr. (2015), onde foram analisados dejetos de vacas leiteiras (biofertilizante) confinadas que foram alimentadas com silagem de milho, cana-de-açúcar in natura e cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem ou cal hidratada e foram encontrados valores médios de 2,52% de nitrogênio (N), 1,71% de fósforo (P) e 1,22% de potássio (K) com base na matéria seca.

Com base nisto, devido ao acúmulo de nutrientes no solo, existe a possibilidade de intoxicação das plantas e de degradação do solo, o que consequentemente poderá escoar até para outros locais, causando poluição das água e do solo.

Áreas que eram consideradas inúteis para o plantio podem se tornar produtivas com a aplicação do biofertilizante, pois além dos nutrientes, muitos acreditam que o biofertilizante melhora o pH do solo. Segundo Barros (2018), o pH médio do biofertilizante gerado pela decomposição de dejetos bovinos é de 7,5, o que significa que é levemente alcalino, e atua como defensivo agrícola, livrando as plantações de pragas, doenças e insetos. No item 3.5, será detalhada a variação do pH no biofertilizante.

Como exemplo, a Tabela 3.5 apresenta a composição e as características do biofertilizante produzido a partir de dejetos bovinos.

Tabela 3.5 - Características do biofertilizante produzido a partir de dejetos bovino

COMPOSIÇÃO	QUANTIDADE %
pH	7,5
Matéria Orgânica	85%
Nitrogênio	1,8
Fósforo	1,6
Potássio	1,0

Fonte: GASPAR, 2003

O pH do biofertilizante é muito favorável ao crescimento dos microrganismos que são essenciais para a fertilidade da terra. Desta maneira, especialistas acreditam que o biofertilizante cria condições para o desenvolvimento dos microrganismos, que são responsáveis por restabelecer a vida no solo, possibilitando o equilíbrio do pH. Portanto, não corrige a acidez da terra e sim possibilita o desenvolvimento e equilíbrio do solo. As plantas onde são empregados o biofertilizante apresentam uma maior resistência contra pragas e doenças, consequentemente as plantas são mais saudáveis e produtivas do que outras que não foram tratadas com o biofertilizante

De acordo com Lucas Jr. (2010), o biofertilizante gerado a partir dos dejetos de bovinos leiteiros, devem permanecer no biodigestor por no mínimo 42 dias para eliminar o parasita *Fasciola hepatica* presente nos dejetos, deste modo não haverá qualquer risco à saúde animal ou humana. E com relação ao número de coliformes no efluente, Lucas Jr. (2010), verificou que a partir de 60 dias de tempo de retenção hidráulica não há risco do efluente ser lançado nos rios classe 2, que são destinados a irrigação, a aquicultura e recreação primária, o valor seria inferior a 1.000 coliformes para 100 ml de efluente. Estes fatores agregam valor e segurança a produção e sem causar prejuízos ao meio ambiente.

Outro experimento realizado por Lucas Jr. (2010), constatou que os bovinos leiteiros tratados com 40% de volumoso (capim, forrageira) e 60% de concentrado (ração) apresentaram um aumento de até 23% na produção de biogás, quando comparado com animais tratados com maiores índices de volumoso.

De acordo com Barros (2018), além de não propagar mau cheiro e não ser poluente, a obtenção dos biofertilizantes não apresenta custo quando comparado aos fertilizantes químicos, pois são obtidos diretamente após a digestão anaeróbia

(biodigestor). Além disso, pode representar uma importante fonte de renda alternativa ao proprietário, substituindo parcial ou totalmente os adubos químicos.

### 3.4. TIPOS DE BIODIGESTOR

No Brasil existem diversos modelos de biodigestores disponíveis para o tratamento anaeróbio de biomassa, como os dejetos animais. São eles: indiano, chinês, lagoa coberta, CSTR e UASB.

Os itens a seguir apresentam o detalhamento desses biodigestores.

#### 3.4.1. Modelos indiano e chinês

O modelo Indiano possui uma campânula móvel utilizada como gasômetro, onde o biogás produzido fica retido para posterior utilização. Este modelo de biodigestor também conta com uma parede divisória para melhor recirculação do resíduo, conforme apresenta a Figura 3.2.

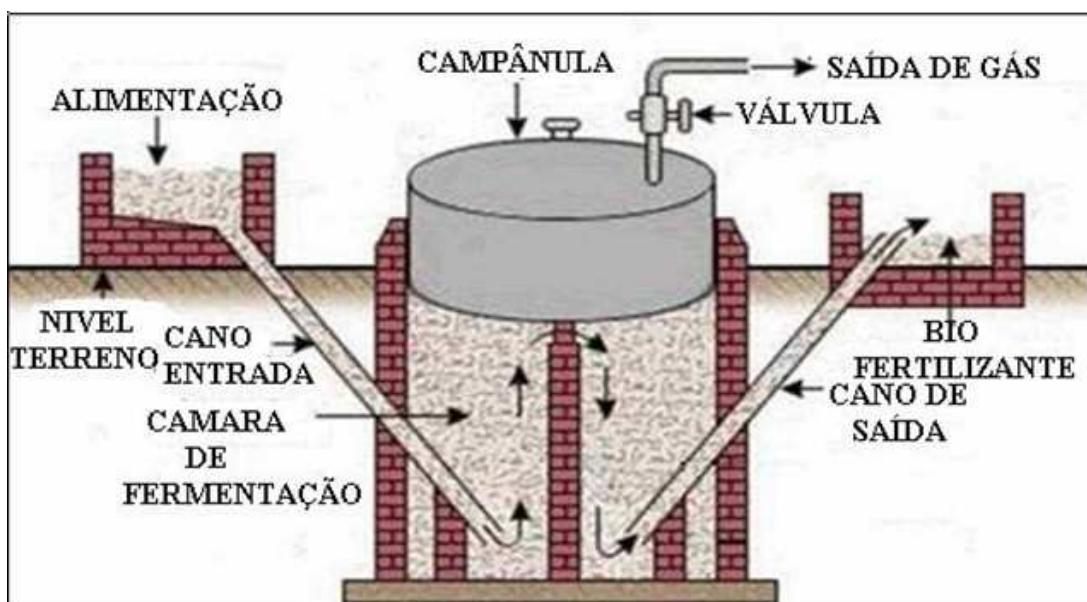


Figura 3.2 - Biodigestor modelo indiano  
Fonte: Silva, 2014.

O modelo Chinês é constituído por uma câmara cilíndrica para biodigestão do resíduo e teto impermeável para retenção de biogás (gasômetro, que neste caso não é móvel), conforme apresentado na Figura 3.3.

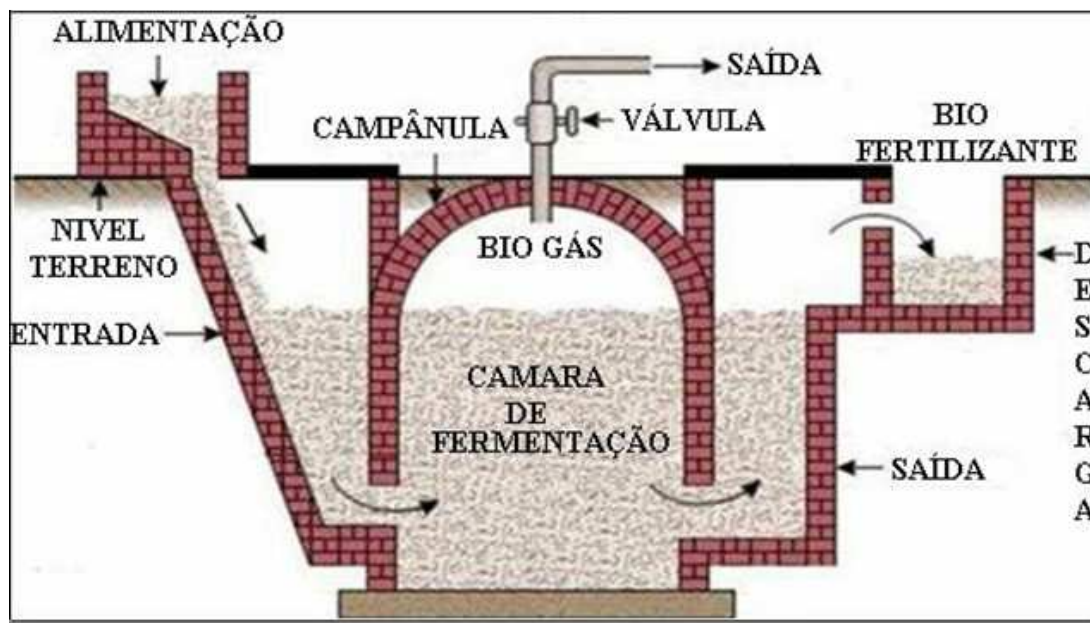


Figura 3.3 – Biodigestor modelo chinês  
Fonte: Silva, 2014.

