



**CONRADO DE PAULO PINHEIRO**

**O USO DE BIODIGESTORES NA BOVINOCULTURA  
LEITEIRA**

**Lavras - MG**

**2019**

**CONRADO DE PAULO PINHEIRO**

**O USO DE BIODIGESTORES NA BOVINOCULTURA LEITEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador

Prof. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Lavras – MG

2019

Pinheiro, Conrado de Paulo.

O uso de biodigestores na bovinocultura leiteira / Conrado de Paulo Pinheiro. - 2019.

45 p.

Orientador(a): Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Biodigestores. 2. Biogás. 3. Biofertilizante. I. Oliveira, Luiz Fernando Coutinho de. II. Título.

**CONRADO DE PAULO PINHEIRO**

**O USO DE BIODIGESTORES NA BOVINOCULTURA LEITEIRA**

APROVADA em 08 de julho de 2019

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

DRS/UFLA

Profa. Dra. Luciene Alves Batista Siniscalchi

DRS/UFLA

Prof. Diego Bedin Marin

DEG/UFLA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador

Prof. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Lavras – MG

2019

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, primeiramente, pois sempre acreditei e confiei nos planos que ele traça em nossas vidas.

Aos meus pais, Conrado e Maria Aparecida, por sempre constituírem uma base extremamente sólida, que fez de tudo para que eu pudesse seguir acreditando em meus sonhos e me deu ainda mais forças para conseguir alcançá-los.

Ao professor e amigo Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, que aceitou prontamente o convite para ser meu orientador, sendo sempre solícito e disposto a ajudar no que fosse necessário dentro do trabalho de conclusão de curso.

À todos os amigos e familiares que estiveram comigo durante esta caminhada e contribuíram para que o resultado fosse vitorioso.

À Preserva Jr. e a todo o Movimento Empresa Júnior, por me proporcionarem a melhor experiência acadêmica durante o período de graduação.

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade em realizar o curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

*Muito Obrigado!!!*

## RESUMO

No Brasil, a bovinocultura leiteira é uma atividade que gera grandes impactos positivos para o país, contribuindo com a economia através da geração de emprego e renda, além de ter um papel de destaque produzindo um dos principais suprimentos alimentares para a população. Por outro lado, também produz impactos negativos relevantes, que possuem um alto potencial de degradação do ambiente, devido às elevadas cargas de resíduos gerados pela produção, além de demandar uma ampla utilização de recursos naturais. Desse modo, serão apresentados neste trabalho os tipos de biodigestores como uma alternativa tecnológica para realizar o tratamento de resíduos da bovinocultura leiteira de maneira sustentável, bem como as perspectivas para o aproveitamento dos subprodutos gerados após o tratamento anaeróbio dos resíduos, quais são os impedimentos e dificuldades para que essa alternativa prospere em nível nacional. O biofertilizante, que é um desses subprodutos, quando bem manejado pode ser uma importante fonte de nutrientes como Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P), possibilitando uma economia de até 25% na utilização de outros tipos de adubo. Além deste insumo, o biogás possui um grande potencial de aproveitamento energético no cenário nacional, e as projeções e metas do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Cultura para até 2030, contemplam desenvolvimentos e melhoria para o aproveitamento da biomassa na matriz energética. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a tecnologia de tratamento dos dejetos bovinos pela digestão anaeróbia em biodigestores como alternativa sustentável para mitigação dos impactos ambientais negativos desta atividade, além de destacar alguns pontos importantes que fazem com que esta seja uma alternativa viável para o tratamento dos resíduos da bovinocultura leiteira.

**Palavras-chave:** Dejetos bovinos, biofertilizante, biogás.

## **ABSTRACT**

In Brazil, The milky cattle is an activity that generates big positive impacts for the country, contributing to the economy, through employment and income generation, besides having a prominent role producing one of the main food supplies for the population. On the other hand, it has a high potential for environmental degradation due to the high waste volume generated and also the great use of natural resources. In this way, this literature review aims to present the kinds of biodigesters as a technologic alternative for milky cattle waste treatment in a sustainable way as well as the perspectives to byproducts management generated after the anaerobic waste digestion and the difficulties for this alternative to thrive in national level. The biofertilizer, which is one of these byproducts, when well managed can be an important source of nutrients such as Nitrogen (N), Potassium (K) and Phosphorus (P), allowing a saving of up to 25% in the use of other types of fertilizers. In addition to this input, biogas has a great potential for energy use in the national scenario, and the projections and targets of the Ministry of Science, Technology, Innovation and Culture until 2030, contemplate development and improvement for the use of biomass in the energy matrix. Thus, this ressearch aims to present the technology of treatment of bovine waste by anaerobic digestion in biodigestors as a sustainable alternative to mitigate the negative environmental impacts of this activity, in addition to highlighting some important points that make this an alternative for the treatment of dairy cattle residues.

**Key-words:** Milky cattle waste, Biofertilizer, Biogas.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Panorama geral da bovinocultura leiteira no Brasil .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Geração de resíduos na bovinocultura leiteira e legislação. ....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Características dos efluentes gerados na bovinocultura leiteira .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Tratamento de efluentes da bovinocultura de leite .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Uso da tecnologia de biodigestores para dejetos bovinos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.1 Processo de digestão anaeróbia .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.2 Tipos de biodigestores .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Biofertilizante e sua utilização .....</b>	<b>27</b>
<b>2.7 Biogás.....</b>	<b>29</b>
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos que são essenciais para a sobrevivência humana necessitam de uma produção que atenda as demandas, principalmente quando se trata de questões que envolvem a alimentação da população. Nesse contexto, a atividade agropecuária no Brasil, no ano de 2017, foi o setor que apresentou o maior crescimento econômico com 13% de aumento no valor do Produto Interno Bruto (PIB) em relação ao ano anterior, contribuindo na oferta de alimentos dentro do país, além de ser uma das principais fontes de emprego, onde todos os negócios relacionados às atividades agropecuárias (atividades primárias de produção, transformação e distribuição) contribuíram com aproximadamente 24% do PIB nacional (IBGE, 2017)

Entretanto, o crescimento populacional acelerado, trouxe alguns impactos negativos para o meio ambiente, que envolvem a degradação da qualidade da água pelo descarte inadequado dos dejetos bovinos e seus efluentes fazendo com que o excesso de nutrientes despejados ocasione a eutrofização dos corpos hídricos. Além disso, realizar o despejo dos dejetos diretamente no solo sem nenhum tipo tratamento pode ocasionar sobrecarga de nutrientes visto que não estão sendo observados os valores de referência dos elementos para o determinado solo, além de possíveis contaminações por organismos patogênicos. O aumento na emissão de gases poluentes provenientes do processo de fermentação entérica dos animais e também dos processos de degradação dos dejetos, também podem ser destacados como outro impacto negativo, pois contribuem diretamente para o aquecimento global. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), no ano de 2011 a fermentação entérica representou cerca de 39% das emissões totais de gases de efeito estufa do setor agropecuário em todo o mundo (FAO, 2011).

Nesse contexto, viu-se a necessidade de se buscar alternativas sustentáveis para o meio ambiente, que pudessem continuar acompanhando as demandas produtivas, principalmente em função do crescimento populacional. Dessa forma, foi dedicada uma maior atenção para os métodos de tratamento para os dejetos gerados na produção, que fossem capazes de acompanhar a produtividade da bovinocultura leiteira sem comprometer a qualidade dos recursos utilizados por ela como água, solo e energia, além de mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Com isso, diversos processos têm sido estudados com o intuito de promover o tratamento de dejetos da bovinocultura leiteira de maneira satisfatória, além de proporcionar vantagens econômicas para os produtores, em que o resíduo que era tratado como algo sem utilidade passa a contribuir para a manutenção das boas condições ambientais, bem como gerar

retorno financeiro. Neste cenário, os biodigestores são apresentados como estruturas capazes de criar boas condições para que os dejetos bovinos sejam estabilizados, pelo processo de digestão anaeróbia. Neste caso, tem-se uma alternativa vantajosa para os aspectos sanitários do local, garantindo uma forma de manejo ambientalmente adequada dos resíduos gerados na atividade produtiva, sendo capaz de gerar energia de maneira limpa e sustentável por meio da produção de biogás, além de possibilitar a utilização do biofertilizante proveniente da estabilização da biomassa tratada.

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico que ocorre naturalmente no ambiente, nos quais vários tipos de micro-organismos específicos realizam um conjunto de reações que tem como objetivo a degradação da matéria orgânica, transformando-a em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Basicamente, o processo de digestão anaeróbia divide-se em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, em que determinados grupos de micro-organismos atuam em cada uma destas fases, sendo necessário garantir a manutenção das boas condições do ambiente em que ocorrem as reações, para que o processo como um todo não seja comprometido.

O processo de digestão anaeróbia tem a capacidade de degradar a matéria orgânica carbonácea dos dejetos, que é quantificada com base em Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) além de conseguir realizar a mineralização de nutrientes disponíveis em grandes quantidades como o Nitrogênio e o Fósforo, processo que transforma os nutrientes da forma orgânica para a inorgânica, fazendo com que os mesmos fiquem disponíveis para as plantas. Em todo o mundo, cerca de 5 a 10% de toda a matéria orgânica mineralizada é proveniente da digestão anaeróbia por micro-organismos e este processo abrange todo um sistema ecológico que deve estar totalmente equilibrado em suas condições de atividade para que os vários tipos de micro-organismos presentes possam realizar suas funções dentro de todo o ciclo existente (CHERNICHARO, 2008).

Diante disto, a presente revisão de literatura tem como objetivo explicar os processos que estão envolvidos no de tratamento dos dejetos gerados na bovinocultura leiteira pela digestão anaeróbia em biodigestores, bem como evidenciar os aspectos positivos de se utilizar esta alternativa, a qual contribui para a mitigação de impactos ambientais negativos e para a melhoria e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Panorama geral da bovinocultura leiteira no Brasil

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil ocupou em 2017, a segunda posição entre os maiores rebanhos bovinos do mundo com um total de 226,04 milhões de cabeças de gado, ficando atrás apenas da Índia em todo o cenário mundial (USDA, 2017). No que diz respeito ao rebanho do gado de leite, as informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontaram um total 17,1 milhões de vacas leiteiras que são responsáveis pelo que é produzido no país, que no mesmo ano de 2017, totalizou aproximadamente 33,5 bilhões de litros (IBGE, 2017).

