

**USO DO BIODIGESTOR NA SUINOCULTURA: UMA ALTERNATIVA À
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ,
CEARÁ**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e22020783-818

Juan Carlos Alvarado Alcócer¹

Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto²

Jangirgledia de Oliveira³

Maria Elanny Damasceno Silva⁴

Ari Clecius Alvez de Lima⁵

RESUMO

A suinocultura é significativa do ponto de vista social e econômica. Sua exploração é apontada pelos órgãos ambientais como uma atividade causadora de degradação ambiental gerando grande quantidade de resíduos. No Maciço de Baturité uma parte de sua população rural sobrevive da exploração da suinocultura e os dejetos gerados frequentemente são desperdiçados. Nota-se escassez de trabalhos que apresentem a solução total ou parcial do problema ambiental gerado pela suinocultura em propriedades rurais no Maciço. O objetivo desse trabalho é mostrar que o uso do biodigestor na suinocultura é uma alternativa sustentável para a região do Maciço, podendo contribuir para o controle das emissões de gases de efeito estufa, redução dos impactos ambientais e produção de energia renovável e adubo orgânico. Realizou-se um levantamento dos biodigestores em propriedades rurais de suínos dos municípios do Maciço. Foram entrevistados agricultores para saber a destinação dada aos produtos da digestão anaeróbia (biogás e biofertilizante) e observaram-se os impactos ambientais gerados por resíduos animais, além de, realizar análise dos gases do biogás. Portanto, a produção do biogás e do biofertilizante pelo sistema de biodigestão agrega valor à propriedade rural, tanto pelo fato da geração de energia renovável quanto à reciclagem de nutrientes e saneamento ambiental.

Palavras-chave: Atividade suinícola. Impactos ambientais. Digestão anaeróbia. Energia renovável.

¹ Possui graduação em Física com o grau de Bacharel pela Universidad de Costa Rica (1988), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1994) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1999). Foi professor Titular da Universidade de Fortaleza. Atualmente é professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB. E-mail: jcalcocer@unilab.edu.br

² Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Ceará (2006), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (2008) e doutorado em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (2016). Atualmente é bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD) da CAPES no Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: agro.olienaide@gmail.com

³ Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis - MASTS(em andamento) pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB. Especialista em Biologia e Química - Universidade Regional do Cariri(URCA), em Gestão Pública - Universidade Estadual do Ceará(UECE) e em Gestão Escolar - Universidade Estadual Vale do Acaraú(UVA). Licenciada em Ciências com habilitação em Biologia e Química pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Bacharela em Administração pela Universidade Federal do Ceará(UFC). Integrante do grupo de pesquisa Gestão de Políticas Sociais - GPS(UNILAB/CNPQ). E-mail: jg.jangir@gmail.com

⁴ Mestrado acadêmico (em andamento) em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira - UNILAB. Especialista na área de Gestão Financeira, Controladoria e Auditoria pelo Centro Universitário Católica de Quixadá - UniCatólica (2016). Tecnóloga em Agronegócio pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE (2014). E-mail: elanny13@gmail.com

⁵ Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (2003), mestrado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará (2009) e doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará (2015). E-mail: ari.lima@nutec.ce.gov.br

USE OF THE BIODIGESTER IN SWINE: AN ALTERNATIVE FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN THE REGION OF THE MASSIF DE BATURITÉ, CEARÁ

ABSTRACT

Pig farming is significant from a social and economic point of view. Its exploitation is pointed out by the environmental agencies as an activity that causes environmental degradation generating large amounts of waste. In the Massif de Baturité a part of its rural population survives from the exploitation of swine and the waste generated is often wasted. There is a shortage of works that present the total or partial solution of the environmental problem generated by swine farming on rural properties in the Massif. The objective of this work is to show that the use of the biodigester in swine farming is a sustainable alternative for the Maciço region, and can contribute to the control of greenhouse gas emissions, reduction of environmental impacts and production of renewable energy and organic fertilizer. A survey of the biodigestors in rural pig farms of the municipalities of Maciço was carried out. Farmers were interviewed to know the destination given to the products of anaerobic digestion (biogas and biofertilizer) and the environmental impacts generated by animal waste were observed, as well as to perform the analysis of the biogas gases. Therefore, the production of biogas and biofertilizer by the biodigestion system adds value to the rural property, both for the generation of renewable energy and for the recycling of nutrients and environmental sanitation.

Keywords: Poultry activity. Environmental impacts. Anaerobic digestion. Renewable energy.

1 INTRODUÇÃO

A grande produção da suinocultura e a constante busca pelo aumento de produtividade colaboram de forma decisiva no aumento da poluição por dejetos, o que têm causado desequilíbrios ecológicos em diversas regiões brasileiras produtoras de suínos (CARVALHO et al., 2015). Os dejetos de suínos representam um potencial de energia aproveitável, podendo reduzir a liberação de resíduos no meio ambiente e o aumento do acesso a fontes de energia de baixo custo, tornando-se um norte para as pesquisas no intuito de proteger o meio ambiente das poluições (WINCKLER et al., 2017).

A suinocultura é uma atividade agrícola significativa do ponto de vista social e econômica. O predomínio dessa atividade agrícola marca uma região e conseqüentemente se os dejetos dos suínos não forem destinados adequadamente podem gerar impactos ambientais e socioculturais relevantes, sendo um desafio para os suinocultores (WINCKLER et al., 2017). Contudo, sua exploração é apontada pelos órgãos de controle ambiental, como atividade potencialmente causadora de degradação ambiental, pois, gera uma grande quantidade de resíduos, sendo dessa forma, um grande potencial poluidor do meio ambiente (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013). Os dejetos de suínos são 260 vezes mais poluentes quando comparados com o potencial poluente dos esgotos domésticos (MARTINKOSKI et al., 2017).