De acordo com Gaspar (2003) o biodigestor chinês é todo feito em alvenaria e requer cuidados redobrados para a construção da câmara onde a biomassa ficará durante o período de biodigestão e da câmara superior (campânula) para retenção do biogás. Para a construção da campânula deve ser realizado o assentamento dos tijolos sem a utilização de escoras, sendo o próprio peso do tijolo o responsável por mantê-lo na posição exata.

Para Gaspar (2003), o mais difundido no Brasil foi o modelo indiano, que consiste em um buraco no chão semelhante a um poço, onde é depositada a biomassa para a biodigestão. A parte superior utilizada para o armazenamento do biogás é constituída por uma tampa cônica flutuante que regula a pressão de saída do biodigestor. Em ambos os modelos as paredes externas e internas obrigatoriamente devem ser impermeabilizadas para impedir que o biofertilizante infiltre na terra e também para impedir que a água da chuva infiltre no biodigestor. Além de garantir uma maior resistência mecânica para o sistema.

Gaspar (2003) explica que o modelo indiano é mais versátil que o modelo chinês, por exemplo, sua construção não pré-estabelece medidas, que podem variar de acordo com a necessidade de cada situação, mas sempre observando a relação entre a capacidade do biodigestor e da campânula, conforme apresentado nas Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.6 - Biodigestor com pouca profundidade

Biodigestores com pouca profundidade			
Capacidade do tanque digestor (em Nm <sup>3</sup> )	Dimensões do tanque digestor (diâmetro x m)	Dimensões da campânula	
		Clima frio/temperado (diâmetro x m)	Clima tropical (diâmetro x m)
8 Nm <sup>3</sup>	2,00 x 2,60	1,80 x 1,10	1,80 x 2,30
10 Nm <sup>3</sup>	2,20 x 2,70	2,00 x 1,10	2,00 x 2,50
12 Nm <sup>3</sup>	2,35 x 2,80	2,15 x 1,10	2,15 x 2,50
15 Nm <sup>3</sup>	2,53 x 3,00	2,33 x 1,20	2,33 x 2,50
18 Nm <sup>3</sup>	2,70 x 3,15	2,50 x 1,20	2,50 x 2,60
Relação biomassa/biogás		2,4:1 Nm <sup>3</sup>	1:1 Nm <sup>3</sup>

Fonte: Gaspar, 2003

Tabela 3.7 - Biodigestor com maior profundidade

Biodigestores com maior profundidade			
Capacidade do tanque digestor (em Nm <sup>3</sup> )	Dimensões do tanque digestor (diâmetro x m)	Dimensões da campânula	
		Clima frio/temperado (diâmetro x m)	Clima tropical (diâmetro x m)
8 Nm <sup>3</sup>	1,70 x 3,60	1,50 x 1,50	1,50 x 3,30
10 Nm <sup>3</sup>	1,85 x 3,80	1,65 x 1,50	1,65 x 3,40
12 Nm <sup>3</sup>	1,97 x 4,00	1,77 x 1,55	1,77 x 3,55
15 Nm <sup>3</sup>	2,10 x 4,40	1,90 x 1,60	1,90 x 3,80
18 Nm <sup>3</sup>	2,20 x 4,80	2,00 x 1,75	2,00 x 4,10
Relação biomassa/biogás		2,4:1 Nm <sup>3</sup>	1:1 Nm <sup>3</sup>

Fonte: Gaspar, 2003

Conforme apresentado nas Tabelas 3.6 e 3.7, o modelo indiano apresenta grande flexibilidade de construção, porém em regiões de clima tropical a produção de biogás é muito superior, 2,4 vezes a produção gerada em regiões de clima temperado. Segundo Gaspar (2003), uma forma encontrada para contornar esta desvantagem seria o aquecimento da água para a pré mistura, deste modo não haveria alteração significativa da temperatura quando material fosse colocado dentro do biodigestor. Este procedimento implicaria em um rendimento muito semelhante ao da região tropical, relação de 1 m<sup>3</sup> de biomassa para 1 Nm<sup>3</sup> de biogás produzido.

A Tabela 3.8, apresenta um resumo comparativo entre os dois modelos.



Tabela 3.8 - Comparação de características de construção do biodigestor

<b>SISTEMA CHINÊS</b>	<b>SISTEMA INDIANO</b>
<b>MATERIAIS</b>	
Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento e ferro	
<b>SISTEMA</b>	
Abastecimento periódico, esvaziamento não-periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
<b>POSSIBILIDADE DE AUTO-INSTALAÇÃO</b>	
Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.
<b>ISOLAMENTO TÉRMICO</b>	
Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estábulos	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
<b>PERDAS DE GÁS</b>	
A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não porosos, difícil obter construção estanque.	Sem problemas
<b>MATÉRIAS PRIMAS USADAS</b>	
Esterco e outros restos orgânicos, incluindo materiais fibrosos, excrementos humanos.	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivo.
<b>PRODUTIVIDADE</b>	
Tempo de digestão: 40-60 dias. Produção de 150 a 350 l por m <sup>3</sup> do volume do biodigestor/dia. Se for perfeitamente estanque pode produzir até 600 l/m <sup>3</sup> dia.	Tempo de digestão: 40-60 dias. Produção 400 a 600 l/m <sup>3</sup> /dia.
<b>MANUTENÇÃO</b>	
Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
<b>CUSTO</b>	
Razoável se for possível a ajuda mútua	Mais caro (depende do custo da campânula).
<b>MELHORIAS POSSÍVEIS</b>	
Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Fonte: Gaspar, 2003

Estes biodigestores, modelos indiano e chinês, possuem baixo nível tecnológico e não necessitam de controles de operação sofisticados, são de alimentação semicontínua, de baixo custo e atendem a população de baixa renda (Coelho, 2018).

### **3.4.2. Modelo lagoa coberta**

O biodigestor tipo lagoa coberta também pode receber o nome de LAFA (Lagoa Anaeróbia de Fluxo Ascendente).

O biodigestor modelo lagoa coberta, consiste em escavar um buraco no chão que recebe uma manta impermeabilizante a fim de não haver contaminação do solo durante o processo de biodigestão. A lagoa é coberta com uma manta, geralmente de material de alta densidade, o PEAD que atualmente é uma exigência da CETESB, para o armazenamento do biogás (gasômetro). Este tipo de biodigestor é construído na horizontal e de forma retangular, com largura sempre maior que a profundidade, proporcionando, portanto, uma área maior de exposição ao sol (Agrha, 2017).

Esse tipo de biodigestor diferentemente do que ocorre no tipo batelada, apresenta a alimentação de material orgânico de forma contínua, tendo uma produção de biogás e biofertilizante constante.