Os sistemas de produção utilizados no país são classificados levando em conta dois principais fatores: alimentação e produtividade. Assis et al. (2005) apresentam os seguintes enquadramentos para os sistemas:

- Sistema extensivo: Animais criados exclusivamente a pasto, com produção menor que 1200 litros/vaca ordenhada/ano.
- Sistema semi-extensivo: Animais criados a pasto com suplementação volumosa na época de menor crescimento do pasto e produção entre 1200 a 2000 litros/vaca ordenhada/ano.
- Sistema intensivo a pasto: Animais criados a pasto com gramíneas de alta capacidade de suporte, com suplementação volumosa na época de menor crescimento do pasto ou, até mesmo, durante o ano todo, e produtividade variando de 2000 a 4500 litros/vaca ordenhada/ano.
- Sistema intensivo em confinamento: Animais mantidos em confinamento e alimentados no cocho com forragens conservadas, como silagens e fenos, com produção maior que 4500 litros/vaca ordenhada/ano.

O Brasil é um país que permite a adaptação das práticas da atividade leiteira, levando em consideração as diversas condições edafoclimáticas e as peculiaridades regionais existentes. Sendo assim, é possível desenvolver a pecuária leiteira em todo o território nacional, levando em consideração desde as pequenas propriedades que realizam a atividade como parte de sua subsistência, até as grandes propriedades produtoras que utilizam as tecnologias mais avançadas (RICARDO, 2016).

A evolução das práticas adotadas nos sistemas de produção agropecuária, bem como o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais voltadas a este setor, sempre possuíram um caráter expansionista, no sentido de aumento da produtividade. A transição dos sistemas que demandavam uma grande quantidade de área para os sistemas de confinamento consegue, em um menor espaço, garantir um melhor controle de qualidade da produção, além de poder extrair muito mais daquilo que o animal tem condições de oferecer. Isso também reflete no controle das condições sanitárias as quais o rebanho possui contato, pois a relação entre o ambiente e os animais, tem influência direta no produto final obtido, onde passa a existir uma preocupação com os impactos negativos causados e o quanto isso pode afetar o futuro da atividade leiteira.

## **2.2 Geração de resíduos na bovinocultura leiteira e legislação.**

Considerando a heterogeneidade que existe nos meios de produção adotados, há uma grande influência na questão da geração dos resíduos oriundos da atividade de bovinocultura leiteira. Podem-se dividir em dois grupos os bovinos que são destinados para a produção, sendo eles os ruminantes e não ruminantes (MACHADO, 2011). Os ruminantes; são os animais que realizam um processo de fermentação pré-gástrica dos alimentos fibrosos na presença de microorganismos, sendo o grupo ao qual pertence o gado leiteiro, enquanto os não ruminantes não realizam tal processo de fermentação (MACHADO, 2011). De acordo com Matos (2005), uma vaca leiteira com 400 kg de peso médio, produz de 38 a 50 kg de excretas diariamente, sendo deste total, 28 a 32 kg de fezes e o restante, de urina.

Pelissari (2013) cita que um ser humano produz diariamente 54 g/DBO<sub>5</sub> e levando-se em consideração que este é um dos principais parâmetros na caracterização do efluente da bovinocultura leiteira, o equivalente populacional de um animal do rebanho é 16 vezes maior. Todavia, além dos dejetos produzidos pelos animais, na bovinocultura leiteira devem-se levar em consideração os resíduos provenientes da retirada ou processamento do leite (RICARDO, 2016). Segundo Johann (2010) é importante ressaltar que os resíduos gerados na atividade leiteira também englobam os efluentes do processo da limpeza das instalações e dos diversos utensílios que venham a ser utilizados. Silva (2013) apresenta um quadro comparativo dos dados encontrados na literatura das principais concentrações dos resíduos da bovinocultura de leite e os efluentes domésticos (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação entre resíduos líquidos de sala de ordenha e efluentes domésticos.

Tipo de Efluente	DBO <sub>5,20</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	NTK (mg L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>Total</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	SST (mg L <sup>-1</sup> )	Autores
Salas de ordenha de bovinocultura de leite	2.300	-	-	36,0	15,0	921	Dunne et al. (2005)
	1.200	-	-	52,0	44,0	26	Mumñoz et al. (2006)
	2.680	-	102	7,8	25,7	1.284	Newman et al. (2000)
	2.811	6.144	-	366,0	89,3	6.144	Wood et al. (2007)
Efluente doméstico	400	1000	85	50,0	15,0	350	Metcalf; Eddy (1991)

Fonte: Silva (2013)

(DBO<sub>5,20</sub>) - Demanda Bioquímica de Oxigênio; (DQO) - Demanda Química de Oxigênio; (NTK) - Nitrogênio Total Kjeldahl; (N-NH<sub>4</sub>) - Nitrogênio Amoniacal; (P) Total - Fósforo Total e (SST) - Sólidos Suspensos Totais.

De acordo com o tipo de manejo adotado, o consumo diário de água pode variar de 40 a 600 L por vaca ordenhada, pois as instalações envolvem demandas como a dessedentação dos animais, higienização e limpeza do local e dos animais, limpeza dos equipamentos de ordenha e dos próprios colaboradores que realizam as operações e o armazenamento do leite nas salas de refrigeração, variando de acordo com a capacidade produtiva da propriedade (BATISTA et al., 2014). Isso acaba influenciando diretamente na quantidade de resíduo líquido gerado (MATOS, 2005). Esse autor ainda cita que a quantidade de efluente gerado também varia de acordo com o período do ano, dia da semana e horário do dia. Batista et al. (2014) citam que os principais fatores que influenciam na composição dos dejetos da bovinocultura leiteira são: raça e tamanho do animal, clima, dieta alimentar e sistema de manejo dos animais.

Um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores com relação ao manejo da água residuária gerada na produção leiteira está relacionado às adequações para a sua destinação pois os efluentes acabam sendo direcionados para o solo ou para os corpos hídricos sem nenhum tratamento adequado. Matos (2005) destaca que o descarte dos efluentes sem nenhum tipo de tratamento prévio, pode causar a eutrofização daquele ambiente, que é definida como o aumento

na alta disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica que gera crescimento acelerado de produtores primários (algas, bactérias autotróficas e cianobactérias).

Em âmbito nacional, para tratar sobre a disposição dos efluentes da bovinocultura leiteira em corpos hídricos receptores, é seguido o que está disposto na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 que engloba as condições e padrões de lançamento de efluentes. A matéria orgânica presente nos dejetos bovinos geralmente é quantificada em termos de DBO e DQO, e estes são considerados os principais poluentes para as águas por causarem esgotamento de oxigênio dissolvido, gerando desequilíbrio nos ambientes aquáticos (SILVA, 2013). As condições da Resolução CONAMA nº 430/2011 sobre a disposição de efluentes em corpos receptores trazem o limite para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20° C) com o valor máximo de 120 mgL<sup>-1</sup>, ou apresentando remoção mínima de 60% de DBO desde que os efluentes não confirmam ao corpo hídrico, características em desacordo com seu enquadramento. Entretanto, a Resolução não traz valores específicos para o parâmetro de Demanda Química de Oxigênio.

Para o estado de Minas Gerais, existe a Deliberação Normativa Conjunta do Conselho de Política Ambiental do Estado e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (COPAM/CERH) nº 1/2008). Esta deliberação possui valores mais restritivos do que a Resolução CONAMA nº 430/2011, sendo o limite para DBO de 60 mgL<sup>-1</sup> ou sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima anual de 75% e média anual igual ou superior a 85%. Para a DQO, a mesma deliberação traz o valor limite de 180 mgL<sup>-1</sup> ou sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima anual de 70% e média anual igual ou superior a 75%. Chernicharo (2008) cita que deve existir uma relação entre as proporções de DQO, N e P em uma razão de 350:5:1 para que os micro-organismos realizem o processo de digestão anaeróbia, em que a biomassa com essas características irá garantir os aspectos nutricionais necessários as funções metabólicas dos micro-organismos no processo de degradação biológica, onde é necessário haver um equilíbrio na relação entre os parâmetros citados, pois se a proporção de matéria orgânica carbonácea (DQO) for muito elevada com relação aos outros nutrientes, os micro-organismos não conseguem quebrar os compostos complexos e fornecer substrato para as etapas subsequentes da digestão anaeróbia, enquanto que se a proporção de Nitrogênio e Fósforo for muito elevada, pode acabar sendo tóxica aos micro-organismos.

Ainda não há, no Brasil, uma legislação voltada especificamente para a disposição de dejetos bovinos no solo (RICARDO, 2016). As leis que tratam sobre o reuso de água e efluentes são bastante generalistas, o que dificulta ter mais clareza sobre quais procedimentos devem ser seguidos, além de faltarem estudos que garantam um embasamento seguro desta prática. A

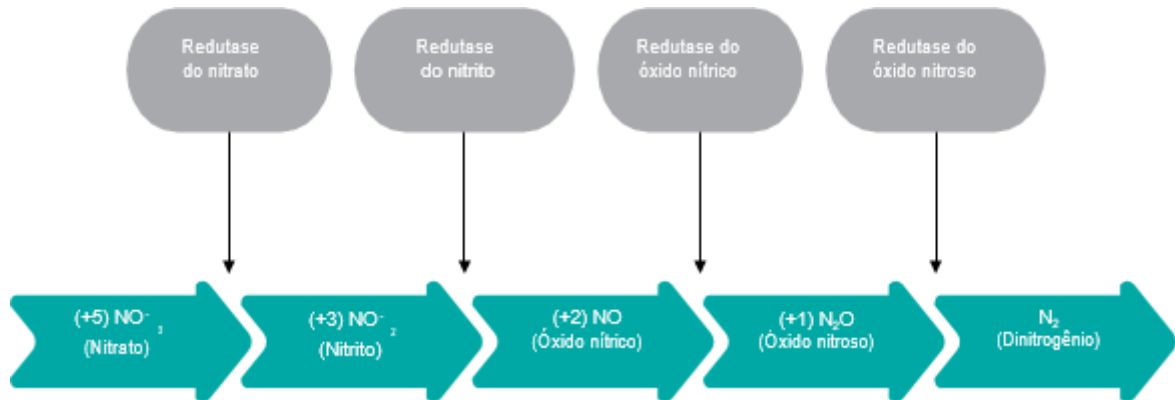
própria Resolução CONAMA nº 430/2011 cita em seu Art. 2º que os efluentes quando despejados no solo, não podem trazer nenhum tipo de efeito prejudicial às condições das águas superficiais e subterrâneas, apesar de não existirem parâmetros ou padrões de enquadramento para esta destinação.