A biomassa é uma das maiores fontes de energia acessível nas áreas rurais. A degradação anaeróbia da matéria orgânica, presente nos dejetos de suínos, produz o biogás, podendo ser aproveitado como potencial energético por intermédio da queima e obtenção de energia térmica. A produção do biogás proporciona aos produtores uma opção energética renovável de excelente rendimento, custeando os gastos em energia elétrica e fornecendo energia limpa e distribuição correta dos efluentes gerados (COLATTO; LANGER, 2011).

A tecnologia da digestão anaeróbica em biodigestores é uma das possibilidades para o combate da poluição gerada pela suinocultura e que ao mesmo tempo, agrega valor às propriedades rurais, uma vez que, apresenta aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem de nutrientes (COLATTO; LANGER, 2011). O processo de digestão anaeróbica, realizado através da ação de microrganismos em biodigestores, tem sido uma das alternativas viáveis de tratamento e destinação final dos resíduos animais e vegetais. Com a biodigestão, é possível obter produtos de significativa importância nas propriedades, como o biofertilizante e o biogás (SILVA, 2016).

Os dejetos e resíduos de suínos englobam altas cargas de fósforo, nitrogênio, patógenos, sedimentos e alguns metais pesados. A água residual proveniente da suinocultura é grandemente utilizada como fertilizante em muitos países dado sua alta carga orgânica. No entanto, a intensa criação de animais ligados às altas cargas orgânicas do resíduo, pode classificar os dejetos como responsável por grande potencial poluidor do solo e agentes de eutrofização em corpos hídricos. É essencial evitar que um volume grande de dejetos continue a ser lançado no meio ambiente, poluindo mananciais, solo, ar, pois comprometem não somente a qualidade de vida das populações rurais e urbanas, como também, a sobrevivência da fauna e da flora das regiões onde os criatórios estão inseridos (MARTINKOSKI et al., 2017). Contudo, a reversão do quadro, transformando o problema resíduo em uma solução energética, por meio de biodigestores, deixa de ser uma eloquência, com a iniciativa de muitos produtores de suínos em várias regiões do Brasil.

O Maciço de Baturité é uma região do Ceará composta por 13 municípios (Baturité, Capistrano, Itapiúna, Guaramiranga, Mulungu, Aratuba, Pacoti, Palmácia, Aracoiaba, Acarape, Redenção, Ocara e Barreira) e ocupa uma área de 3.750,1 km² o que corresponde a 2,6% do território cearense (IPECE, 2016). No Maciço de Baturité, as propriedades rurais apresentam várias situações problemáticas, dentre as quais podemos citar: a) as famílias não possuem uma educação adequada, b) possuem renda muito baixa, c) lixo de biomassa e resíduos de animais descartados indevidamente d) Falta de água, uma vez que a água nos poços é frequentemente salobra devido às condições geológicas e à sobre-exploração deste recurso hídrico. Nessa região um significativo percentual de sua população sobrevive da exploração das atividades rurais com a criação de animais e os dejetos gerados por estes muitas vezes são desperdiçados e não utilizam tecnologias recomendadas para o seu aproveitamento, desrespeitando o ecossistema e danificando os recursos naturais, gerando, assim, sérios impactos ambientais (OLIVEIRA et al., 2016).

Considerando que a maioria da população do Maciço do Baturité é de zona rural e que os animais como suínos produzem matéria orgânica que serve de biomassa para o biodigestor, pode-se reconhecer que a utilização desse equipamento é uma alternativa viável nessa região e pode contribuir com benefícios tanto socioeconômicos quanto ambientais, configurando, dessa forma, uma atividade de sustentabilidade. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa é mostrar que o uso do biodigestor na suinocultura é uma alternativa sustentável para a região do Maciço de

Baturité, podendo contribuir para o controle das emissões de gases de efeito estufa, redução dos impactos ambientais e na produção de energia mais limpa e renovável e adubo orgânico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Vantagens e desvantagens econômicas do uso de biodigestores

Diante às alterações ambientais existentes no planeta a busca por inovações que auxiliem a redução da poluição ambiental é foco de estudos aprofundados nas últimas décadas, tendo em vista o aumento da qualidade de vida, melhorias ambientais e sempre atendendo as exigências da legislação quanto ao manejo de esterco de animais. Para a produção de suínos existem regulamentos específicos com exigências e critérios de manipulação dos dejetos desses animais, portanto é necessário o crescimento de processos para tratamento desses resíduos, que reduzam custos e utilize de tecnologia ambientalmente adequada (RITTER et al., 2013).

Para famílias rurais a apropriação de tecnologia sustentável e de baixo custo trouxe a oportunidade de fomentar suas propriedades rurais. Os biodigestores são tecnologias eficazes para o meio ambiente bem como o nível econômico. No quadro 1, Prado et al. (2012) esclarecem os prós e contras econômicos da utilização da tecnologia do biodigestor.

Quadro 1: Benefícios e desvantagens econômicas do uso do biodigestor

BENEFÍCIOS	DESVANTAGENS
Fonte de energia renovável	Pode haver produção de odores indesejáveis
Utilização de biofertilizante como adubo	A demanda de material orgânico pode não ser atingida para fins lucrativos, sendo assim adequado para uso doméstico
Obtendo adubo orgânico pode ocorrer incentivo a agricultura familiar	Custo de investimento inicial é elevado

O gás metano resultante pode ser utilizado para obtenção de energia e calor	Não tem apoio do governo e assistências técnicas
---	--

Fonte: Prado et al. (2012).