De acordo com Agrha (2017), durante a operação do biodigestor lagoa coberta, o material orgânico a ser inserido deve ser sempre diluído, a fim de facilitar a movimentação interna no biodigestor. Este modelo é o mais utilizado em regiões de clima tropical, pois a temperatura ambiente ajuda a manter a temperatura interna do biodigestor em condições ideais para a produção do biogás. Estas características relacionadas ao aquecimento são intensificadas por este possuir o comprimento muito superior a profundidade, o que se traduz em uma grande área de exposição direta ao sol. Consequentemente, a temperatura interna aumenta proporcionalmente, beneficiando a produção do biogás. Por apresentar uma profundidade consideravelmente reduzida, sua instalação se torna mais rápida e não apresenta restrições quanto ao tipo de solo onde será construído.

Segundo Agrha (2017) outra vantagem desse modelo de biodigestor esta relacionado a limpeza, por ser coberto apenas com uma manta isto facilita muito na manutenção interna, quando comparado aos sistemas chinês e indiano, onde a construção é toda de alvenaria.

Devido esta tecnologia apresentar características interessantes do ponto de vista custo-benefício, este modelo de biodigestor está sendo muito difundido e utilizado em propriedades rurais em todo o Brasil, apresentando um alto rendimento,

baixo custo e principalmente uma fácil operação, o que contribuiu muito para a sua disseminação.

Para se construir um biodigestor modelo lagoa coberta é importante observar que a localização do biodigestor deve estar próxima ao local (curral) de onde serão encaminhados os dejetos a fim de facilitar o abastecimento diário (por gravidade), caso esteja distante, o custo de transporte deste material diariamente acaba inviabilizando o projeto. Outro ponto importante é não apenas o fácil acesso para o abastecimento, mas também para a remoção do biofertilizante gerado.

A Figura 3.4 apresenta o modelo de um biodigestor do tipo lagoa coberta.



Figura 3.4 - Biodigestor modelo lagoa coberta  
Fonte: Coelho, 2012

Para Gomes (2016), a maior dificuldade encontrada neste sistema, é a manutenção, a retirada da lona para executar qualquer serviço é um grande problema devido a maioria das lonas serem as mais simples e rasgarem facilmente. O controle da pressão é feito através de válvula.

Existe também o modelo lagoa otimizada, a diferença para a de modelo mais simples é a maior eficiência durante o processo de biodigestão. Este modelo de lagoa segundo Gomes (2016) conta com misturadores conforme Figura 3.5, com a finalidade de homogeneizar o material; e até sistemas com trocadores de calor e

aquecedores, afim de garantir a estabilidade da temperatura no sistema. Podem ser considerados uma alternativa aos reatores CSTR, porém neste caso não há a possibilidade de isolar a lagoa termicamente, como ocorre com o CSTR.



Figura 3.5 - Biodigestor modelo lagoa coberta  
Fonte: ECAM, 2018

Na prática, o modelo lagoa coberta por apresentar um bom custo benefício, é o modelo mais utilizado nas propriedades rurais do Brasil.

### **3.4.3. Modelo CSTR**

O biodigestor modelo CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) ou Reator Contínuo de Mistura Completa (reator perfeitamente agitado).

O CSTR é um biodigestor de fluxo ascendente, sendo o material a ser biodigerido alimentado na parte inferior e posteriormente descartado após a passagem pelas placas defletoras localizadas no topo do biodigestor, onde ocorre a separação entre a parte líquida e a gasosa.

De acordo com Gomes (2016) este modelo é indicado para tratamento de substrato mais densos, com concentração de sólidos de 15%, tendo característica

liquida à pastosa, como o dejetos de animais, resíduos da agropecuária ou agroindústria que apresentam boa degradabilidade e tratamento de lodo de ETEs.

Gomes (2016), explica que existem duas versões do biodigestor CSTR:

- Versão básica: utilizada exclusivamente para tratar dejetos de animais. Apresenta uma construção, operação e manutenção mais simples.

- Versão avançada: utilizada para substratos complexos com altas cargas orgânicas. Apresenta uma certa complexibilidade em sua construção, tem um misturador central possuindo maior altura. O que encarece o projeto e o custo de manutenção.



Figura 3.6 - Biodigestor CSTR  
Fonte: Gleysson, 2017



Figura 3.7 - Biodigestor CSTR interno  
Fonte: Gleysson, 2017

Neste modelo, em alguns casos pode haver a necessidade de realizar pré-tratamento dos resíduos como: diluição, a fim de obter uma mistura pastosa; triagem e, caso existam resíduos com tamanhos variados, é necessária a trituração. Todas estas etapas definem um único objetivo que seria homogeneizar os resíduos e igualar o tamanho das partículas, evitando que sejam formadas áreas com maior concentração do material que está sendo biodigerido no reator (Gleysson, 2017).

Para Gleysson (2017), este modelo tem tempo de retenção hidráulica (TRH) geralmente acima de 20 dias, dependendo da temperatura e degradabilidade do substrato a ser tratado.

#### **3.4.4. Modelo UASB**

O biodigestor modelo UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) também é conhecido como RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente).

Assim como o biodigestor CSTR, o modelo UASB também é um reator de fluxo ascendente, com entrada do substrato a ser digerido pela parte inferior e saída do biogás na parte superior.

Este modelo é o mais utilizado no Brasil para o tratamento de esgoto em ETE's (Estação de Tratamento de Efluente), mas também pode ser utilizado para o tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e para os resíduos rurais com alta degradabilidade (Coelho, 2018).

O modelo UASB, conforme apresentado na Figura 3.8, representou uma verdadeira evolução no quesito biodigestão, pois nenhum outro biodigestor apresentava um tempo de retenção de algumas horas.



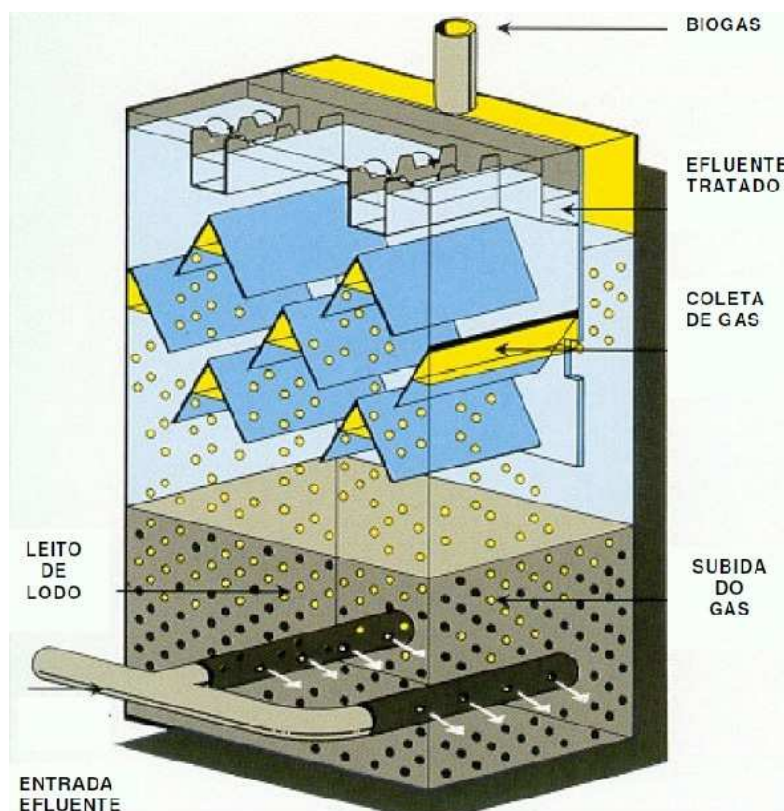


Figura 3.8 - Biodigestor UASB  
 Fonte: Paques, 2018

No início de operação esse biodigestor opera com uma pequena vazão, até as bactérias crescerem e se proliferarem em seu interior, formando grânulos que decantam no fundo. Estes começam a se acumular, formando uma espessa camada de lodo cheia de bactérias. A partir desse momento a vazão pode ser aumentada até o valor pré-determinado no projeto, tendo em vista que devido ao tamanho e peso da "manta de bactérias" esta não sairá do reator, o que resulta no aumento da velocidade do processo, já que a densidade de bactérias no lodo é extremamente elevada.