Em geral, os nutrientes referenciais para a aplicação de águas residuárias no solo são o Nitrogênio (N) e o Fósforo, pois os mesmos fazem parte do grupo dos macronutrientes, que são os nutrientes considerados essenciais para a atividade no solo e para o crescimento das culturas, sendo esses necessários em maiores quantidades (GIRACCA; NUNES, 2016). Os autores citam que o Nitrogênio possui extrema importância, participando na formação de compostos orgânicos, atuando em todas as fases de crescimento, floração e/ou frutificação, sendo absorvido principalmente nas formas de Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e de Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) sendo um nutriente bastante móvel, enquanto o Fósforo também intervém na formação de compostos orgânicos, produção de energia, respiração e divisão celular e em outros processos metabólicos, além de ser um importante nutriente de reserva, sendo absorvido pelas plantas nas formas de Dihidrogenofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e de Hidrogenofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ).

A bovinocultura leiteira é uma das atividades que tem uma grande capacidade de emissão de potenciais gases do efeito estufa (GEE), que deve ser contabilizado pelo seu potencial poluidor e conseqüente impacto negativo ao ambiente. Nesta atividade, pode-se destacar as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) através da fermentação entérica, que é um processo digestivo que ocorre dentro no rúmen onde a matéria orgânica ingerida pelos animais é digerida, e das fezes, e do óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) proveniente dos dejetos produzidos, além do eventual uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens (OLIVEIRA, 2015). Com relação ao óxido nitroso, o processo de desnitrificação, que é o principal responsável pela geração deste poluente, depende de algumas condições importantes para ocorrer como a disponibilidade de nitrogênio mineral e carbono solúvel (ou DQO), em concentrações nulas de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (BACCA, 2018). A autora cita que tendo estas boas condições, o nitrogênio amoniacal é reduzido rapidamente para  $\text{NO}_3^-$ , podendo ser desnitrificado até  $\text{N}_2\text{O}$ .

A partir do momento em que os dejetos bovinos são excretados, eles aumentam a quantidade, principalmente, de Carbono e Nitrogênio do solo, que são essenciais ao metabolismo dos micro-organismos desnitrificadores (VIEIRA, 2017). A autora define o processo de desnitrificação como a redução microbiológica do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{N}_2\text{O}$  ou Nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ), que pode ser descrito por meio das seguintes etapas:

Figura 1 – Esquema das etapas do processo de desnitrificação



Fonte: Vieira (2017)

O primeiro passo consiste na redução de Nitrato para Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), que é um processo estritamente anaeróbico, catalisado pela enzima redutase do Nitrato. Em seguida, a redutase do Nitrito realiza a conversão do mesmo para Óxido Nítrico ( $\text{NO}$ ). A redutase do Óxido Nítrico irá convertê-lo em Óxido Nitroso, que poderá ser convertido posteriormente em  $\text{N}_2$ .

Segundo dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), os resultados de emissões nacionais de GEE no ano de 2010 mostram que o setor agropecuário contribuiu de maneira significativa, com um valor de 407.072 gigagramas (Gg) de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) equivalente, o que totaliza uma parcela de 31,94% das emissões líquidas totais ou 26,19% das emissões brutas totais do país (MCTIC, 2010). Dentro do total destas porcentagens do setor agropecuário, na produção de  $\text{CH}_4$ , a fermentação entérica (234.318,00 Gg - 89,87%) e o manejo dos dejetos animais (12.770,10 - 4,89%) são os principais contribuintes desta atividade (MCTIC, 2010).

Todos esses resíduos gerados causam impactos significativos ao ambiente devido ao alto potencial poluidor que possuem tanto na questão dos GEE para a camada de ozônio, quanto na possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas (JOHANN, 2010). Neste contexto torna-se bastante visível a presença de diversas fontes poluidoras provenientes da atividade de bovinocultura leiteira, não só nas comunidades rurais, mas também em pequenos centros urbanos que, por consequência, trazem consequências desfavoráveis para o ambiente e para a população (COSTA; GROSSO, 2015). Contudo, a fiscalização ineficiente e a falta de informações adequadas para aquela área, fazem com que os produtores não tenham os devidos estímulos para investir em tecnologias ambientalmente viáveis a sua realidade (COSTA; GROSSO, 2015).



### 2.3 Características dos efluentes gerados na bovinocultura leiteira

Considerando as características da água residuária gerada na bovinocultura leiteira, Decezaro (2013) aponta DBO, DQO, sólidos, nitrogênio e fósforo como os constituintes de maior importância. A matéria orgânica carbonácea, que é quantificada através da DBO e da DQO é a principal fonte energética para as atividades metabólicas dos micro-organismos, e através destes parâmetros, é possível analisar a eficiência da redução da biomassa. Já o nitrogênio e o fósforo são fundamentais para o aproveitamento posterior dos dejetos como biofertilizante, sendo capazes de melhorar a qualidade do solo e de reduzir os impactos negativos ao ambiente (DECEZARO, 2013). Daniel (2015) acrescenta que devido a riqueza de matéria orgânica, os resíduos ainda contêm alguns outros constituintes das dietas dos animais em menores quantidades, tais como Potássio (K), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), entre outros.

A tabela abaixo, traz características de águas residuárias da bovinocultura leiteira apresentados por alguns autores:

Tabela 2 – Caracterização de águas residuárias da bovinocultura leiteira

DBO <sub>5,20</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	N total (mg L <sup>-1</sup> )	P Total (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	ST (mg L <sup>-1</sup> )	Autores
3.500	3.038	30,52	15,91	258	702	Johann (2010)
128,3	1.012	59,5	23,4	223,1	1.295	Pelissari (2013)
4.461	26.107	1.556	125	293	17.866	Silva (2013)

As diferenças nas características dos efluentes gerados na bovinocultura leiteira podem ser entendidas pela diversificação das estratégias de manejo dos animais, as quais envolvem a qualidade de alimentação que influencia nas características dos dejetos, higienização do ambiente, época do ano, entre outros fatores. É importante que se conheça as particularidades e características específicas de cada uma das diversas situações, em que exista a geração destes efluentes, que irá possibilitar assim, uma caracterização qualitativa mais precisa.

## 2.4 Tratamento de efluentes da bovinocultura de leite

No Brasil, diversas propriedades rurais ainda não conseguem realizar o manejo correto dos dejetos produzidos pela bovinocultura leiteira, o que acaba impossibilitando um aproveitamento sustentável das características destes resíduos (MACHADO, 2011).

Apesar de os impactos ambientais negativos virem se mostrando cada mais evidentes, essa problemática vem criando um destaque que tem motivado a busca por tecnologias e infraestrutura que visam assegurar a sustentabilidade produtiva, em conjunto com a qualidade de vida (SILVA, 2018). Segundo Decezaró (2013), os principais métodos para o tratamento de efluentes agroindustriais são os sistemas anaeróbios (filtros anaeróbios e reatores UASB), lagoas de estabilização, biodigestores, lodos ativados e os sistemas alagados construídos.

Em relação aos efluentes de atividades agrícolas, mais especificamente sobre os efluentes da bovinocultura leiteira, pode-se considerar que a etapa de maior importância é a de tratamento secundário. O efluente gerado nesta atividade possui uma elevada carga orgânica, a qual precisa ser removida em boa quantidade para que se possa viabilizar as alternativas de aproveitamento para este subproduto. Entretanto, por apresentar elevada biodegradabilidade, os tratamentos biológicos conseguem cumprir esta função de maneira satisfatória (SANTOS, 2018).

O tratamento de efluentes pela via anaeróbia é um processo biológico em que diversos tipos de micro-organismos, trabalhando na ausência de Oxigênio molecular, realizam a transformação de compostos orgânicos complexos (como carboidratos, proteínas e lipídios que estão presentes nos efluentes gerados) em compostos mais simples, resultando na produção final de gás Carbônico e Metano (FAGUNDES, 2010). São sistemas apropriados para o tratamento de efluentes com elevadas cargas orgânicas, como é o caso dos efluentes da bovinocultura leiteira, pois estas são a principal fonte energética para as atividades metabólicas dos micro-organismos que irão realizar o tratamento (SILVA, 2013). Fagundes (2010) ainda ressalta que, em países de condições climáticas tropicais, os tratamentos anaeróbios conseguem alcançar resultados satisfatórios devido ao processo de digestão anaeróbia alcançar as melhores taxas em temperaturas mais elevadas, chegando a alcançar até 70% de remoção da matéria orgânica presente nos efluentes

As propriedades de produção leiteira estão buscando cada vez mais alternativas que possibilitem um melhor tratamento aos resíduos e garantam melhores condições sanitárias ao local, favorecendo uma melhor relação custo-benefício dos recursos utilizados dentro da propriedade.

## **2.5 Uso da tecnologia de biodigestores para dejetos bovinos**

Os biodigestores tem tido seu uso cada vez mais difundido, apresentando-se como uma alternativa tecnológica com diversos benefícios e uma ampla gama de vantagens para os produtores de leite. Os estudos e pesquisas relacionados aos biodigestores têm demonstrado possibilidades para a diversificação da matriz energética pelo uso da biomassa, podendo contribuir no aspecto social, econômico e ambiental, além destes aperfeiçoamentos trazerem ganhos expressivos para a produtividade (TOLLER, 2016).

Em relação aos processos de tratamento, os biodigestores se enquadram na etapa secundária, a qual irá realizar degradação da matéria orgânica, de maneira anaeróbia. Este processo de degradação feito pelos micro-organismos anaeróbios (bactérias e arqueias) acaba gerando dois subprodutos que merecem destaque por suas possíveis aplicações: o biofertilizante e o biogás. O biofertilizante é o efluente propriamente dito, após passar pela degradação anaeróbia, que realiza a estabilização do que foi disposto, fazendo a remoção de grande parte da carga orgânica do material. O biogás, que pode ser classificado como uma mistura gasosa predominantemente constituída por gás Metano, resultante do processo de fermentação dos micro-organismos que realizaram o processo de degradação anaeróbia. Além destes fatores, os biodigestores possuem uma boa capacidade de remoção de organismos patogênicos presentes no material que é excretado (MACHADO, 2011).