Prado et al. (2012) explicam que dentre as desvantagens existe custo inicial alto, para grandes propriedades que precisam acima de um biodigestor, e também carência de incentivo de política pública em relação às pesquisas quanto para aquisição.

Bezerra et al. (2013) em estudo realizado em propriedades rurais que utilizam biodigestores enfatizam que os custos para instalação da tecnologia foram irrisórios, pois grande parte dos recursos físicos foram reutilizados ou doados. Como visto, por mais que a atividade de suinocultura esteja atrelada a altos níveis de poluição é possível reduzir os efeitos danosos ambientais com tecnologia acessível e sustentável permitindo a continuidade da atividade rural. Além disso, a produção de biogás reduz custos diários com outras fontes de combustível renovável.

Silva (2016) realizou estudo de custos de implantação de biodigestor no município de Barreira, Maciço de Baturité, Ceará. O equipamento possui estrutura de 2 metros de profundidade e aproximadamente 3,50 metros de circunferência, no total a tecnologia resultou no valor de R\$ 2.903,50 de materiais e serviços, apresentando-se razoavelmente baixo comparado aos benefícios proporcionados às famílias rurais.

Estudos sobre a produção de energia elétrica a partir do biogás gerado por dejetos de suínos são mencionados em diversas pesquisas, e a introdução da análise econômica ainda é pouco explorada. Com a perspectiva de comercialização de créditos de carbono, houve, a partir de 2005, um interesse e aumento na adesão de biodigestores pelos produtores de suínos. Assim ocorreu um considerável incremento na disponibilidade de biogás e ao início da alternativa da geração de energia elétrica que pode ser utilizada no sistema de produção ou ser vendida para as concessionárias (MARTINS; OLIVEIRA, 2011). No quadro 2, Silva (2016) ilustra as vantagens de utilizar o biogás.

Quadro 2: Vantagens de utilização do biogás oriundo da digestão anaeróbica em biodigestor.

VANTAGENS
Não há necessidade de expansão de rede, pois está próximo aos centros consumidores
Menor dependência de condições climáticas
Conta com vantagens tributárias
Mais “limpo” que o gás natural
Operação carbono neutro
Independência da descoberta e disponibilidade de reservas naturais para ser produzido
Eliminação de impacto ambiental
Pode utilizar diversas matérias orgânicas para ser produzido

Fonte: Silva, (2016)

O uso do biogás gerado pelos dejetos de suínos na substituição de fontes de energia num assentamento rural foi estudado por Esperancini et al. (2007). Os autores avaliaram o uso domiciliar, o biogás foi aproveitado na cocção, aquecimento de água e iluminação. A economia anual foi de R\$ 3.698,00 e a recuperação do investimento ocorreu em dois anos e meio. Na produção, a energia foi utilizada em diversos equipamentos.

O potencial de geração de energia elétrica de sistema de tratamento de esgoto foi avaliado por Costa (2006) que comparou uma microturbina e um conjunto motor-gerador para fornecer 30 KW. Para o gerador, o investimento inicial foi de R\$ 822,67 por kW instalado, e o custo da geração foi de R\$ 0,034 kWh⁻¹.

Martins e Oliveira (2011) demonstraram a viabilidade econômica da geração de energia elétrica com o uso do biogás gerado a partir da digestão anaeróbia de dejetos de suínos. Os autores relatam que é mais vantajoso economicamente o uso desta energia na propriedade rural, substituindo ou reduzindo a aquisição da energia elétrica distribuída pela concessionária. No entanto, é necessário que a propriedade rural tenha equipamentos, instalações que necessitem de uma quantidade de energia que justifique os investimentos na geração com o uso do biogás. Um fator limitante na viabilidade técnica do sistema de geração de eletricidade é o número de animais necessário para produzir os resíduos que são transformados em biogás.

Diante disso, existem diversas equações na literatura que podem ser utilizadas para dimensionar a capacidade do biodigestor para a produção de biogás, quantidade de toneladas métricas de biogás, quantidade de metano produzida, toneladas métricas de CO₂ reduzidas por ano, volume total de CH₄ gerado por ano e cálculo do volume total de energia elétrica gerada por ano.

O cálculo do dimensionamento da capacidade do biodigestor para a produção de biogás pode-se utilizar a equação (1) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$VBm^3 = \frac{VDT \times QTA_{un} \times TRH}{1000} \quad (1)$$

Em que:

VBm³ = Volume do biodigestor em m³

VDT= Volume de dejetos total

QTA_{un}= Quantidade total de animais

TRH= Tempo de retenção hidráulica

Para determinar a quantidade de toneladas métricas de biogás/ano (Ton. biogás_{ano}) resultante da decomposição anaeróbica de esterco de animais, leve-se em consideração o volume de esterco que cada unidade animal gera por dia, o volume de biogás que esse dejetos gera por dia e a massa específica do biogás (1,16kg/m³), conforme ilustrado na equação (2) (BARRERA, 1993).

$$\text{Ton. biogás}_{ano} = \frac{QTA_{un} T_{dias} BGM_{dias} M. esp. Biogás}{1000} \quad (2)$$

Em que:

QTA_{un} = quantidade total de animais

T_{dias} = tempo em dias

BGM_{dia} = biogás gerado por matriz por dia

M. esp_{biogás} = massa específica do biogás

Com a finalidade de calcular a quantidade de metano produzida por ano em toneladas, pode-se utilizar o total de biogás produzido por ano. Dessa forma, a

equação (3) corresponde ao cálculo do valor referente à percentagem de metano existente no biogás (60%) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{Tonelada CH}_4 \text{ ano} = \text{Tonelada biogás ano} \times 60\% \quad (3)$$

Para estimar a quantidade de óxido nítrico produzido por ano, em toneladas, deve-se utilizar o total de biogás produzido por ano equação (2) e o valor correspondente à percentagem de óxido nítrico existente no biogás (14%) para isso pode utilizar a equação (4) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{Tonelada óxido nítrico} = \text{Tonelada biogás ano} \times 14\% \quad (4)$$

A determinação do cálculo de toneladas métricas de dióxido de carbono (CO₂) reduzidas por ano em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pode ser verificado pela equação (5) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$\text{Tonelada métrica CO}_2 \text{ / ano} = \text{Tonelada x metano ano} + \text{Tonelada óxido nítrico ano} \quad (5)$$



No cálculo do volume total de CH₄ gerado por ano (V_{total} CH₄ m³ /ano) pode se estimar pela equação (6) (CARVALHO; NALASCO, 2006).

$$V_{\text{total}} \text{ CH}_4 \text{ m}^3 \text{ /ano} = \text{QTA}_{\text{un}} \times \text{BGM}_{\text{dia}} \times T_{\text{dia}} \times P \times \text{CH}_4 \quad (6)$$

Em que:

QTA_{un}= quantidade total de animais

BGM_{dia}=quantidade de esterco dia

T_{dias}=tempo em dias

P.CH₄= percentagem de CH₄

Para calcular o volume total de energia gerada por ano (E. total. KW ano), considera-se o total de produção de CH₄ e o dado de geração de KW por m³ queimado multiplicado pela eficiência do sistema (80%), assim, utiliza-se a equação (7) (BARRERA, 1993).

$$E. \text{ total. KW}_{\text{ano}} = V. \text{ total. CH}_4 \text{ m}^3 / \text{ano} \times \text{KW} / \text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ queimado} \times \text{EF} \quad (7)$$

Em que:

$E. \text{ total CH}_4 \text{ m}^3 / \text{ano}$ = volume total de CH₄ gerado por ano

$\text{KW} / \text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ queimado}$ = KW gerado por metro cúbico de CH₄ queimado

EF = eficiência

O Brasil tem se tornado um potencial gerador de projetos, dentro de dois segmentos previstos no Protocolo de Quioto, o Setor de Sequestro de Carbono, com projetos de florestamento e reflorestamento e o Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, sendo este a busca de alternativas de tecnologia menos poluidoras, como, por exemplo, a queima do gás metano (CH₄), gerando dióxido de carbono (CO₂). O que ocorre nesse processo é que o CH₄ tem potencial poluidor referente ao GWP (Global Warming Potencial) 21, enquanto que o CO₂ tem potencial poluidor GWP 1, assim a queima de gás CH₄ reduz seu potencial de poluição em 20 vezes (OLIVEIRA; DOMINGUES, 2011).

Ainda segundo Oliveira e Domingues (2011), para atender aos critérios de adicionalidade, nos quais se refere aos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo deverão disponibilizar benefícios em longo prazo, reais e mensuráveis com as finalidades de diminuir a mudança do clima e redução do efeito estufa e promover uma diminuição de emissão que seja adicional, ou seja, uma redução de emissões que não seria obtida no caso da inexistência do projeto. Traça-se de uma linha de base cujo é definido um cenário, demonstrando o que aconteceria se a atividade do projeto não ocorresse. Deste da linha de base, pode-se definir a adicionalidade, que é basicamente o detalhamento das atividades do projeto.

O mercado mundial de troca de créditos de carbono com base em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo saltou de US\$ 330 milhões em 2004 para US\$ 4 bilhões em 2005. Em termos práticos, o mercado de transações de Créditos de Carbono começou a alavancar a partir desses anos, segundo o gerente de mudanças climáticas do banco ABN Amro Real. Dessa forma, criou-se o mercado de carbono e a principal razão para sua criação decorre das diferenças de custos de redução das emissões de Gases do Efeito Estufa em projetos de mitigação. Qualquer segmento produtivo que almeje reduzir as emissões de Gases do Efeito Estufa em longo prazo terá que se dispor a executar grandes alterações nas plantas de produção para que

as metas de reduções sejam alcançadas. Isso ocasiona um custo maior por tonelada reduzida no seu projeto do que aquele pago pela tonelada reduzida nos projetos de mitigação, nos países em desenvolvimento (CARVALHO; NALASCO, 2006).

Conforme Oliveira e Domingues (2011) os projetos de extração e aproveitamento de biogás em plantas de tratamento de resíduos sejam de origem agropecuária, esgoto, lixo urbanos, dentre outros, aumentam a eficiência global dos processos, amenizam o impacto ambiental do biogás na atmosfera e diminuem o consumo de eletricidade da instalação. Além disso, por se enquadrarem no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, o aproveitamento do biogás gera receitas oriundas dos créditos de carbono que podem ser obtidos, sendo muitas vezes cruciais na viabilidade econômica do projeto.