Um fator determinante na operação deste biodigestor é a capacitação do pessoal que irá operar, pois quando o processo não é executado corretamente, o sistema tem grande chance de falhar. O processo de formação da "manta de lodo" não é uma tarefa simples, exigindo conhecimento e experiência na área microbiológica (Lettinga, 1980).

Este modelo de biodigestor além de possuir pequena altura do reator devido a alta eficiência do seu processo, possuem múltiplos exaustores de gás para promover a separação do biogás, o que resulta no aumento da relação gás / água, reduzindo a turbulência interna no biodigestor (Paques, 2018).

### 3.5. FATORES CRÍTICOS DO PROCESSO

Para o bom funcionamento do biodigestor alguns fatores devem ser seguidos, afim de que não haja redução ou alteração durante o processo de biodigestão. A seguir serão detalhados os principais fatores que podem influenciar no processo:

- Ausência de oxigênio no processo: o desenvolvimento das bactérias metanogênicas é viabilizado apenas em ambientes anaeróbios, pois a decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio produz apenas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), enquanto em ambiente anaeróbio as bactérias produzem o gás metano (Coelho, 2018).

- Temperatura adequada durante o processo de biodigestão: a temperatura interna do biodigestor é fator determinante para a produção do biogás. Variações na temperatura causam queda na produção devido as bactérias serem sensíveis a alterações de temperatura do substrato, principalmente as bactérias metanogênicas. De acordo com Coelho (2018), os processos da biodigestão podem ser classificados de acordo com a temperatura:

Psicrofílicos: operam abaixo de  $20^\circ\text{C}$ , utilizando bactérias psicrofílicas;

Mesofílicos: operam na faixa de 20 a  $45^\circ\text{C}$ , utilizando bactérias mesofílicas;

Termofílicos: operam entre 45 a  $60^\circ\text{C}$ , utilizando bactérias termofílicas.

Com base nestas informações, as variações de temperatura alteram as características das bactérias que decompõem o substrato, interferindo na produção do biogás. Processos abaixo de  $10^\circ\text{C}$  e acima de  $65^\circ\text{C}$  tem a produção interrompida, isto reforça a ideia de que para apresentar um bom rendimento o biodigestor deve apresentar estabilidade em sua temperatura (Coelho, 2018).

- Nutrientes: determinam as características do material a ser biodigerido e é muito importante para determinar a eficiência do processo. Os principais nutrientes do substrato são o carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação muito importante é a proporção de material orgânico no substrato a ser tratado, quanto maior a proporção, maior será a produção de biogás (Coelho, 2018). Porém o



volume de água é determinado pelo material a ser biodigerido, tanto o excesso quanto a falta de água é prejudicial para o processo.

- A alcalinidade do meio: o pH do meio é um fator fundamental para atuação das bactérias. A alcalinidade é a quantidade de carbonato na mistura (proveniente do CO<sub>2</sub>) que é gerada durante o processo de digestão anaeróbia. Segundo Coelho (2018), durante as primeiras etapas do processo as bactérias hidrolíticas e acidogênicas, necessitam de um pH entre 5,2 a 6,3 para desenvolverem suas funções. Após estas etapas, no final do processo as bactérias acetogênicas e metanogênicas necessitam de um pH neutro variando entre 6,5 e 8 (LEBUHN et al., 2008). Ou seja para um bom processo de biodigestão deve-se respeitar estas faixas de pH.

Com base nestas informações e com o correto tratamento anaeróbio dos resíduos pode-se evitar diversos danos ao meio ambiente, social e econômico, além do aproveitamento do biogás. Por isso, deve ser escolhido com atenção o local onde será instalado o biodigestor, obedecendo sempre as boas práticas de construção, operação e manutenção do sistema.

#### **4. BIOGÁS PROVENIENTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS BOVINOS**

O biogás é uma mistura de gases que é composta principalmente pelos gases metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

O biogás pode ser utilizado para diferentes fins energéticos, como: geração de energia elétrica, geração de energia térmica, além de substituição de gás natural. Entretanto, o objeto de estudo deste trabalho é analisar o aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento anaeróbio dos dejetos bovinos.

Durante o desenvolvimento do estudo de caso referente ao tratamento de dejetos provenientes de bovinos de leite, bem como de aproveitamento do biogás produzido no processo (apresentado no próximo capítulo deste trabalho) foram analisados os pontos positivos, tais como viabilidade técnico-econômica, recursos disponíveis de matéria-prima, entre outros; e os pontos negativos, tais como problemas com estabilidade do processo de biodigestão anaeróbia, entre outros.

Segundo Barros (2018), o biogás pode ser considerado uma alternativa energética muito interessante para o futuro, tendo em vista a crescente demanda, a redução da oferta e cada vez mais o alto custo de fontes energéticas como o petróleo.

No Brasil, a grande maioria dos produtores não fazem o correto tratamento dos dejetos, por não terem conhecimento da contaminação que os dejetos descartados livremente causam não apenas ao meio ambiente, mas também a saúde da população.

Em vista desse problema e também da deficiência energética do país, a biodigestão anaeróbia surge como opção energética de aplicação imediata onde, além da obtenção de biogás que pode ser utilizado como combustível, o processo também fornece o biofertilizante, que pode substituir fertilizantes químicos. Além disso, o correto tratamento dos dejetos é uma via adequada para o saneamento ambiental (Kozen, 2000).

O biogás é um gás inflamável inodoro e incolor, produzido por microrganismos durante a biodigestão anaeróbia de matéria orgânica, respeitando determinadas faixas de temperatura, umidade e acidez, conforme citado anteriormente. A Tabela 4.1 apresenta a composição média do biogás, que pode variar de acordo com o tipo de substrato biodigerido e de suas características.

Tabela 4.1 - Composição média do biogás

TIPO DE GÁS	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS EM %
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 70
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	30 a 45
Nitrogênio (N)	Traços a 3
Hidrogênio (H)	Traços a 2
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	Traços a 1

Fonte: GASPAR, 2003

A transformação do gás metano (CH<sub>4</sub>) em gás carbônico (CO<sub>2</sub>), através da sua queima, reduz em 21 vezes os efeitos nocivos da poluição da camada de ozônio (Coelho, 2018).

Com relação ao seu peso comparado ao ar, o metano é pouco mais da metade do peso do ar, conforme relação abaixo:

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ de metano} / 1 \text{ Nm}^3 \text{ de ar} = 0,716 \text{ Kg} / 1,293 \text{ Kg} = 0,554 \text{ Kg}.$$

A porcentagem de metano no biogás depende do material utilizado em sua produção. O poder calorífico do biogás pode variar entre 20900 a 29260 kJ/Nm<sup>3</sup>, dependendo da quantidade de metano presente (Brondani, 2010). Porém através do processo de purificação do biogás, onde há a remoção do CO<sub>2</sub> que proporcionalmente diminui a densidade relativa do gás, ocorre o aumento do poder calorífico até 50160 kJ/Nm<sup>3</sup>. Este é considerado o processo mais importante para transformar o biogás em biometano, que apresenta características semelhantes ao gás natural (Coelho, 2018).

Na Tabela 4.2 é apresentado um comparativo entre diferentes fontes energéticas e o seu equivalente em biogás.