### **2.5.1 Processo de digestão anaeróbia**

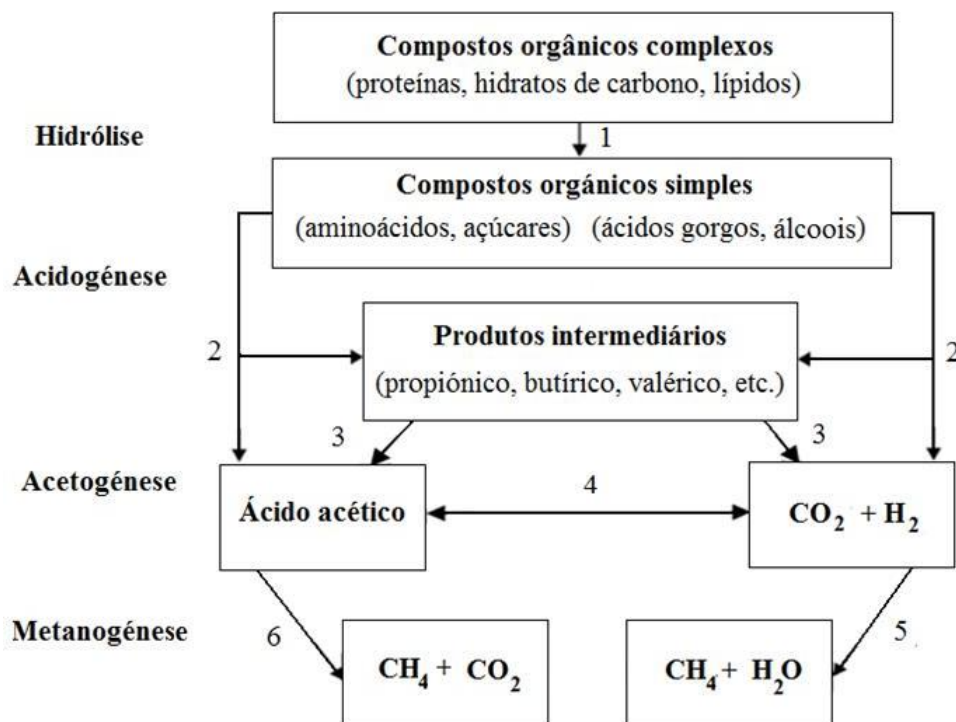
A digestão anaeróbia é um processo, para tratamento dos resíduos de origem orgânica. Este processo representa um sistema ecológico que deve ser cuidadosamente equilibrado, com processos metabólicos específicos que ocorrem em etapas subsequentes, em que cada micro-organismo tem uma função essencial (MONTENEGRO et al., 2006).

Sendo assim, sabendo que as boas condições requerem um determinado tempo para serem alcançadas, estão sendo estudadas diversas técnicas para que seja possível obter as condições mais favoráveis dentro do biodigestor em tempo cada vez mais reduzido (REIS, 2012). O autor ainda menciona que a utilização de diferentes tipos de inóculos, como lodo de esgoto digerido e lodo de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) se mostra como um alternativa interessante, uma vez que estes materiais, quando injetados no sistema, possuem capacidade de tamponamento, gerando uma estabilização na acidez do meio, o que garante uma melhor condição para a digestão anaeróbia em um menor período de tempo, pois

A dinâmica de atuação das bactérias começa desde o momento em que elas são excretadas do organismo dos bovinos, junto aos dejetos. São quatro etapas que descrevem o processo de degradação da biomassa pelos micro-organismos, sendo eles, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (FERNANDES, 2016). Dentro dos processos da digestão anaeróbia, é importante ressaltar a relação de simbiose que ocorre entre os grupos microbianos, pois de acordo com o desenvolvimento dos processos, um determinado produto metabólico de um grupo microbiano servirá como substrato para a atividade metabólica de um grupo subsequente (LEITE, 2015). Por essa razão, o autor destaca sobre a importância na estabilidade das condições do processo de digestão anaeróbia como um todo, para que não haja comprometimento nas funções de algum determinado grupo microbiano.

Cada etapa do processo de digestão anaeróbia representa uma via metabólica de um determinado grupo de micro-organismos que irá atuar na decomposição da matéria orgânica, conforme o esquema abaixo:

Figura 2 – Etapas da digestão anaeróbia



Fonte: Suárez (2014)

Na hidrólise, as bactérias fermentativas liberam enzimas extracelulares que irão quebrar as moléculas maiores e mais complexas em compostos mais simples (FERNANDES, 2016). A transformação dessas moléculas é um processo que ocorre de forma lenta, em que as

exoenzimas liberadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas realizam a ação, que pode ser influenciada por diversos fatores como tamanho das partículas, pH, temperatura, entre outros. Além disso, os produtos gerados pela hidrólise (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos) são menos complexos e conseguem ser metabolizados pelos micro-organismos de forma mais rápida (MACHADO, 2011).

A segunda etapa, que é a acidogênese, os produtos resultantes do primeiro processo serão absorvidos e metabolizados pelas bactérias fermentativas (SILVA, 2014). Após serem metabolizados, esses produtos são excretados como ácidos graxos voláteis, que são substâncias mais simples que irão auxiliar a formação de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , arrega, acetato, propianato, butirato e outros compostos minerais (SILVA, 2014). As bactérias atuantes neste processo recebem o nome de acidogênicas e são extremamente beneficiadas no quesito energético, fazendo com que os fatores limitantes sejam bastante reduzidos, o que garante boas condições para a ocorrência desta etapa (MACHADO, 2011). Os ácidos graxos voláteis produzidos nesta etapa ocasionam a liberação de grandes quantidades de hidrogênio, o que induz a uma queda de pH dentro do sistema.

A acetogênese, terceira etapa, utiliza produtos solúveis gerados da acidogênese como o Propianato e o Butirato para formar Acetato,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , e Sulfeto de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Esta etapa requer baixas concentrações de Hidrogênio no meio para que se consiga chegar aos produtos indicados, onde nesse caso, a relação simbiótica entre as bactérias acetogênicas e as arqueobactérias metanogênicas é fundamental para a manutenção dos baixos níveis de hidrogênio (SILVA, 2014).

A quarta e última etapa, metanogênese, pode ser dividida em duas etapas, por dois grupos distintos de bactérias. As arqueas hidrogenotróficas, tem a capacidade de metabolizar  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  em  $\text{CH}_4$ , processo este que gera elevada liberação de energia. Já as arqueas acetoclásticas, são um grupo menor e mais restrito de arqueias, sendo aquelas que convertem acetato em metano. Este grupo de arqueas é responsável por cerca de 60 a 70% da produção de  $\text{CH}_4$  (MACHADO, 2011).

Ainda dentro do processo de digestão anaeróbia, tem-se a etapa da sulfetogênese na qual as bactérias redutoras de sulfato reduzem este e outros compostos sulfurados possivelmente presentes durante a digestão anaeróbia (SILVA, 2014). A autora cita que essas bactérias, bastante versáteis em seu metabolismo, tornam-se competidoras por substratos comuns aos das bactérias metanogênicas (acetato e  $\text{H}_2$ ). Chernicharo (2008) acrescenta que com a ausência de sulfato, o processo de digestão ocorre normalmente, enquanto que na presença do mesmo, os

produtos intermediários gerados pelas rotas alternativas passam a competir pelos substratos disponíveis.

Com relação ao tratamento anaeróbio, existe uma preocupação mais significativa relacionada a manutenção de parâmetros essenciais para as boas condições do sistema, e segundo Silva (2014) são eles:

- Temperatura: um dos fatores mais importantes na digestão por ser um controlador de velocidade nas reações metabólicas dos micro-organismos e influenciar nas condições de solubilidade do substrato. Além disso, como os micro-organismos não possuem meios para controlar sua temperatura interna, a manutenção e equilíbrio da temperatura externa torna-se ainda mais importante para que os mesmos consigam se desenvolver e degradar a matéria orgânica (CHERNICHARO, 2008). Possíveis oscilações de temperatura podem afetar a eficiência dos reatores visto que os micro-organismos são bastante sensíveis a grandes variações.
- Alcalinidade, pH e ácidos voláteis: alcalinidade e pH são fatores diretamente relacionados. A principal função da alcalinidade do sistema é garantir que o sistema fique em equilíbrio, evitando variações de pH prejudiciais a faixa ótima de atuação das bactérias e arqueias. A faixa limite para que o processo ocorra sem quaisquer comprometimentos está entre 6,0 e 8,0, sendo os valores ótimos entre 6,5 e 7,5. Inclinações de pH abaixo de 6,0 favorecem a ação das bactérias acidogênicas, entretanto, prejudica a ação das arqueias metanogênicas, o que prejudica a eficiência do sistema na geração final do biogás, devido à alta concentração dos ácidos voláteis. Já as elevações de pH acima de 8,0 podem causar o desenvolvimento da amônia ( $\text{NH}_3$ ) em sua forma não ionizada, a qual penetra na parede celular dos micro-organismos, sendo tóxica aos mesmos.

### **2.5.2 Tipos de biodigestores**

Santos (2018) define o biodigestor como um sistema que, pelo processo fermentativo da biomassa, gera-se o biogás. Segundo Silva et al. (2012), os biodigestores começaram a ser utilizados no Brasil por volta da década de 70, muito em função da crise no mercado de combustíveis oriundos do petróleo. A estrutura é construída de modo a garantir este ambiente propício para uma ação simbiótica dos micro-organismos (VELOSO, 2014; CÔTE et al., 2006; FLORENTINO, 2003).

De acordo com Otenio (2017) podemos classificar os biodigestores em, basicamente, dois tipos, que levam em consideração o recebimento da biomassa que será digerida. Os biodigestores de fluxo contínuo, os quais possuem o uso mais difundido no cenário das atividades agrícolas, principalmente por terem melhor adaptação aos mais diversos tipos de matéria orgânica, além de garantir periodicidade regular em seu abastecimento (OTENIO, 2017), e os biodigestores chamados descontínuos, também conhecidos por batelada, que são aqueles que recebem uma determinada carga e necessitam da realização de todo o processo de estabilização e decomposição de nutrientes para que se possa arregalo novamente.