Em estudo conduzido por Giovanini et al. (2013) na análise da quantidade produzida de CO₂ pela bovinocultura no estado do Rio Grande do Sul, ressaltam que a adoção de biodigestores promove a mitigação anual de 46.902ton equiv. CO₂ ano⁻¹, permitindo a geração de R\$ 713.147,00 em créditos de carbono e a emissão de 1.018.138,956m³ de biogás por ano, com os quais poderiam ser produzidos 4.698MW de energia elétrica. Ressaltam ainda, que mesmo considerando um cenário em que o produtor recolha apenas o esterco que fica nas suas instalações, 23.451 toneladas equivalentes de CO₂ deixariam de ser emitidas e permitem a geração de cerca de R\$ 356.567,00 em créditos de carbono e a obtenção de 3.982.146m³ de biogás por ano, o que possibilita produzir 2.349MW de energia elétrica.

Ressaltam ainda, que a produção de energia elétrica no Brasil expressa 0,45kg de CO₂ por MW de energia elétrica gerada. Dessa forma, a produção dessa energia com o uso da tecnologia de biodigestor promoveria a redução de 2.114ton equiv. de CO₂ e a obtenção de R\$ 32.142,00 créditos de carbono adicionais, resultaria em R\$ 35.716,00, se considerar a utilização de apenas 50% do esterco produzido.

2.2 Impactos ambientais decorrentes da suinocultura

Muito dos impactos ambientais causados pela suinocultura deriva da falta do manejo adequado dos resíduos sólidos e líquidos provocado pela atividade, como a produção de efluentes com alta carga orgânica que é lançada em mananciais de água e que podem entrar aos lençóis freáticos, o que ocasiona a poluição dos recursos hídricos da região em torno da granja; a poluição do ar e a destruição da camada de

ozônio principalmente provocada pela emissão de gás metano e óxido nitroso (CARVALHO et al., 2015).

O crescimento da suinocultura estimula a necessidade pela destinação adequada dos dejetos e resíduos dos animais. Essa atividade é vista, como grande causadora de impactos ambientais, em termos comparativos, a geração de dejetos suínos, corresponde a quatro vezes ao populacional humano. Os dejetos de suínos são formados por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração e outros materiais decorrentes do processo criatório (RIZZONI et al., 2012). Conforme Genova et al. (2015), as quantidades dos resíduos e dejetos gerados pelos os animais podem ser afetados por fatores zootécnicos (raça, sexo, tamanho, etc.), fatores ambientais e fatores dietéticos (digestão, conteúdo de fibra, proteína, etc.).

A quantidade de suinocultores cresce a cada dia no Brasil, sustentando o mercado interno e externo. Assim, os produtores buscam por benefícios na qualidade de produção e conseqüentemente estão cada vez mais preocupados com o aumento da geração dos resíduos suínos (STACHISSINI, 2014). Diante disso, Gaspar (2003) relata que os principais problemas causados pela suinocultura ao meio ambiente são dois, a poluição do solo e a contaminação dos mananciais de água, essa poluição se deve à composição físico-química dos dejetos, ricos em determinados elementos químicos como o fósforo (P), que em excesso promovem a eutrofização do ambiente.

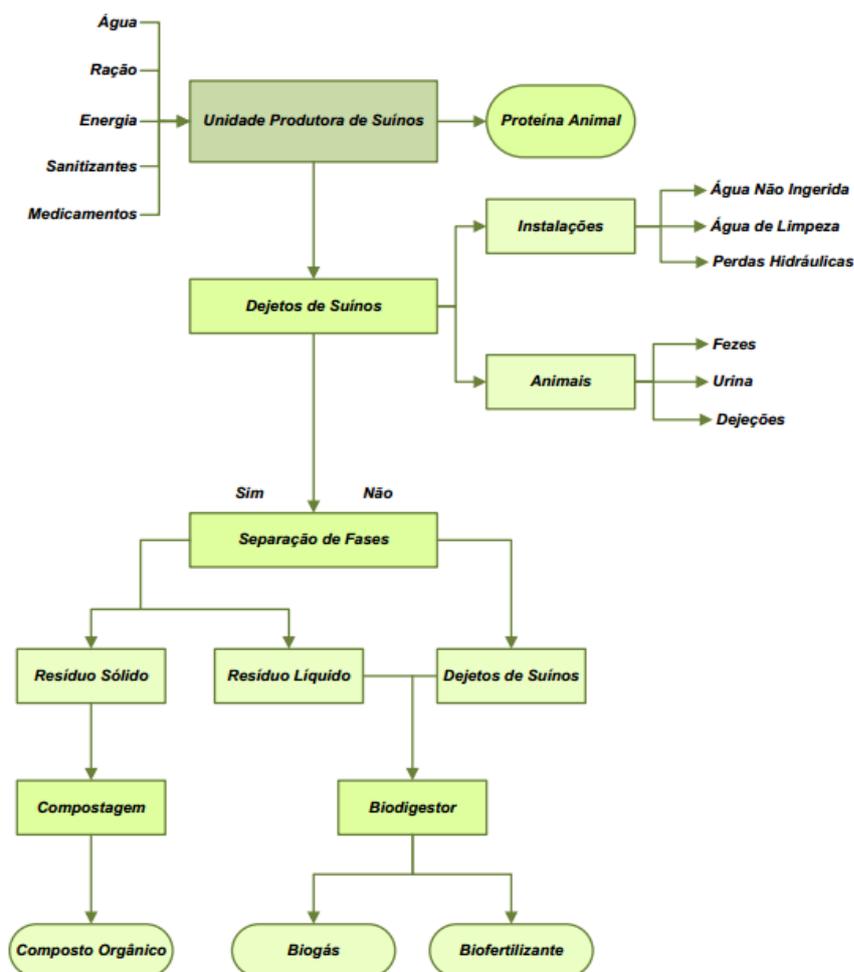
Uma solução encontrada em muitas propriedades rurais para destinar os dejetos de suínos é o uso como adubo orgânico nas lavouras (STACHISSINI, 2014). Essa é uma forma de ciclar e disponibilizar nutrientes às plantas, porém, o relevo da região, as altas quantidades aplicadas ou a ocorrência de chuvas em solo com baixa permeabilidade e pouca porosidade, podem gerar escoamento superficial de elementos como nitrogênio (N) e fósforo (P). Várias aplicações deste efluente podem ocasionar desequilíbrios químicos, físicos e biológico promovendo sérios problemas ambientais ao meio ambiente (BASSO et al., 2005; CERETTA et al., 2005). Segundo Stachissini (2014) entender o processo de criação de suínos é tão importante quanto o manejo apropriado, na Figura 1 a seguir ilustra o conjunto de componentes que compõem uma criação de suínos.