Tabela 4.2 - Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás

Fonte energética	Equivalências			Biogás Nm <sup>3</sup>
	L	kg	kWh	
Gasolina	1,00	-	-	1,63
Óleo diesel	1,00	-	-	1,8
Querosene	1,00	-	-	1,73
Gasolina de avião	1,00	-	-	1,58
Óleo combustível	1,00	-	-	2,00
Petróleo médio	1,00	-	-	1,81
Álcool combustível	1,00	-	-	1,26
GLP	-	1,00	-	2,20
Lenha	-	1,00	-	0,65
Carvão vegetal	-	1,00	-	1,36
Xisto	-	1,00	-	0,29
Energia elétrica	-	-	1,00	0,70

Fonte: IPEA, 2012

O biodigestor transforma matéria orgânica em biogás e biofertilizante.

A Tabela 4.3 apresenta as estimativas de quantidades de dejetos necessárias para a produção de 1 Nm<sup>3</sup> de biogás.

Tabela 4.3 - Capacidade de geração de 1 Nm<sup>3</sup> de biogás

MATERIAL	QUANTIDADE NECESSÁRIA
Esterco fresco de vaca	25 kg
Esterco de suíno	12 kg
Esterco seco de galinha	5 kg
Resíduos vegetais	25 kg
Lixo	20 kg

Fonte: BARRERA, 1993

Este gás metano que está presente no biogás, quando liberado diretamente para a atmosfera, tem uma importante participação na poluição ambiental, causando o efeito estufa, pois seu contato com o oxigênio do ar produz uma queima incompleta que gera o monóxido de carbono (CO).

Segundo IPEA (2012), o Brasil possui 316,9 bilhões de tonelada de dejetos de gado leiteiro, o que representa 11,7 milhões de Nm<sup>3</sup> de biogás por ano. Tamanho potencial representa uma potência elétrica gerada de 8.190 MW por ano, apenas fazendo referência com o gado leiteiro.

Por tanto, verifica-se a importância na implantação de biodigestores nas propriedades rurais no país inteiro, para que além do correto tratamento dos dejetos

animais, seja realizado e aproveitado o biogás, minimizando os impactos ambientais e trazendo benefícios para as pessoas que vivem no local, como por exemplo: utilização do biogás para cocção, aquecimento, como combustível em motores de combustão interna (geradores), para secagem de grãos, entre outros. Além do biogás também teria a produção de biofertilizante, que poderia substituir os fertilizantes químicos, trazendo benefícios ao solo.

O próximo capítulo apresenta uma análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento anaeróbio dos dejetos, bem como do sistema de aproveitamento energético do biogás, em pequena propriedade rural, objeto de estudo deste trabalho.

## 5. ESTUDO DE CASO EXPERIMENTAL – APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS

O estudo de caso apresentado neste trabalho refere-se ao aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento anaeróbio dos dejetos de bovinos de leite em pequena propriedade rural.

A propriedade em questão está localizada no bairro Campo Grande - Ponanduva, Cajamar (SP) e possui quatro vacas leiteiras e três bezerros.

### 5.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo experimental referente ao processo de tratamento dos dejetos e consequente produção de biogás, foram utilizados os seguintes materiais: água, tambores, sacos plásticos de lixo (100 L), válvulas de água, saco plástico 80x120 cm, mourão, pontalete, ripas, arame liso, câmara de pneu usada e plástico para fazer a estufa.

A matéria-prima utilizada foi o esterco dos bovinos, criados em sistema de semi-confinamento, onde a coleta do esterco se restringe ao período noturno, no local onde os animais permanecem no período das 18:00 - 07:00.

Para realização do experimento, o tambor com os dejetos foi enterrado no solo com o objetivo de utilizar a terra como isolante térmico e manter a temperatura dentro do tambor constante, tendo em vista que a temperatura média no período do experimento estava em torno de 25°C durante o dia e 12°C durante a noite.

A montagem e preparo do processo seguiu o seguinte procedimento:

Escavação do solo: primeiramente foi realizada a escavação do solo a fim de se obter o espaço necessário para a colocação do tambor, utilizado como biodigestor;

Preparo do tambor: o tambor foi envolto em manta bidim<sup>1</sup> com o objetivo de funcionar como isolante térmico e dentro do tambor foi colocado o saco plástico de 100 litros para receber os dejetos;

Preparo dos dejetos: os dejetos coletados das vacas leiteiras e dos bezerros disponíveis na propriedade (aproximadamente 50 kg) foram adicionados no saco de

---

<sup>1</sup> Manta bidim - manta resistente e permeável, é utilizada para drenos subterrâneos. Se assemelha ao feltro porém é muito mais resistente. É composta de material sintético proveniente da reciclagem de garrafas PET.

lixo dentro do tambor (Figura 5.1). Posteriormente foram misturados com água a fim de obter a homogeneização necessária para o processo de biodigestão anaeróbia (Figura 5.2). Foram adicionados 50 litros de água aos dejetos, ou seja, relação 1:1 (1 litro de água para cada kg de dejetos), conforme indicado na Tabela 3.1 deste trabalho. O saco foi fechado para proporcionar um ambiente anaeróbio.



Figura 5.1 – Dejetos dentro do saco plástico  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018



Figura 5.2 – Homogeneização dos dejetos  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018

Preparo do gasômetro: um saco plástico com a função de um gasômetro foi conectado ao saco de lixo contendo os dejetos por meio da válvula de água. As amarrações foram feitas com pedaço de borracha (câmara de ar) e toda vez que se iniciava o processo, todo o ar contido no sistema era retirado ao máximo possível. A válvula permaneceu aberta durante o processo de biodigestão dos dejetos para a passagem do biogás produzido. Ao esgotar a capacidade do saco utilizado como gasômetro, este era substituído por outro. Para fazer esta substituição a válvula foi fechada para que não houvesse vazamento do gás e nem infiltração de ar no gasômetro.

Cobertura do tambor: após os procedimentos anteriores, o tambor foi colocado no buraco escavado e coberto com terra, permanecendo para fora somente a tubulação, a válvula e o saco utilizado como gasômetro.

Produção do biogás: observou-se grande variação na produção de biogás durante as 3 primeiras semanas de experimento, devido as condições climáticas, como chuva, sereno durante a noite e queda da temperatura ambiente durante um período da semana. A manta bidim ficou úmida e reduziu ainda mais a temperatura



da mistura. Por ser um volume pequeno as condições externas ao tambor são fundamentais para a produção do biogás.

No processo foram utilizados apenas 50 kg de esterco por semana, apesar de esta ser a produção diária. Todo o procedimento descrito acima foi realizado uma vez por semana, durante um período de 6 semanas. O período de 6 semanas foi adotado de acordo com dados que foram apresentados durante o trabalho, este seria o tempo necessário para que o processo de digestão anaeróbica estivesse concluído. Para analisar a eficiência do tratamento e identificar se o resíduo foi realmente tratado nesse período de tempo, seria necessário realizar análises físico químicas do resíduo antes e após o processo de biodigestão. Porém isso geraria custos e este não era o objetivo inicial do trabalho.

Na prática a partir da quinta semana houve um decréscimo na produção do biogás, informação a partir de verificação visual, redução do volume do saco onde fica armazenado o biogás.

O experimento foi realizado no período de 21 de abril à 07 de julho. O carregamento do biodigestor com a carga orgânica e a retirada do resíduo biodegradado são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Carga e descarga dos biodigestores

Biodigestores	1	2	3	4	5	6
Carga	21/04	28/04	05/05	12/05	19/05	26/05
Descarga	02/06	09/06	16/06	23/06	30/06	07/07

Fonte: Própria - Experiência prática, 2018

Para a descarga dos biodigestores o primeiro foi dia 02 de junho, uma semana após o sexto biodigestor ter sido cheio, a ideia nesta etapa seria fazer a descarga do primeiro e recarregar novamente afim de que o sistema seja contínuo.