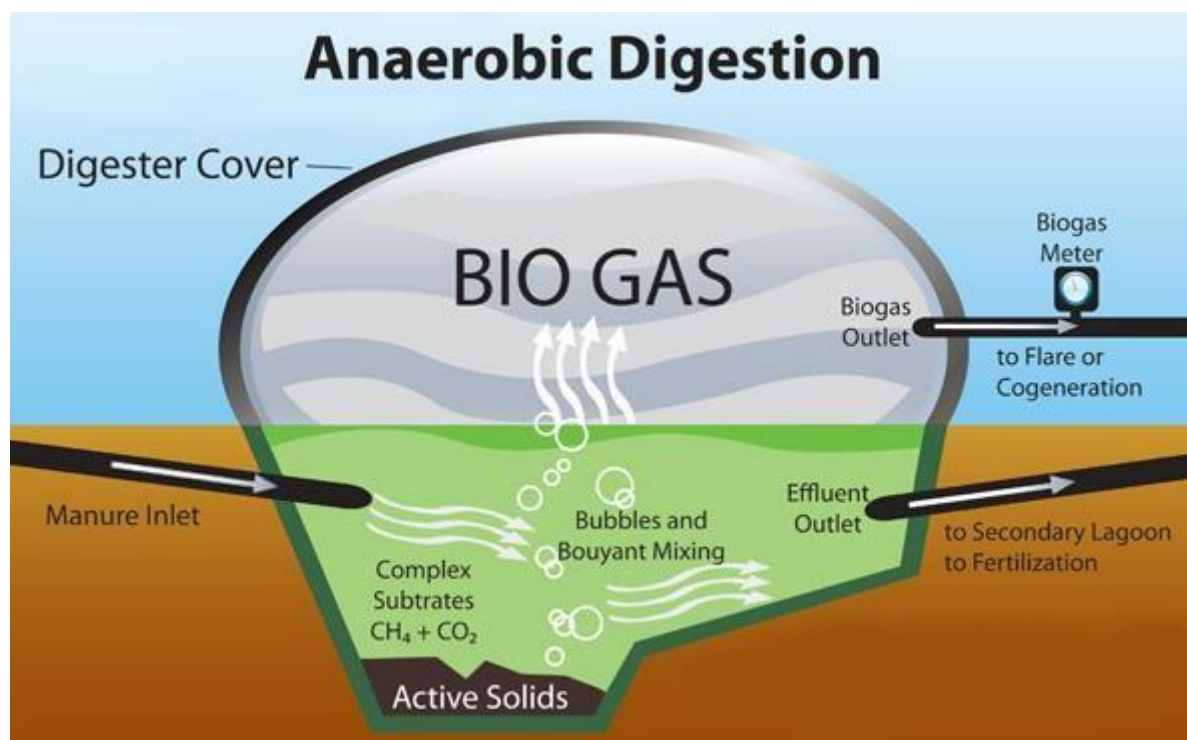
Os biodigestores de fluxo descontínuo são utilizados para biomassas específicas de decomposição lenta e, após o término de todo o processo, o biodigestor precisa ser totalmente esvaziado para que se dê início a um novo ciclo de digestão (OTENIO, 2017). Os biodigestores do tipo batelada são indicados geralmente para resíduos que são gerados em determinadas épocas, como por exemplo a cama de frango que é retirada após a saída dos animais para o abate, ou ainda no caso dos confinamentos, onde os galpões possuem uma escala periódica para limpeza e retirada dos resíduos (MACHADO, 2011). Sagula, Costa e Lucas Junior (2017) utilizaram biodigestor do tipo batelada para o tratamento de resíduos de cama de frango, que é um resíduo que necessita ser preparado anteriormente com algum pré-tratamento, precisando passar por um processo de trituração para melhorar as suas condições granulométricas para que não se iniba a atividade microbiana, além de precisar de diluição em água para o processo de recirculação do material.

A simplicidade e a facilidade operacional apresentadas pelo biodigestor de fluxo contínuo, fazem com que este seja o modelo mais amplamente utilizado. Dentro desta classe, existem três modelos principais que se apresentam como alternativas para realizar o tratamento dos dejetos, sendo eles:

- Biodigestor modelo Tubular: Também é conhecido como biodigestor modelo Canadense (Figura 3). Diferente dos outros modelos, este se apresenta de forma horizontal com uma caixa de carga em alvenaria, possuindo largura maior do que sua altura (OTENIO, 2017). Isso confere a este modelo, uma ampla área de exposição a luz solar, garantindo boas condições para a produção e aproveitamento do biogás, que poderá ser armazenado em um gasômetro separado do sistema. Neste contexto, a localização do biodigestor é um fator de grande importância para garantir o sucesso operacional do mesmo, que deve ser construído em um local protegido de ventos frios, que não interfiram nas condições ótimas para os processos ocorrerem. Além disso, para

garantir a segurança contra algum possível tipo de contaminação, recomenda-se uma distância de 30 a 50 metros de qualquer fonte de água (OTENIO, 2017).

Figura 1 – Desenho esquemático de um biodigestor modelo tubular (canadense).

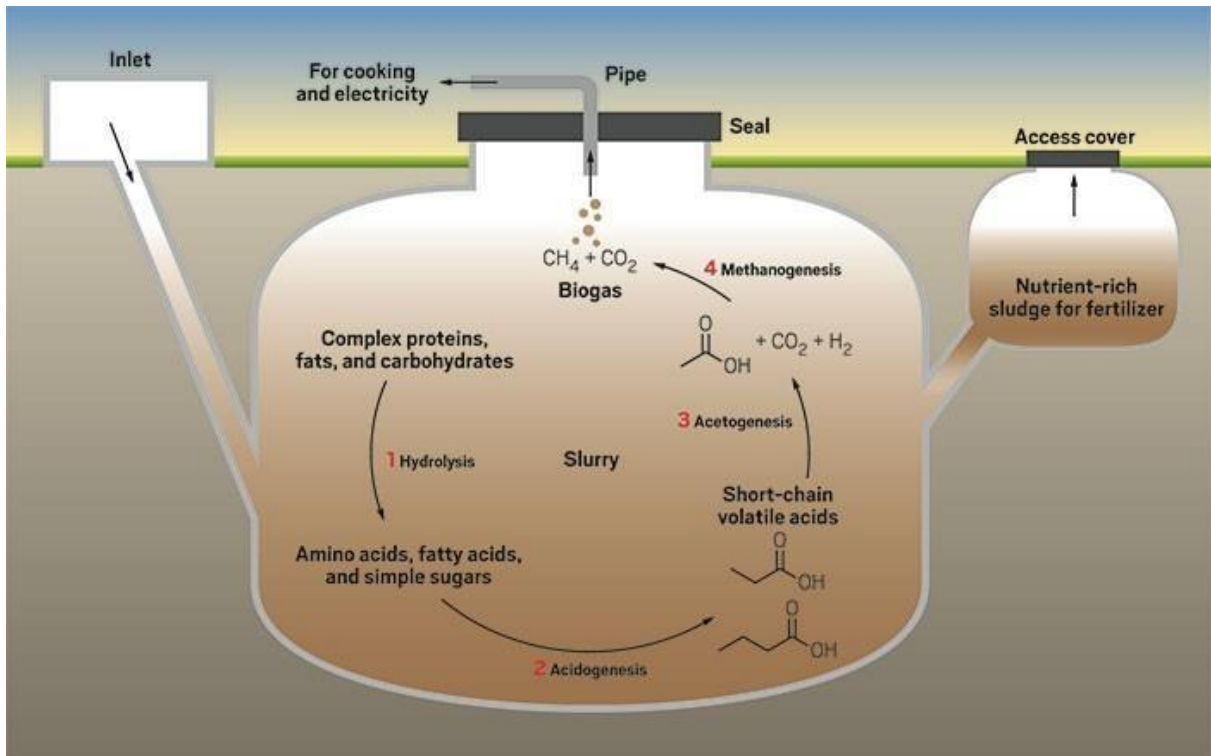


Fonte: Burdett (2014)

- Biodigestor modelo Chinês: Diferentemente do primeiro modelo, este é construído de forma vertical (Figura 2). O local onde ocorre o processo de fermentação é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria, possuindo teto impermeável e abobado, onde será armazenado o biogás (FRIGO et al., 2015). Esta característica construtiva dispensa a construção de um gasômetro em separado. No entanto, é necessário atentar-se a possibilidade de vazamentos, caso não seja feita uma boa vedação e impermeabilização do sistema. Como o princípio de funcionamento deste biodigestor baseado nos princípios de diferença de pressão, o trabalho de construção do mesmo deve ser extremamente qualificado para que se garanta uma boa pressão de trabalho e ocorram os deslocamentos de efluente para a caixa de saída (SILVA, 2016). O sistema também deve ter uma série de cuidados na construção e manutenção para evitar possíveis infiltrações que possam influenciar no desempenho de todo o sistema.



Figura 2 – Desenho esquemático de um biodigestor chinês



. Fonte: Lim (2016)

- Biodigestor modelo Indiano: Modelo de biodigestor que se apresenta da maneira construtiva mais simples e, por essa razão, é o mais utilizado no Brasil (Figura 3). Seu diferencial com relação ao modelo chinês está relacionado a câmpanula construída em aço e que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou se apresentar como um selo externo (FRIGO et al., 2015). Silva (2016) destaca que esta câmpanula (gasômetro) geralmente está mergulhada sobre a própria biomassa a ser digerida ou sobre um selo d'água externo, onde os deslocamentos do gasômetro irão trabalhar para manter a pressão constante à medida que o biogás é produzido.

Figura 3 – Desenho esquemático de um biodigestor indiano.



Fonte: Costa (2014)

Zawatski (2018) realizou um estudo completo do tratamento de efluentes da bovinocultura leiteira, onde os biodigestores tiveram papel de destaque principalmente nos quesitos de facilidade operacional, relação custo-benefício, e boa eficiência no tratamento dos dejetos. Segundo esta autora, os três modelos de biodigestores comparados (os quais foram citados anteriormente no texto) não diferem muito na parte operacional, mas sim nos critérios construtivos, de custo e manutenção. Dentre eles, o modelo chinês, foi o que possuiu pior desempenho na remoção de sólidos do efluente. Já o biodigestor indiano oferece um sistema contínuo, que não gera perdas de biogás, entretanto, o gasômetro deste modelo deve ser construído em aço, o que acaba sendo um fator construtivo determinante para este tipo de biodigestor. Enquanto o modelo canadense apresentou o melhor conjunto de vantagens aliando baixo custo com fatores de construção e manutenção mais simples, além de remover a maior quantidade de sólidos do efluente.

Weber et al. (2014) realizaram estudo com um biodigestor de fluxo contínuo construído em fibra de vidro e enterrado no solo para tratamentos de dejetos bovinos e obtiveram remoção de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis, respectivamente, de 46,6% e 54,66%. Os autores citam que é uma eficiência de remoção mais baixa, por exemplo, do que para dejetos bovinos, o que pode ser explicado pela alimentação dos animais, no qual o volumoso consumido pelos bovinos possuem materiais mais difíceis de serem degradados como a celulose e a lignina (WEBER et al., 2014).

Soares (2016) em estudo realizado com biodigestor construído em fibra de vidro, verticalmente no solo, encontrou valores de remoção média para Sólidos Voláteis de 63,76% e de 56,76% para Sólidos Totais.

## **2.6 Biofertilizante e sua utilização**

Segundo Fernandes (2016), o biofertilizante é o efluente obtido do processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica e água, que possui compostos bioativos de origem vegetal e animal, resultantes do processo citado, dando origem a um composto rico em nutrientes. A composição do biofertilizante é bastante variada devido aos processos a que é submetida a matéria orgânica desde o momento em que é excretada do organismo dos animais até passar pelos últimos processos digestivos anaeróbios (FERNANDES, 2016). Segundo Daniel (2015), o principal motivo para que os biofertilizantes alcancem uma boa capacidade de fertilização do solo deve-se ao fato da significativa diminuição de carbono provocada pela digestão da biomassa que, no processo, acaba sendo transformando o carbono majoritariamente em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , além de haver solubilização de outros nutrientes. Pelo processo de fermentação (MEDEIROS e LOPES, 2006).