A contaminação dos solos e da água pelos os dejetos de suínos é outro problema causado pelo mau gerenciamento dos dejetos e resíduos de suínos, com isso promove alta concentração de metais pesados, como cobre (Cu) e zinco (Zn)

(MATTIAS et al., 2010). Estes elementos possuem origem nas rações que compõem a dieta dos suínos, agindo como suplemento na alimentação e, por muitas vezes, esses micronutrientes excedem a quantidade do requerimento fisiológico dos animais, podendo percolar provocando a contaminação ambiental como, por exemplo, dos mananciais superficiais de água (JONDREVILLE et al., 2003).

A alimentação dos suínos é classificada como uma fonte poluidora que está ligada diretamente ao desbalanceamento nutricional na dieta dos suínos e/ou ligados a estratégias nutricionais inexistentes para diminuir uma porcentagem do material excretado altamente impactante, que são: nitrogênio e fósforo e diminuir a disponibilidade de metais pesados, como zinco e cobre altamente poluentes, ou seja, menor aproveitamento do animal, maior excreção e impacto ambiental (GENOVA et al., 2015).

Figura 1: Componentes do sistema de criação de suínos



Fonte: Stachissini (2014).

Além disso, o excesso proteico nas dietas eleva a quantidade de nitrogênio que é eliminado nas fezes e urina. A não utilização da enzima fitase, por exemplo, na dieta, aumenta a excreção de fósforo total adicionado via ração para os dois elementos estima-se que 72 a 80% de Cu ingerido através da ração são eliminados pelos dejetos dos suínos. Para o Zn a quantidade eliminada via dejetos pode ser ainda maior, atingindo 92 a 96% do ingerido, o que explica a preocupação de utilizar esses elementos, já que muitas vezes as quantidades são excessivas (BONAZZI et al., 1994).

O lançamento indiscriminado das águas residuárias da suinocultura em rios e mananciais ocasiona sérios problemas sanitários e ambientais, como a ocorrência de verminoses e alergias; e ambientais, como a morte de peixes e animais, toxicidade em plantas e eutrofização dos recursos de água, além da proliferação de insetos e ocorrência de odores (GENOVA et al., 2015). De acordo com a lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010, que implementa a Política Nacional de Resíduos Sólidos, coloca que o crescimento do setor agrosilvopastoril nos últimos anos se deve a produção de resíduos sólidos que continuará aumentando e, o seu manejo, tratamento e disposição devem ser adequados (ANDREAZZI et al., 2015).

Diante da grande poluição causada pelos dejetos e resíduos de suínos, a área rural passa a ser vista com mais cuidado em relação à preservação ambiental. Além de ter diversas regiões próximas a córregos, lagoas e rios, a contaminação dos lençóis freáticos, devido a dejetos desses animais, é um ponto de suma importância a ser discutido e pesquisado. Por isso, quando os dejetos de origem desses animais são despejados em rios, lagos ou no meio ambiente, são liberados gases do efeito estufa para a atmosfera, como o dióxido de carbono o que corresponde a um crédito de carbono. Nesse sentido, se utilizar a técnica de biodigestores o produtor estará contribuindo com o meio ambiente e ganhando créditos de carbono dos quais podem ser negociados no mercado internacional, conforme o protocolo de Kyoto (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013).

O crescimento da suinocultura, designada pela grande concentração de animais por área, transfere como consequência o risco de poluição hídrica com acompanhamento de alta carga orgânica e de coliformes fecais, resultando na destruição dos recursos naturais renováveis, especialmente da água.

Dessa forma, a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, é preciso encontrar sistemas alternativos que reduzam a emissão de odores, de gases nocivos e os riscos de poluição das fontes de água. Esta situação é um desafio para os produtores da atualidade, pois terão que se adequar às exigências da sustentabilidade ambiental, social e econômica (ANDREAZZI et al., 2015).

2.3 Biodigestor como alternativa para reutilizar os resíduos gerados na suinocultura.

Almeida e Fernandes (2016) citam a Política Nacional de Resíduos Sólidos editada pela Lei nº 12.305 Decreto nº 7.404 de 23 de agosto de 2010 e estabelece a destinação correta de resíduos sendo responsabilidade comum ao governo, empresas, atores sociais do processo de produção e comércio tal como a sociedade pelo gerenciamento adequado com o menor impacto ambiental possível. Repassa os princípios de prevenção e precaução, responsabilidade pelo ciclo de vida do produto, poluidor-pagador, ecoeficiência, analisa o resíduo como bem econômico e de valor social, estimula a redução, reciclagem e reutilização de materiais de forma participativa dentre outros aspectos legais, o que inclui a tecnologia de biodigestores, sendo então constatada como alternativa de trato aos dejetos orgânicos e fonte de energia e calor adequados e dentro dos parâmetros impostos.