## 5.2. DIFICULDADES ENCONTRADAS E ALTERAÇÕES NO SISTEMA

No decorrer da quarta semana de experimento, devido à grande variação na produção do biogás (produção muito inferior as três semanas anteriores), foi necessário alterar o processo. Para proteger o sistema de intempéries climáticas e

continuar com o aproveitamento térmico do sol, foi construída uma estufa com a dimensão de 4 X 4 m (Figuras 5.3 e 5.4) para abrigar o sistema.



Figura 5.3 – Construção da estufa  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018



Figura 5.4 – Estufa terminada  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018

A estufa foi construída voltada para a face norte e foi coberta com plástico transparente na parte superior e em três lados com o objetivo de aumentar a temperatura interna. O outro lado, face leste, foi colocado plástico preto com intuito de absorver calor nas primeiras horas do dia para elevar a temperatura, pois a região tem grande queda de temperatura durante a noite, por ser região montanhosa.

Este procedimento proporcionou a proteção do sistema contra chuva e demais intempéries, além de estabilizar a temperatura. Portanto a partir da quarta semana, a temperatura interna aumentou substancialmente, passando de 26°C para 35°C durante o dia e 14°C para 19°C durante a noite, foram feitas três medidas, estes foram os valores médios obtidos. Não foi medido nenhum dia em que estivesse chovendo, o que certamente teria um valor inferior aos apresentados.

Na quinta e sexta semana o processo foi o mesmo das semanas anteriores, porém os tambores não foram colocados nos buracos escavados no solo; eles ficaram dentro da estufa sob o solo, conforme apresentado na Figura 5.4. Estes dois biodigestores apresentaram produção de biogás superior aos demais (aproximadamente 50% a mais durante o período do experimento). Provavelmente este fato ocorreu em função da temperatura da mistura estar superior as demais. Não foi possível medir a temperatura, porém pelo tato era notável a diferença.

### 5.3. RESULTADOS OBTIDOS

A produção estimada de biogás por ciclo de 6 semanas foi de aproximadamente 1,5 Nm<sup>3</sup> por tambor (50 kg esterco + 50 litros de água).

É importante salientar que este valor é estimado, não tem precisão e sabemos que o Nm<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,554 Nm<sup>3</sup> de ar, por isso foi considerado como base de cálculo o volume do saco plástico (800x1200 mm), que transformado em um cilindro de raio 400 mm e altura de 1000 mm (200mm seria para amarrar) caberia um volume aproximado de 0,5 Nm<sup>3</sup> a pressão atmosférica. Para obter a quantidade exata de biogás produzido, seria necessário adquirir um medidor de vazão, porém não foi adquirido devido ao custo de R\$360,00 (valor consultado, julho 2018) o valor representaria 84% do valor total da unidade experimental.

Os três primeiros tambores tiveram a produção de 0,5 - 1,0 Nm<sup>3</sup> por saco durante os 42 dias, provavelmente devido aos problemas encontrados no início do

experimento. O quarto tambor teve produção de 1,0 - 1,2 Nm<sup>3</sup> e o quinto e sexto tambores tiveram produção de aproximadamente 1,5 Nm<sup>3</sup>.

Para o teste de combustão, foi realizado o seguinte procedimento:

Remoção do saco plástico utilizado como gasômetro: o saco plástico contendo o biogás foi removido do sistema;

Transporte do gasômetro: o gasômetro foi transportado para um ambiente com pouca luz, com o objetivo de facilitar a visualização da queima do biogás;

Retirada e queima do biogás: para retirar o biogás de dentro do saco plástico foi utilizada uma mangueira fina, cuja extremidade de saída do gás para sua queima foi reduzida com arame, a fim de restringir ainda mais a passagem do gás.

Pressurização: o saco plástico foi pressurizado com a mão com o objetivo de expelir o gás pela mangueira.

Queima do biogás: o biogás foi queimado e houve variação na chama, proporcionalmente à pressão exercida no saco plástico.

Após a queima do biogás, realizada com sucesso, foi verificado que a combustão apresentou uma chama azul na maior parte do tempo, o que demonstra o baixo índice de impurezas no biogás produzido, conforme apresentado nas Figuras 5.5 e 5.6.



Figura 5.5 – Queima do gás 1  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018



Figura 5.6 – Queima do gás 2  
Fonte: Própria - Experiência prática, 2018

#### 5.4. USOS FINAIS DO BIOGÁS

Na propriedade estudo de caso este biogás teria como principal objetivo o uso para cocção ou para acionar um pequeno gerador, cuja energia seria utilizada para ligar a bomba de água que abastece a propriedade e para pequenas cargas como lâmpadas e geladeira.

Entretanto, devido à baixa quantidade de biogás produzido no experimento, sua utilização seria apenas para cocção, conforme discutido adiante, pois não existe disponível comercialmente grupo gerador que atendesse as necessidades do projeto.

Para utilizar este gás é necessário que este tenha uma determinada pressão. Portanto, em vez de se utilizar um compressor, a ideia é acrescentar um determinado peso sob o gasômetro, para que a pressão seja constante e eficaz para sua utilização no fogão da cozinha.

É importante salientar que a quantidade de dejetos utilizada no experimento (50 kg por semana) refere-se a produção diária. Portanto, em uma semana seria possível tratar 350 kg de dejetos bovinos, o que pode mudar o cenário de produção

e uso do biogás na propriedade, conforme apresentado no item 5.6 referente aos trabalhos futuros.

### 5.5. ASPECTOS ECONÔMICOS

Conforme apresentado nos resultados obtidos, o sistema experimental de tratamento dos dejetos de bovinos na propriedade estudo de caso proporcionou uma produção de biogás de aproximadamente  $1,5 \text{ Nm}^3$  por semana, a partir de 50 kg de dejetos + 50 l de água. Isso significa que o sistema é capaz de produzir  $6 \text{ Nm}^3$  de biogás por mês, o que corresponde, conforme relação apresentada na tabela 4.2, a 8,56 kW de potência, ou 2,72 kg de GLP.

Considerando estes resultados, constatou-se que o gás produzido levaria 4 meses e 23 dias para corresponder a um botijão de gás com 13 kg. Na região da propriedade o botijão é comercializado a R\$ 70,00, portanto geraria uma receita de R\$ 14,67 por mês.

Além do biogás produzido pode-se considerar também o biofertilizante, cerca de 100kg por semana, que poderia ser comercializado, reduzindo ainda mais o tempo de retorno.

Para calcular o tempo de retorno utilizou-se como base os dados apresentados na Tabela 5.2 referentes aos custos do projeto. A Tabela apresenta, os valores unitários, o valor total do projeto e na última coluna, o valor efetivo que foi gasto para desenvolver o experimento. Nesta última coluna já foram desconsiderados os materiais que já havia disponível na propriedade e por isso o gasto foi inferior ao preço total.