Os principais nutrientes utilizados como base para calcular os valores utilizados, são os chamados macronutrientes, pois são exigidos em maiores concentrações, sendo eles Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Enxofre, Cálcio e Magnésio, e a disponibilidade dos mesmos é um grande diferencial para a sua aplicação em determinado tipo de solo ou cultura (SANTOS et al., 2006). Contudo, Santos et al. (2006) indicam que para evitar quaisquer problemas de adição em excesso de algum tipo de nutriente, deve-se sempre tomar como referência o nutriente exigido em menor quantidade respeitando as necessidades supracitadas.

Das vantagens que se pode citar sobre os biofertilizantes, uma das principais é referente ao baixo custo. Como o mesmo acaba sendo um subproduto de todo o processo produtivo, isso acaba facilitando o seu aproveitamento no local determinado. O fertilizante orgânico pode ainda melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, não gerando problemas com relação a acidez (como pode ocorrer com fertilizantes de origem química), O biofertilizante é uma alternativa de recuperação do solo degradado pois a partir do momento que entra em contato com o solo, melhora as condições de penetração das raízes, melhora a porosidade, o que facilita a passagem de ar e permite maior absorção de água e nutrientes, proporcionando melhores condições de desenvolvimento para as plantas (FLORES, 2014).

Alonso e Costa (2017) realizaram um estudo sobre as características de um sistema de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com diferentes doses de biofertilizante proveniente da bovinocultura leiteira e comprovaram a eficiência e os efeitos benéficos ao cultivo das pastagens, gerando retorno para a produção através de um ciclo sustentável, substituindo um eventual uso de fertilizantes inorgânicos.

Araújo et al. (2007) analisaram o desenvolvimento do pimentão e observaram que a aplicação do biofertilizante bovino pode ser uma alternativa não-convencional para a fertilização, podendo ser aplicado de forma isolada ou em associação com algum outro tipo de matéria orgânica.

Zawatski (2018) mostra que um sistema combinado de tratamento preliminar com gradeamento e utilização de biodigestor de modelo canadense para tratamento secundário consegue dar uma resposta positiva para o manejo dos efluentes gerados na bovinocultura leiteira. O tratamento representou uma alternativa de boa viabilidade por apresentar baixos custos de operação, implantação e manutenção, proporcionando a redução dos impactos ambientais que poderiam ser causados pela disposição inadequada dos dejetos gerados, além de oferecer um subproduto de grande utilidade (biofertilizante) que pode reduzir custos com fertilizantes químicos para o desenvolvimento das pastagens.

Bertoncini (2008) aponta o reuso agrícola como uma alternativa importante para auxiliar na gestão de recursos hídricos, pois ao dispor determinado efluente tratado no solo, é possível contribuir na demanda hídrica das culturas e do solo, além de auxiliar no suprimento nutricional, haja visto que o solo consegue ter melhor adsorção dos nutrientes ali dispostos. Entretanto, a própria autora cita que as práticas de reuso agrícola no país ainda podem ser consideradas incipientes devido a questões que ainda são obstáculos para a expansão da prática no nosso país, estão relacionadas principalmente aos aspectos legislativos e técnicos.

É necessário compreender todos os processos e reações que estão envolvidas na obtenção do adubo orgânico, como também é extremamente importante conhecer atributos da área que irá receber o produto gerado. Tem-se buscado cada vez maior nível de detalhes sobre as características foliares, do solo, que estão diretamente ligadas ao ambiente que será parte do processo de produção, envolvendo conhecimentos de profissionais de diferentes áreas, visando melhoramento produtivo e retorno econômico (SILVA et al., 2012). É preciso que a adubação orgânica seja realizada de maneira consciente, respeitando as especificidades e os valores de referência para cada tipo de solo, para que seja uma atividade que contribua positivamente para o equilíbrio ecológico, sem trazer consequências negativas para o ecossistema.

Há uma série de riscos quando se trata sobre a disposição de águas residuárias no solo. Teixeira (2016) cita que a aplicação de águas com elevado teor de materiais graxos pode ocasionar selamento superficial ao solo, o que diminui a capacidade de infiltração do mesmo, reduzindo a disponibilidade de água para plantas e micro-organismos, além de acarretar processos erosivos. Resíduos com elevado teor de sódio também podem causar selamento superficial pela desestruturação dos agregados do solo pois, em baixa condutividade elétrica, irão aumentar a argila dispersa em água, aumentando o escoamento superficial (TEIXEIRA, 2016).

De acordo com Fernandes (2016), a utilização da ARB sem algum tipo de tratamento prévio, pode oferecer riscos as condições sanitárias e ambientais do local. Contudo, os parâmetros físico-químicos avaliados tiveram reduções significativas ao passar pelo tratamento dos biodigestores, o que demonstra sua boa eficiência na remoção da carga orgânica, sendo uma alternativa sustentável para melhoria das condições no saneamento rural (FERNANDES, 2016). Além de melhorar as condições microbiológicas dos efluentes, com uma redução microbiana ligeiramente maior no período do verão, possibilita a utilização dos compostos biofertilizante e biogás que foram gerados pela digestão anaeróbia (FERNANDES, 2016).

## **2.7 Biogás**

O mesmo processo de digestão anaeróbia que estabiliza a matéria orgânica e faz com que seja possível aproveitar o biofertilizante, também produz o biogás, que é um subproduto de extrema importância, que pode ser revertido em melhorias energéticas, ambientais e econômicas para a produção agrícola. A produção de Metano realizada pelo grupo de arqueas metanogênicas em maior ou menor quantidade, segundo Prati (2010), depende de diversos fatores, tais como:

- Impermeabilidade do ar (ausência de Oxigênio): Como o processo de digestão é realizado por bactérias estritamente anaeróbias, quando se tem grandes quantidades de Oxigênio no ar do meio, acaba-se por gerar mais dióxido de Carbono do que gás Metano, o que acaba deixando a mistura final com um valor energético menor;
- Natureza do substrato: O substrato utilizado como alimento para os micro-organismos, deverá ser equilibrado nutricionalmente com elementos químicos necessários as atividades enzimáticas como Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio, Zinco, Ferro, Cobalto, Cobre, Molibdênio e Manganês. Contudo, estes elementos devem ter suas concentrações controladas, pois podem inibir o processo de fermentação caso estejam

presentes em quantidades elevadas. Todavia, os macroelementos como o Carbono, Nitrogênio, Fósforo, e Enxofre tem um papel de suma importância no rendimento da fermentação;

- Composição dos resíduos: A matéria orgânica é o fator determinante na composição dos resíduos. Quanto maior sua quantidade, maior o potencial de produção de Metano e, conseqüentemente, maior vazão de biogás. A relação Carbono/Nitrogênio é essencial e neste caso, pode ser avaliada pela relação DQO:N:P, cuja faixa ótima para garantir a boa atividade microbiana é 350:5:1.
- Teor de água (umidade): Participando desde a regulação térmica até o fornecimento de alguns compostos energéticos, o teor água deve ser mantido entre 60 a 90% do peso total.
- Temperatura: A manutenção do equilíbrio nas condições de temperatura é de extrema importância para que as bactérias consigam realizar as atividades enzimáticas sem serem comprometidas, visto que alterações radicais podem causar problemas principalmente para as bactérias formadoras de metano. O grupo de bactérias mesofílicas, trabalha com temperaturas entre 32 e 37°C, enquanto que as bactérias termofílicas, tem sua faixa ótima um pouco mais elevada (entre 50 e 60°C). Em temperaturas muito acima do limite das termofílicas, as enzimas acabam sendo destruídas, enquanto que em temperaturas muito baixas, sua atividade fica inibida.
- pH: Dentro do processo de digestão anaeróbia, o pH acaba sendo diretamente influenciado pelas etapas que ocorrem. Pode-se destacar, em primeiro momento, uma redução no pH, que o deixa próximo de 5,0, devido a ação das bactérias acidogênicas, que possuem um crescimento mais rápido e liberam uma grande quantidade de ácidos graxos voláteis. O segundo momento de destaque, é no momento de atividade das bactérias metanogênicas, que possuem crescimento mais lento e elevam o pH gradativamente, principalmente por catálise do ácido acético. Quando se trata do modelo de biodigestor contínuo, o pH costuma permanecer na faixa de neutralidade (próximo a 7,0).

Conforme citado anteriormente, quatro etapas compõem o processo de digestão anaeróbia: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (em alguns casos, podendo ocorrer também a sulfetogênese). De acordo com dados da CETESB (2011) a composição do biogás pode ser definida em Metano ( $\text{CH}_4$  – 50 a 70%) e dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$  – 25 a 50%), oxigênio ( $\text{O}_2$  – 0 a 2%), Hidrogênio ( $\text{H}_2$  – 0 a 1%), gás Sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$  – 0 a 3%), Nitrogênio

(N<sub>2</sub> – 0 a 7%), amônia (NH<sub>3</sub> – 0 a 1%), monóxido de Carbono (CO – 0 a 1%) além de outros gases em concentrações traço. O biogás pode ser qualificado através do seu teor de Metano. O CH<sub>4</sub> é um gás que possui alto poder calorífico o que faz com que ele tenha um alto valor combustível. Todavia, possui um potencial de aquecimento global vinte e uma vezes maior que o CO<sub>2</sub>, por exemplo (FLORES, 2014). Pereira (2017) expõe os potenciais de geração de biogás por tipo de biomassa animal:

Tabela 3 - Produção diária de biomassa e potencial de geração de biogás

<b>Espécie</b>	<b>Esterco por animal (kg)</b>	<b>m<sup>3</sup> de biogás/kg esterco</b>	<b>m<sup>3</sup> de biogás/animal</b>
Caprino/ovino	0,5	0,040 - 0,061	0,02 – 0,03
Bovinos de leite	25	0,040 – 0,049	1,00 – 1,23
Bovinos de corte	10	0,040	0,40
Suínos	4	0,075 – 0,089	0,30 – 0,36

Fonte: Pereira (2017)

Como seu principal componente é o Metano, quanto maior o teor deste gás na mistura, mais puro será o biogás produzido (SANTOS, 2018). Em contrapartida, a própria autora destaca que o gás Sulfídrico, responsável pelo mau odor da mistura gasosa (semelhante ao cheiro de ovo podre), além de abaixar a qualidade do biogás, pode causar corrosão nos componentes que fazem parte do processo de geração do biogás.

A remoção do gás Sulfídrico pode ser realizada por meio da adição de oxigênio (aeração) que favorece o crescimento de bactérias que irão oxidar o H<sub>2</sub>S, gerando o processo de dessulfurização biológica, realizado por uma gama de micro-organismos que é bastante encontrada no meio anaeróbio, transformando o composto em enxofre elementar (PIROLI, 2016). Contudo, o autor destaca que a razão de aeração adicionada ao meio deve ser

cuidadosamente controlada pois dosagens erradas de podem inibir a produção de metano, além de gerar a possibilidade de explosões.