O biodigestor é uma tecnologia sustentável, que representa diversas vantagens para seus usuários e para o meio ambiente, por ser um equipamento que utiliza biomassa de diversas origens pela ação das bactérias especializadas na ausência de oxigênio que atuam no meio (OLIVEIRA et al., 2016), promovendo o fornecimento de combustível no meio rural mediante o biogás e adubo por intermédio do biofertilizante; além de valorizar os dejetos para uso nas plantas; reduz o poder poluente e do nível de patógenos; exigência de menor tempo de utilização hidráulica e de área em comparação com outros sistemas anaeróbios e geração de créditos de carbonos (BARICHELLO et al., 2015).

Além disso, com o uso de um biodigestor, pode-se: reduzir a carga de matéria orgânica lançada no meio ambiente, controlar a proliferação de moscas, diminuir os odores ofensivos e desagradáveis, reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) na atmosfera, e principalmente, o oferecimento de um destino a esses materiais, além, da importância de conscientização da comunidade sobre os impactos

ambientais e da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, bem como o seu possível agravante no aquecimento global (MARQUES et al., 2014).

O biodigestor é um equipamento muito usado para o tratamento de dejetos e resíduos originários de suínos que normalmente é construído por um tanque revestido com cimento, alvenaria ou geomembrana de PVC e coberto com uma lona que possibilita a sua expansão para armazenar biogás, possui também uma caixa de entrada para a biomassa e outra para saída do biofertilizante (BARICHELLO et al., 2015).

Os biodigestores são classificados sobre diversos aspectos: quanto ao teor de sólidos, quanto à forma de alimentação, quanto ao número de estágios e, também, quanto à quantidade de resíduo orgânico tratado (FRIGO et al., 2015). Os modelos de biodigestores comumente encontrados na literatura são: indiano, chinês, canadense e por batelada.

Os dejetos produzidos na suinocultura são carregados de bactérias que dentro do biodigestor degradam toda a biomassa animal produzindo o biogás. A produção diária de biomassa por animais gera em torno de: bovino 10 k.kg⁻¹ dia, suínos 2,25 K.kg⁻¹ dia, aves 20,18 K.kg⁻¹ dia e equinos 10 K.kg⁻¹ dia (SGANZELA, 1983). O uso da biomassa animal é uma alternativa viável e diminui não só a capacidade poluidora de suas fezes, mas também o volume diário emitido pelos mesmos. Integrando a comunidade e apontando como esta fonte de energia, ajuda no controle das emissões de gases do efeito estufa, na destinação correta dos dejetos animais, na diminuição de esterqueiras e, principalmente, na geração de energia de forma correta e consciente (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013).

A definição de biomassa se dá a quaisquer materiais passíveis de serem decompostos por causas biológicas, ou seja, pela ação de diferentes tipos de bactérias. A biomassa decomposta sob as ações de bactérias metanogênicas (produtoras de metano) produzem biogás em maior ou menor quantidade, em virtude de fatores como: temperatura, presença ou não de oxigênio, nível de umidade, quantidade de bactérias devido ao volume e ao tipo de biomassa, entre outros (GASPAR, 2003).

A capacidade de produção de biogás, assim como a concentração de metano, por espécie animal está contemplada na Tabela 1. Nota-se que os dejetos de suínos possuem melhor ganho, cerca de 560 m³ de biogás, com percentual de CH₄ de 50%, comprovando que a produção de biogás a partir de dejetos suínos é maior em relação

aos dejetos citados (SGANZELA, 1983). Salienta-se que a produção de gás metano pode diferenciar dentro das espécies por causa da alimentação, visto que animais confinados tendem a produzir quantidades maiores de CH₄ (COLATTO; LANGER, 2011).

Durante a degradação anaeróbia se as bactérias forem bem-sucedidas no processo, o biogás é obtido de misturas com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em CH₄, enquanto os 35 ou 40% restantes consistirem, em CO₂ e quantidades menores de outros gases (SEIXAS et al., 1980). Portanto, os benefícios atribuídos aos biodigestores vão desde a preservação dos recursos locais, agregação dos valores econômicos nas propriedades, diminuição de custos com energia elétrica até à autossuficiência em energia elétrica da propriedade (OLIVEIRA, 2004).

Tabela 1: Expectativa de produção de biogás por biomassa animal

Biomassa utilizada (Dejetos)	Produção de Biogás (Material seco em m ³ .t ⁻¹)	% de gás CH ₄ produzido
Bovinos	270	55
Suínos	560	50
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50
Aves	285	Variável

Fonte: Sganzela (1983).

A produção de biogás em um biodigestor é variável em função do tamanho de cada propriedade, devido ao dimensionamento do biodigestor e também em função da quantidade de animais e do sistema de criação de cada propriedade; existe uma equação (2) em que pode se estimar a quantidade de biogás a ser gerada. De forma prática, pode-se considerar que a produção de biogás oscila entre 0,5 – 0,7 m³ biogás dia⁻¹ por m³ de biomassa por volume do biodigestor. Na prática, se considerar um biodigestor com 100 m³ de volume, este teria potencial para gerar entre 50 – 70 m³ biogás dia⁻¹. Porém, a produção de biogás tem um fator decisivo que é o tipo de esterco que será usado para a produção deste. Seja qual for o material orgânico pode

ser utilizado na biodigestão, no entanto os que apresentam maior rendimento são os de aves e suíno, conforme verificado na Tabela 2, sendo os mais usados são os dejetos de suínos (COLATTO; LANGER, 2011).