Tabela 5.2 – Custo do projeto

CUSTO DO PROJETO				
QUANT.	DESCRIÇÃO	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	GASTO
3 unid.	TAMBOR PLASTICO 200 L	R\$ 60,00	R\$ 180,00	R\$ 60,00
6 conj.	REGISTRO $\frac{3}{4}$	R\$ 10,00	R\$ 60,00	R\$ 60,00
5 m	MANTA PARA DRENO (BIDIM)	R\$ 3,50	R\$ 17,50	-
12	ABRAÇADEIRA/PRESILHA $\frac{3}{4}$	R\$ 2,00	R\$ 24,00	R\$ 24,00
6	SACO PLÁSTICO 80x120 mm	R\$ 2,00	R\$ 12,00	R\$ 12,00
4	MOURÃO 2,20 m	R\$ 8,00	R\$ 32,00	-
3	PONTALETE 3 m	R\$ 4,00	R\$ 12,00	-
7	RIPAS	R\$ 3,00	R\$ 21,00	-
6	SACO DE LIXO 100 L	R\$ 0,40	R\$ 2,40	R\$ 2,40
1	CAMARA DE PNEU USADA	-	-	-
30 m	PLASTICO 160 MICRAS	R\$ 2,30	R\$ 69,00	-
5 m	ARAME	R\$ 0,20	R\$ 1,00	-
2 m	CANO PVC $\frac{3}{4}$	R\$ 1,50	R\$ 3,00	R\$ 3,00
GASTO TOTAL:			R\$ 433,90	R\$ 161,40

Fonte: Própria - Experiência prática, 2018

De acordo com os dados apresentados e utilizando como referência a utilização de todo o biogás para cocção, pode-se concluir que o projeto com um custo de R\$ 433,90, levaria aproximadamente 2 anos e 6 meses para recuperar o investimento. Mesmo sabendo que a análise econômica do experimento não era o foco principal, o gasto foi de apenas R\$ 161,40, o que fez reduzir o tempo de retorno para apenas 11 meses.

Para efeito comparativo entre a produção de biogás na propriedade estudo de caso e o Brasil, pode-se dizer que hoje o Brasil dispõe de 365 milhões t/ano (IPEA, 2012), o que seria aproximadamente 1 tonelada/dia de dejetos que podem ser aproveitados para a biodigestão, tendo esse montante em relação a minha produção que é de 50 kg/dia, podemos concluir que represento 1/20.000.000 da produção nacional de 2012 aproveitável para geração.

## 5.6. TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se instalar futuramente um biodigestor de alimentação continua para tratar os dejetos bovinos. Foi consultada uma empresa que trabalha apenas com biodigestores de pequeno porte dia 23 de julho de 2018. Para o caso da propriedade

em questão (50 kg de esterco/dia + 50 litros de água/dia) a empresa avaliou a necessidade de instalar um biodigestor com capacidade para 5 m<sup>3</sup> de resíduos. O biodigestor oferecido pela empresa já vem com um kit pronto, de fácil instalação, que pode ser implementado por qualquer pessoa seguindo as instruções do manual.

Abaixo informações e características do sistema que foram fornecidas pela empresa para instalar na propriedade:

Tamanho do biodigestor: o biodigestor com capacidade para 5 m<sup>3</sup> teria as seguintes dimensões: 3,5 m de comprimento x 1,2 m de largura x 1,0 m de profundidade;

Composição do kit: O kit é composto dos seguintes itens:

- Biodigestor 5 m<sup>3</sup>: Pronto para instalar, com entrada e saída de matéria orgânica, com diâmetro de 150 mm para conexão com cano de PVC e saída de biogás com 9 mm de diâmetro;

- Kit de instalação: 15 metros de tubo flexível para canalização do biogás até o ponto de consumo, mais conexões, abraçadeiras e etc;

- Purificador 2L: Composto químico acondicionado em material plástico utilizado para a retirada, tratamento ou purificação do componente corrosivo do biogás visando a proteção dos equipamentos que utilizaram o biogás;

- Medidor de vazão para biogás: Equipamento específico para gases com baixa pressão como o biogás;

- Balão de Armazenamento de 2 Nm<sup>3</sup>: Para o armazenamento do biogás e uso do mesmo em hora e local desejado;

- Bomba de biogás de 15 W: Utilizado para pressurizar o biogás na rede;

- Fogão duas bocas: Fogão especial, projetado para o uso do biogás, com consumo de 0,4 Nm<sup>3</sup> de biogás hora por boca.

O orçamento do biodigestor de 5 m<sup>3</sup> foi de R\$ 6.015,00, incluindo o frete para São Paulo.

O cálculo de viabilidade econômica do projeto apresentado a seguir foi elaborado por técnicos da empresa fornecedora do sistema:

- O biodigestor de 5 m<sup>3</sup> geraria em torno de 36 Nm<sup>3</sup> de biogás por mês, que seria igual a 1,5 botijões de GLP mês. 1,5 x 70,00 preço do botijão = 105,00.



- O biodigestor de 5 m<sup>3</sup> produziria 3.000 litros de biofertilizante por mês, o equivalente a 1/3 saco de uréia, 1/3 saco de superfosfato triplo e 3/4 saco de cloreto de potássio (fertilizantes químicos). Preço de mercado em torno de 120,00 por mês.

- Valor do retorno mensal: R\$ 225,00 x 26,6 meses = R\$ 6.000,00. O investimento se paga em torno de 2 ano e 2 meses.

Uma opção para reduzir o tempo de retorno, seria aumentar o número de animais para que o volume de dejetos tratado seja semelhante ao valor limite do biodigestor, com isso o tempo de retorno será consideravelmente menor.

## 5.7. CONSIDERAÇÕES GERAIS DO ESTUDO DE CASO EXPERIMENTAL

A experiência foi extremamente proveitosa. Mesmo não tendo as informações exatas de produção do biogás, foi possível verificar as melhores opções e soluções para os problemas que surgiram durante o experimento. No início a ideia seria enterrar os tambores acreditando que a terra funcionaria como isolante térmico, porém com o pequeno volume de material nos tambores, a temperatura interna tornou-se extremamente dependente da temperatura externa e sua variação brusca ocasionou retardo na produção de biogás. Essas variações bruscas de temperatura poderão até interromper o processo.

Mas no final, o objetivo do experimento foi alcançado e o modelo de produção adaptado para a melhor maneira possível com baixo investimento.

Agora, o próximo objetivo é fazer uma produção contínua, utilizando os conhecimentos adquiridos.

## 6. CONCLUSÃO

Atualmente o mundo repensa a situação ambiental. A geração de energia através de fontes renováveis está conquistando cada vez mais espaço nos meios de comunicação.

Devido a crise em que o país está passando, a geração de energia ainda é suficiente para suportar a situação atual, porém o PIB está voltando a apresentar um crescimento da economia brasileira, e com isso uma crescente demanda de energia. Entretanto, na contra mão deste crescimento existe o problema da geração de energia, que hoje está no limite de produção e operando com as maiores tarifas energéticas disponíveis.

Para que se consiga um aumento rápido na geração de energia o país não pode simplesmente criar usinas termelétricas; é necessário seguir os padrões internacionais e tratados firmados para o desenvolvimento sustentável. Segundo alguns estudiosos o Brasil ainda tem muito potencial hídrico a ser explorado, porém apenas para as pequenas centrais hidrelétricas e não para grandes reservatórios que possibilitam uma garantia de energia para a concessionária.

A matriz energética tende a ser cada dia mais diversificada, mas por enquanto a base de sustentação do setor elétrico é composto pelas hidroelétricas e pelas termelétricas, que terão fundamental importância neste momento de incerteza e transição que o país está passando.

É imprescindível que o país busque e valorize as fontes renováveis e menos poluidoras de energia, como é o caso do biogás, energia solar, energia eólica e etc.

O gás metano, que é o principal componente do biogás, é um dos principais gases causadores do efeito estufa e a sua emissão para atmosfera é 21 vezes mais prejudicial que o gás carbônico. Por isso, esforços são necessários para combater a sua emissão.

Há necessidade de maiores incentivos governamentais e conscientização da população sobre os benefícios econômicos e ambientais que o biogás pode representar quando utilizado para a geração de energia, aquecimento, cocção dentre outras possibilidades de usos e também na geração de novos postos de trabalho. A geração de energia a partir do biogás em regiões remotas, iria promover a inclusão social de pessoas que residem em regiões que não tem acesso a uma

linha de transmissão de energia e a meios de comunicação, o biogás seria uma saída interessante para trazer conforto e inclusão à estas pessoas.