A dessulfurização do biogás pode ser feita, também, por meio da adsorção em carvão ativado ou óxido de ferro que irá acelerar o processo de oxidação do enxofre, conseguindo eliminá-lo do sistema (PIROLI, 2016). Entretanto, o autor cita que este é um processo que encarece os custos do sistema tanto na implantação dos materiais oxidantes quanto para a manutenção e cuidados de bom funcionamento do mesmo.

A biomassa pode ser convertida de diversas formas para que se alcance o aproveitamento energético, podendo sofrer processo de combustão direta, processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou processos biológicos (digestão fermentativa e digestão não-fermentativa) (PEREIRA; GODOY; GODOY, 2015). A conversão energética que gera o biogás tem sido encarada como uma possibilidade para mitigar impactos referentes a emissão de poluentes atmosféricos, uma vez que a estrutura construtiva (no caso, o biodigestor), é capaz de captar esse gás e utilizá-lo como uma fonte de energia renovável (PEREIRA; GODOY; GODOY, 2015).

Segundo Flores (2014), a crise da década de 1970 no setor petrolífero, fez com que fossem dados os primeiros passos na busca por fontes alternativas de energia. Nesse contexto, o autor destaca que a biomassa ganhou destaque devido à grande representatividade das atividades agrícolas no país, que contribuem significativamente na geração deste resíduo. De acordo com Milanez et al. (2018), os resíduos gerados pelas atividades agroindustriais detêm cerca de 75% do potencial de matéria-prima para geração de biogás. Os autores destacam que o Brasil encontrou um nível de maturidade relacionada a produção de biogás, fato que se associa a inclusão desta fonte de energia no plano de expansão de energia elétrica, o que pode significar evolução na produção desta forma de energia renovável

De acordo com Flores (2014), estão sendo criadas novas oportunidades para estimular a implementação de novos sistemas de geração de energia, que irão utilizar o biogás como fonte primária, diversificando assim a matriz energética do país, que está pautada basicamente nas energias hídrica e de combustíveis fósseis. O Programa de incentivo as Fontes de Energia no Brasil (PROINFA) objetiva auxiliar pequenos produtores e empreendedores que não possuem vínculos com quaisquer concessionárias de distribuição para que possam atuar gerando energia de maneira independente, no qual desde 2010, com a criação do Plano da Agricultura de Baixo Carbono (ABC), estão sendo criados estímulos para os produtores rurais investirem em práticas agrícolas sustentáveis (FLORES, 2014).



Uma normativa que contribuiu bastante para que se produzisse o biogás foi a Lei nº 12.305 de 2010, que é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) juntamente com o decreto 7.404 deste mesmo ano, que tratam sobre a implantação de biodigestores no território brasileiro com argumentos que reforçam e incentivam que devem ser os resíduos sólidos orgânicos urbanos podem ser utilizados como fonte primária na digestão anaeróbia, e os dejetos animais, entram como fonte secundária (SANTOS, 2018).

Em trabalho realizado por Xavier, Santos e Lucas Junior (2016), foi possível comprovar a melhoria na produção de metano através da adição de cana de açúcar *in natura* mais caldo de cana gerando incrementos de 15 a 24%. Os autores citam que os incrementos gerados podem ser explicados pela cana de açúcar ser rico em carbono e outros nutrientes essenciais ao metabolismo dos micro-organismos da biodigestão anaeróbia, além de possuir também capacidade de tamponamento, controlando assim o pH do meio.

Montoro (2017) realizou um estudo da co-digestão da batata doce em conjunto com os dejetos de bovinos leiteiros e verificou que ao aumentar os teores de batata doce como incremento aos dejetos em digestão, a produção de biogás também aumentou gradativamente. A autora destaca que o fato pode estar relacionado as características nutricionais da batata doce, que é constituída em 85% por carboidratos altamente hidrossolúveis.

O estudo realizado por Fernandes (2016b) mostra que a co-digestão dos dejetos bovinos juntamente com a água residuária de laticínio, possui uma faixa ótima que também é capaz de melhorar as condições para a produção de biogás do sistema. A autora demonstra em seu estudo que o teor de água residuária de laticínio a ser adicionado não deve ultrapassar a porcentagem do substrato que está sendo digerido, devido ao potencial de gerar acidez ao meio, inibindo a produção final de Metano.

Tabela 4 - Produção média total de biogás obtidos de biodigestores bateladas operados com dejetos de bovinos em co-digestão com água residuária de laticínio.

Tratamento	Produção m <sup>3</sup>
0% ARL	0,03225
50% ARL	0,26610
77,5% ARL	0,03338
100% ARL	0,03616

Fonte: Adaptado de Fernandes (2016b)

Com relação as práticas que visam mitigar as emissões da GEEs nas atividades agropecuárias, elas fazem parte de uma estratégia que tem como objetivo principal, melhorar a qualidade dos sistemas de criação a longo prazo, lidando com as questões que envolvem variações climáticas, as quais podem acabar influenciando negativamente para a produção (GARCIA JUNIOR; PIRES; CUNHA, 2016). Nesse contexto o plano ABC, já citado anteriormente, é uma das estratégias que tem como principal objetivo estimular práticas e o desenvolvimento de tecnologias que busquem ser adaptáveis a realidade da mitigação das emissões de poluentes, entre os anos de 2011 e 2020, onde as atividades da agricultura brasileira serão priorizadas (GARCIA JUNIOR; PIRES; CUNHA, 2016). Os autores ainda destacam que um dos programas do plano da agricultura de baixo carbono é voltado especificamente para o tratamento de dejetos animais, onde há uma meta de aumento da utilização de tecnologias para o tratamento destes resíduos em 4,4 milhões de m<sup>3</sup> até o ano de 2020.

Entretanto, existem algumas dificuldades relacionadas ao uso do biogás como fonte energética em nosso país. Um dos primeiros fatores que pode ser destacado, está relacionado a distribuição do potencial de aproveitamento desta fonte proveniente dos resíduos da pecuária e a sua dispersão pelo país (MARIANI, 2018). Além disso, a autora enfatiza que a infraestrutura do país está bastante aquém do real potencial de produção do biogás, tratando-se da disponibilidade de recursos para transporte do produto (gasodutos), o que dificultaria o possível aproveitamento para a rede energética.

Além das dificuldades infra estruturais, Mathias (2014) enfatiza que o fato da principal porcentagem dos produtores do país, se enquadrarem no grupo da agricultura de subsistência (ou familiar), dificulta a realização de grandes investimentos iniciais em tecnologias de aproveitamento energético, dependendo muitas vezes da disponibilidade de incentivos relacionados as políticas públicas do país. Um outro ponto destacado pelo autor, trata sobre a questão regulatória sobre os aspectos energéticos do biogás, onde a mistura proveniente da digestão da biomassa não pode ser enquadrada como “gás natural” pois não é proveniente de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, como é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Paim (2018) coloca que para determinar a composição do biogás de maneira precisa e especializada, existem métodos de análises, ensaios de cromatografia, dentre outras práticas que irão qualificar os componentes que estão presentes na mistura gasosa produzida que são regulamentadas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Dentre os testes que podem ser realizados, o ensaio de BMP (Potencial Bioquímico de Metano) é uma ferramenta bastante útil para se monitorar o volume de biogás gerado, através da quantificação da produção de metano. O ensaio é realizado através de medições das pressões internas do sistema e do ambiente, onde uma determinada amostra é inoculada com o resíduo decomposto em um determinado meio de cultura (SILVA; MORAIS JUNIOR; ROCHA, 2016).

O ensaio de Atividade Metanogênica Específica (AME) também pode ser utilizado para avaliar a produção de metano através do desempenho dos micro-organismos metanogênicos, onde o procedimento irá quantificar a capacidade máxima de produção de metano de um grupo de micro-organismos para a produção de biogás (AQUINO et al., 2007).

A energia elétrica derivada do biogás, pode ser obtida através do processo de combustão quando o mesmo é utilizado para acionar conjuntos motor-gerador, que são capazes de converter a energia mecânica gerada pelo gás introduzido em alta pressão no motor em energia elétrica (MILANEZ et al., 2018). Machado (2014) traz dados sobre o maior projeto de biodigestor do mundo, localizado na Alemanha, que foi inaugurado em 2009. O autor expõe que o projeto ocupa uma área de 50 hectares e o biodigestor gera cerca de 160 milhões de kWh/ano de energia elétrica e cerca de 180 milhões de kWh/ano de energia térmica, além de gerar cerca de 5000 metros cúbicos de biogás por hora na rede de gás natural do país.

A geração de energia elétrica através da alimentação de microturbinas por biogás proveniente de dejetos bovinos mostrou-se bastante eficiente em estudo realizado por Hirano e Silva (2014). Na propriedade em questão, 300 vacas leiteiras e os demais aparatos de produção possuíam uma demanda média estimada em 9500 kWh por mês, sendo que os autores alcançaram uma capacidade de geração energética pelos dejetos produzidos pelos animais foi de cerca de 9081 kWh mensal, representando uma economia de pouco mais de 95% no abastecimento energético.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos mostram que o biofertilizante da bovinocultura leiteira pode trazer resultados bastante satisfatórios para as mais variadas culturas plantadas, sendo capazes de suprir suas necessidades nutritivas e proporcionando melhoria nas características do solo. A disposição deste subproduto como fertilizante no solo é uma técnica um tanto quanto complexa, que demanda análises profundas sobre as características de solo, da planta e da própria água do local, se tornando um dos maiores fatores complicadores para a utilização da técnica, haja visto

ainda que não existem legislações próprias e específicas em nosso país que regulamentem a disposição de efluentes no solo com clareza.

O potencial de produção do biogás através de dejetos oriundos da atividade de bovinocultura é um fator que merece ser explorado pois cada vez mais, estão sendo procuradas fontes renováveis de energia, uma vez que existe uma tendência muito grande para que os combustíveis fósseis sejam substituídos. Além disso, existem técnicas que estão sendo utilizadas visando incrementar a produção do biogás como a associação de outros resíduos a biomassa bovina (co-digestão) além de realizar algum tipo de pré-tratamento antes de enviar os resíduos aos biodigestores, para que o processo se torne ainda mais efetivo e gere um produto com uma maior qualidade de aproveitamento. O retorno trazido pela utilização do biogás mostra-se interessante principalmente na questão da geração de energia.

Apesar das alternativas, a disseminação dos biodigestores no país ainda esbarra nos altos investimentos necessários, diante de uma parcela de contribuintes que não detém tanto poder aquisitivo para investir nesse tipo de tecnologia, além dos próprios aspectos de infraestrutura do país que estão aquém do potencial de aproveitamento do produto gerado. Além disso, o bom entendimento do processo de digestão anaeróbia é outro gargalo para a disseminação da prática pois necessita de grande nível de conhecimento técnico sobre as atividades microbiológicas e necessidades operacionais.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, R. A.; COSTA, L. V. C. Caracteres agronômicos de b. Brizantha cv. Xaraés (mg5), sob diferentes doses de biofertilizante de dejetos de bovino leiteiro. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 4, p.400-411, dez. 2017. Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/582>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

ALMEIDA, G. V. **Tratamento de Água Residuária de Bovinocultura de Leite, Utilizando Leitões Cultivados**. 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

ARAÚJO, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BRITO, N. M.; NEVES, C. M. L.; SILVA, E. E. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p.466-470, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n5/v11n05a03.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

ASSIS, A.G.; STOCK, L.A.; CAMPOS, O.F.; GOMES, A, T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M.R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Circular Técnica 85, p.1-5, Dezembro, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65268/1/CT-85-Sist-prod-leite-Brasil.pdf>. Acesso em: 04 abr 2019.

BACCA, A. **Dejetos de animais como fertilizante em longo prazo: impacto nas emissões de óxido nitroso e na produtividade das culturas**. 2018. 94 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BATISTA, R. O.; BATISTA, R. O; FIA, R.; DOMINGUES, R, R. **Manejo de águas residuárias da bovinocultura de leite para uso em cultivo de plantas**. Boletim Técnico - n.º 100. Lavras - MG. 29p. 2014.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, p.152-169, jun. 2008.

CARVALHO, R. C. **Energias renováveis: biogás, energia elétrica provenientes de resíduos de bovinocultura.** 2019. 29 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2019.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 5. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2008.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; BORGES, A. L.; NETO, T. M. A.; PINTO, J. M. Fertilização. **Informe Agropecuário**, v. 31, n. 259, p.58-70, 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/886343/fertilizacao>>. Acesso em: 01 jul. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430.** 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=64>>. Acesso em: 10 maio 2019.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p.140-147, 2006.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. **Biodigestores.** IN: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Anais. Ponta Grossa, 2008.

COSTA, E. A. D.; GROSSO, L. G. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura leiteira.** 2015. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015.

DANIEL, T. R. **Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira.** 2015. 63 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

DECEZARO, S. T. **Tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite no Brasil – situação atual e possibilidades.** Monografia (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen – RS, 88p. 2013.

FAGUNDES, T. S. **Uso de polímero natural a base de amido como auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com flotação por ar dissolvido.** 2010. 111 p. Monografia (Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FERNANDES, A. **Água residuária de laticínio em co-digestão com dejetos de bovinos leiteiros.** 2016. 74 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

FERNANDES, A. J. **Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos.** 2016. 66 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

FLORES, M. C. **Viabilidade econômica do biogás produzido por biodigestor para produção de energia elétrica – estudo de caso em confinador suíno.** 2014. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p.57-65, mar. 2015. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528/8708>>. Acesso em: 27 maio 2019.

HIRANO, M. Y.; SILVA, C. L. Análise da viabilidade do uso de biogás gerado a partir de dejetos bovinos em microturbinas para fins de geração, cogeração e trigeração de energia. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 1, p.28-41. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/135492>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de origem animal por tipo.** 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

JOHANN, A. S. T. **Desenvolvimento de tecnologia alternativa para tratamento de efluente de limpeza dos currais de gado leiteiro**. 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Toledo, 2010.

GARCIA JUNIOR, L. C.; PIRES, M. V.; CUNHA, D. A. Biodigestores para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela bovinocultura na região sudeste, BRASIL. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 14, n. 1, p.139-166, mar. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/ojs/rea/article/view/7667/3158>>. Acesso em: 22 maio 2019.

LEITE, W. R. M. **Digestão anaeróbia em temperaturas mesofílica e termofílica de lodo de ete usando reatores de estágio único e dois estágios**. 2015. 193 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MACHADO, C. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. 2011. 53 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

MARIANI, L. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil**. 2018. 144 p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

MATHIAS, J. F. C. M. **Biogás em propriedades rurais familiares: uma opção de desenvolvimento local sustentável**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 10., 2014, Ribeirão Preto. Anais... Rio de Janeiro, 2014. p. 1-22.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2005. Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>. Acesso em: 10 mai 2019.



MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p.24-26, 2006. Disponível em:

<<https://www.researchgate.net/publication/273320866>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MONTORO, S. B. **Co-digestão de batata doce com dejetos de bovinos leiteiros: uma avaliação técnica e econômica para produção de energia e biofertilizante**. 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

MILANEZ, A. Y.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B. S. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, v. 23, n. 47, p.221-276, mar. 2018. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15221>>. Acesso em: 30 maio 2019.

MINISTÉRIO DA CIEÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES. **Participação de gases por setor**. 2010. Disponível em: <[http://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/paineis/2018/08/24/Participacao\\_de\\_gases\\_por\\_setor.html](http://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/paineis/2018/08/24/Participacao_de_gases_por_setor.html)>. Acesso em: 27 abril 2019

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de Carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p.623-634, 2015. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/287210627\\_Revista\\_Brasileira\\_de\\_Geografia\\_Fisica\\_Gases\\_de\\_efeito\\_estufa\\_em\\_sistemas\\_de\\_producao\\_animal\\_brasileiros\\_e\\_a\\_importancia\\_do\\_balanco\\_de\\_carbono\\_para\\_a\\_preservacao\\_ambiental\\_Greenhouse\\_gases\\_in\\_brazilia](https://www.researchgate.net/publication/287210627_Revista_Brasileira_de_Geografia_Fisica_Gases_de_efeito_estufa_em_sistemas_de_producao_animal_brasileiros_e_a_importancia_do_balanco_de_carbono_para_a_preservacao_ambiental_Greenhouse_gases_in_brazilia)>.

Acesso em: 17 maio 2019.

OTENIO, M. H. **Manejo de resíduos em sistemas de produção de leite: limpeza hidráulica dos pisos e produção de biofertilizante**. Fórum de discussão, Pecuária de baixa emissão de Carbono, Geração de valor na produção intensiva de carne e leite. 2017.

PAIM, J. V. **Aplicação do biogás produzido a partir de dejetos de gado leiteiro como fonte alternativa de energia em uma queijaria**. 2018. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Aranguá, 2018.

PELLISSARI, C. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento subsuperficial**. 2013. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PEREIRA, M. S.; GODOY, T. P.; GODOY, L. P. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p.239-247, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/18064/pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

PIROLI, M. **Avaliação da remoção de sulfeto de Hidrogênio de biogás provindo da digestão de efluentes suínocolas utilizando biofiltro em escala piloto**. 2016. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 2012. 79 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

RESENDE, J. A.; DINIZ, C.G.; SILVA, V. L.; CARNEIRO, J. C.; RIBEIRO, M. T.; LIMA, J. C. F.; OTENIO, M. H. Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica. **Embrapa Gado de Leite - Circular Técnica (infoteca-e)**, v. 1, n. 1, p.1-5, 2015. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1025416>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

RICARDO, T. N. A. **Plano de manejo de resíduos de bovinocultura leiteira de uma propriedade rural no município de Santa Bárbara do Monte Verde, MG**. 2010. 65 p. Trabalho Final de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária - Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora, 2016.

SAGULA, A. L.; COSTA, L.V. C; LUCAS JUNIOR, J. Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 4, p.373-384, 2017. Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/580>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

SANTOS, R. C. F. **Análise das políticas públicas para o fomento à produção de biogás a partir de resíduos da pecuária leiteira em São Miguel do Oeste/SC**. 2018. 155 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Aranguá, 2018.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E.C.; BATISTA, R.O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 1, p.32-38, 2006. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/237733552>>. Acesso em: 17 maio 2019.

SILVA, A. R.; FONSECA, A. L. D. Eutrofização dos recursos hídricos como ferramenta para a compreensão das doenças de vinculação hídrica. **Geosul**, v. 31, n. 62, p.247-270, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2016v31n62p247>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

SILVA, E. M. **Sistemas naturais para tratamento de resíduos líquidos de bovinocultura de leite**. 2013. 168 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

SILVA, G. A.; MORAIS JUNIOR, J. A.; ROCHA, E. R. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do potencial bioquímico do metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p.11-16. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00011.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

SILVA, H. W. da. Produção de biogás utilizando dejetos de vacas leiteiras – uma alternativa viável para redução de impactos ambientais. **Revista Técnico-científica do Crea-PR**, v. 13, n., 1, p.1-16, 2018. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/issue/view/12/show/Toc>. Acesso em: 05 maio 2019.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C. S.; ANDRADE, I. P. de S.; SILVA, G. T. da. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. **Irriga**, v. 1, n. 1, p.250-263, 2012. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/issue/view/23>>. Acesso em: 10 maio 2019.

SILVA, J. E. P. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo, SP.** 2016. 69 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SILVA, P. C. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como unidade de tratamento para efluente de suinocultura.** 2014. 103 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Resíduos e Efluentes), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOARES, C. M. T. **Influência das variações da temperatura na produção de biogás em biodigestores modelo biokohler protegido com estufa plástica.** 2016. 76 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural Sustentável), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2016.

TEIXEIRA, F. O. P. **Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal.** 2016. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

TOLLER, M. A. Transformação de resíduos agroindustriais através de biodigestores: Uma Gestão Sócio-Ambiental. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 1, p.42-50, 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/41921/pdf>>. Acesso em: 22 maio 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Cattle Stocks - Selected Countries Summary.** 2017. Disponível em: <[https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/mg74qq69r/j6731729p/livestock\\_poultry.pdf](https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/mg74qq69r/j6731729p/livestock_poultry.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2019.

VELOSO, A. V. **Análise ambiental e energética de sistema de produção de suínos com tratamento de dejetos em biodigestor**. 2014. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LEITE, J. B.; ALVES, E. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p.5-24, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/revista-de-politica-agricola/revista-politica-agricola-no-1-2017/view>>. Acesso em: 20 maio 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 1, 3ª ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

XAVIER, C. A. N.; SANTOS, T.M.B.; LUCAS JUNIOR, J. Digestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros: efeito da dieta e da adição de caldo de cana-de-açúcar. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 250, p.131-138, 2016.

ZAWATSKI, A. P. M. **Análise de viabilidade técnica e ambiental de estação de tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira**. 2018. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Unijui, Ijuí, 2018.

WEBER, R.; ZENATTI, D. C.; FEIDEN, A.; TIETZ, C. M. Produção de biogás com relação ao teor de sólidos voláteis dos dejetos de bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p.43-55, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/33912>>. Acesso em: 09 jul. 2019