Apesar das dificuldades encontradas a crescente geração de energia a partir de fontes renováveis é um caminho certo para o contínuo crescimento e desenvolvimento das grandes metrópoles.

Em relação ao estudo de caso da unidade experimental foi constatado que embora a produção de biogás tenha sido pequena, acredita-se que o projeto seja viável para pequenas propriedades com baixa produção de dejetos animais, pois a implantação e manutenção de sistemas de pequeno porte é relativamente baixa. O biogás gerado pode ser utilizado para a cocção, para aquecimento térmico, dentre outras possibilidades na propriedade.

Além disso, o sistema de tratamento de dejetos animais traz os seguintes benefícios: (i) utilização energética do biogás com possíveis ganhos econômicos; (ii) utilização do biofertilizante na agricultura em substituição aos adubos químicos; (iii) ganhos ambientais por evitar o descarte inadequado dos dejetos no solo e em corpos d'água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRHA 2017, Disponível em: <<https://www.agrha.com/2017/12/24/conheca-as-vantagens-do-biodigestor-canadense/>>, acesso em 22 agosto 2018.

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Manure production and characteristics. St Joseph: ASAE, 2003.

BARREIRA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2011.

BARRETTO Eduardo, 2018; Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/brasil-ratifica-acordo-de-paris-para-reduzir-emissoes-de-gases-estufa-20093780>>, acesso em 15 setembro 18.

BARROS, Talita Delgrossi. Ageitec; Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>>, acesso em 08 julho 18.

BERMANN, Célio. Energia no Brasil: para que? Para quem? Crise e Alternativas para um país Sustentável São Paulo. Livraria da Física: Fase, 2001. 139p.

BIOMASS, Energy: Data, Analysis and Trends – IEA, Paris, 1998.

BRONDANI, José Carlos; Biodigestores e Biogás: Balanço Energético, Possibilidades de Utilização e Mitigação do Efeito Estufa, 2010.

CARPENITIERI, A. E. E.; Larsom, J. Woods Future Biomass Based Electricity Supply in Northeast Brazil – *Biomass and Bioenergy*, Vol 4, NO 3, 1993.

CESP, 2018; Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2018/02/sao-paulo-ira-mapear-o-potencial-de-biomassa-do-estado-para-geracao-eletrica-e-instalar-biodigestor-na-unesp/>>, acesso em 24 agosto 18.

COELHO, Pedro; 2012, Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>>, acesso em 24 julho 18.

COELHO, Suani Teixeira; Tecnologias de produção e uso de biogás e biometano: Part. I Biogás; Part. II Biometano. / coordenadora Suani Teixeira Coelho; autores Vanessa Pecora Garcilasso, Antônio Djalma Nunes Ferraz Junior, Marilin Mariano dos Santos e Caio Luca Joppert. – São Paulo: IEE-USP, 2018.

DEGANUTTI, Dr. Roberto; Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores\\_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf)>, acesso em 24 julho 18.

ECAM; 2018, Disponível em: <<http://www.ecam.ind.br/assets/images/cortada-para-produto-600x465.jpg>>, acesso em 19 setembro 18.

EMBRAPA; 2018; Disponível em:  
<<http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/Fotos/24.jpg>>, acesso em 24 agosto 18.

FÁVERO, Jerônimo Antônio; 2003, Disponível em:  
<<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/manejodejetos.html>>, acesso em 09 julho 18.

FORMIGONI, Ivan, 2017; Disponível em:  
<<http://www.farmnews.com.br/pesquisa/plano-abc/>>, acesso em 19 setembro 18.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor. Trabalho de pós-graduação. Florianópolis, 2003.

GLEYSSON, 2017; Disponível em: < <https://www.portaldobiogas.com/principio-de-funcionamento-de-um-biodigestor-anaerobio/>>, acesso em 24 agosto 18.

GOMES, Felipe Correa de Souza, 2016; Disponível em:  
<[http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/galerias/galeria\\_17/licenciamento-usinas-biogas.pdf](http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/galerias/galeria_17/licenciamento-usinas-biogas.pdf)>, acesso em 15 setembro 18.

IBGE, 2016; Disponível em:  
<[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2016\\_v44\\_br.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf)>, acesso em 08 julho 18.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:  
<<https://www.ibge.gov.br/>>, acesso em 28 julho 18.

IPEA, 2012; Disponível em:  
<[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf)>, acesso em 28 julho 18.

JENDE, Probiogás 2016; Disponível em:  
<[https://www.giz.de/en/downloads/giz\\_barreiras\\_digital\\_simples.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/giz_barreiras_digital_simples.pdf)>, acesso em 19 agosto 18.

KONZEN, E.A. Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção. Sete Lagoas: Embrapa – CNPMS, 2000. 32p. (EMBRAPA - CNPMS. Documentos, 5).

KUNZ, Airton, 2017; Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Curso-Dia0310-1.pdf>>, acesso em 17 setembro 18.

LEBUHN, M.; BAUER, C.; GRONAUER, A. Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. VDLUFA--Schriftenreihe 64, p. 118-125, 2008.

LETTINGA, G., VANVELSEN, A.F.M., HOMBA, S.W.; DEZEEUW, W., KLAPWIJK, A. Use of the upflow sludge blanket reactor concept for biological waste water treatment especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 22, p. 699-734, 1980.

LUCAS JR, Jorge; 2015; Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/JORGEDELUCASJUNIOR.pdf>>, acesso em 18 setembro 18.

LUCAS JR, Jorge; 2010; Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/27818/S0100-69162010000300003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>, acesso em 18 setembro 18.

MOREIRA, J. R. Simões: Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Grupo Gen LTC, 1ª Ed., 2017.

NEIVA, Rubens, 2016, Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18378170/confinamento-mais-confortavel-ao-gado-desperta-interesse-de-produtores-de-leite>>, acesso em 20 agosto 18.

OLIVEIRA, P.A. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Concórdia, 1993,

PAQUES, 2018; Disponível em: <<https://en.paques.nl/products/featured/biopaq/biopaquasb>>, acesso em 13 setembro 18.

PEGN, 2018; Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/noticia/fontes-renovaveis-responderam-por-quase-88-da-energia-gerada-em-junho/>>, acesso em 18 agosto 18.

PERMINIO, Guilherme Bezerra, 2013; Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4546/1/Guilherme%20Perminio.pdf>>, acesso em 12 setembro 18.

PROCREARE, 2017; Disponível em: <<http://procreare.com.br/bovinocultura/>>, acesso em 15 outubro 18.

QUEIROZ, Cecília Matos, 2016; Portal do biogás Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com/biodigestor-anaerobio/>>, acesso em 15 agosto 18.

RAMOS Jaqueline B.; Disponível em: <<http://www.crescentefertil.org.br/agenda21/artigos/02.htm>>, acesso em 08 julho 18.

SILVA, Celso Eduardo, 2014; Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/49617/>>, acesso em 09 julho 18.

WEILAND, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, nº 1620 “Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven”; p. 19-32; VDI-Verlag 2001.

WEST, Vicent; 17/10/2017; Disponível em:  
<[https://www1.folha.uol.com.br/colunas/vaivem/2017/10/1928637-rebanho-bovino-mundial-volta-a-superar-1-bilhao-de-animais.shtml?utm\\_source=folha](https://www1.folha.uol.com.br/colunas/vaivem/2017/10/1928637-rebanho-bovino-mundial-volta-a-superar-1-bilhao-de-animais.shtml?utm_source=folha)>, acesso em 13 outubro 18.

ZOCCAL Rosangela; A força do agro e do leite no Brasil, Publicação Balde Branco, Agosto, 2017; Disponível em: < <http://www.baldebranco.com.br/forca-agro-e-leite-no-brasil/>>, acesso em 09 julho 18.