Tabela 2: Produção de biogás em função do tipo de esterco

Material	Rendimento (m ³) de biogás por Kg de material orgânico
Esterco fresco de bovinos	0,04
Esterco seco de galinha	0,43
Esterco seco de suíno	0,35

Fonte: Nogueira, (1986).

O suíno gera aproximadamente 2,25 kg de resíduos por dia (SGANZELA, 1983), para contextualizar observa-se um exemplo a seguir: uma propriedade suinícola de 104 matrizes comporta aproximadamente 1.115 animais por mês, portanto, 2.508,75 Kg de dejetos por mês. Utilizando a equação (8) e a Tabela 3, calcula-se a quantidade por mês de metano em m³ (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013):

$$CH_4 = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times Et \times \text{conc. } CH_4 \times VE^{-1} \quad (8)$$

Em que:

Et = Esterco total [Kg esterco t (dia. Unidade geradora)⁻¹].

Pb = Produção de biogás

Conc. CH₄ = Concentração de metano no biogás [%]

VE⁻¹ = Volume específico do metano [Kg.CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹], sendo este igual a 0,670 Kg.CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹.

Tabela 3 - Valores de conversão energética por alguns efluentes

Origem do material	Kg de esterco (dia. unidade geradora) ⁻¹	Kg de biogás Kg de esterco ⁻¹	Concentração de CH ₄
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%

Equinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouros (kg)	1	0,1	55%
Vinhoto (kg)	1	0,018	60%

Fonte: Santos e Nardi Junior, (2013)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na zona rural dos municípios do Maciço de Baturité durante doze meses entre os anos de 2017-2018, na qual se conduziu um levantamento dos tipos de biodigestores instalados e tipos de animais criados na região que podem fornecer matéria orgânica para biodigestores.

Em seguida, selecionaram-se as propriedades rurais produtoras de suínos e por meio de entrevistas com os agricultores, verificou-se como utilizam os produtos da digestão anaeróbia e a destinação dada pelo produtor rural ao biogás e ao biofertilizante. Investigaram-se também os impactos ambientais ocasionados por dejetos dos suínos e por outros animais existentes na região.

O procedimento seguinte foi selecionar biodigestores para as análises dos gases que compõem o biogás. Para isso, utilizou um medidor de gás portátil digital da marca GEM 5000 e constataram-se os seguintes gases: metano (CH₄), gás carbônico (CO₂), Oxigênio (O₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S).

Neste trabalho estudou-se ainda a viabilidade de utilizar a técnica de biodigestores nas propriedades rurais, tanto como reserva de energia orgânica quanto ser atuante na diminuição dos gases de efeito estufa, e compreende as vantagens que os produtores rurais podem ter com uso do biogás em suas propriedades, além de produzir o biofertilizante que serve como adubo orgânico para as plantas. Ademais, foi relatada a importância de transformar o biogás gerado por dejetos de animais em créditos de carbono.

Para condução do trabalho, também foi conduzido um levantamento bibliográfico sobre o assunto em livros, artigos científicos, análise de texto e de dados, a fim de fundamentar-se sobre a tecnologia do biodigestor e a importância de uso dessa tecnologia na suinocultura como uma atividade de sustentabilidade ambiental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se na pesquisa que grande parte dos municípios do Maciço do Baturité, um significativo percentual de sua população explora atividades rurais com a criação de animais (bovinos, aves, caprinos, ovinos e suínos), e muitas vezes os dejetos e resíduos gerados por esses animais são desperdiçados promovendo a contaminação do solo e mananciais de água (rios, lagoas, açudes e lençol freático) por não utilizarem as tecnologias sustentáveis recomendadas, desrespeitando o ecossistema e danificando os recursos naturais, favorecendo diversos impactos ambientais (OLIVEIRA et al., 2016).

Na região do Maciço de Baturité tem-se conhecimento de biodigestores instalados nos municípios de Aracoiaba, Barreira, Ocara e Redenção. Os biodigestores são instalados muitas vezes para produção de dois produtos, o biogás e o biofertilizante. Esses produtos são utilizados pelos agricultores para reduzir os custos de produção da propriedade como a substituição do gás de cozinha GLP (gás liquefeito de petróleo) pelo o biogás e o biofertilizante como adubo orgânico para as plantas.

Nos municípios de Aracoiaba e Ocara observou-se que os biodigestores são do modelo indiano e utilizam esterco de bovino como biomassa. Já, os biodigestores instalados nos municípios de Barreira e Redenção utilizam à biomassa de dejetos e resíduos de suínos que além de servir para a produção de biogás e adubo orgânico serve para reduzir impactos ambientais.

Na tabela 4, têm-se a comparação dos gases que compõem o biogás em três biodigestores instalados em propriedades rurais nos municípios de Redenção e Ocara. Na avaliação dos gases do biodigestor canadense que fica localizado no município de Redenção observou-se 64% de CH₄ e 28% de CO₂ originário de dejetos de suínos. Já, os biodigestores indianos do município de Ocara, Assentamento Denir, apresentaram: o biodigestor indiano 1 mostrou 43,1% de CH₄ e 22,4% de CO₂ e biodigestor indiano 2 retratou 60% de CH₄ e 33,1% de CO₂, esses equipamentos são alimentados com dejetos de bovinos.

Tabela 4: Comparação dos gases do biogás de biodigestores instalados em propriedades rurais nos municípios de Redenção e Ocara, Maciço de Baturité, Ceará

Tipos de biodigestores

Composição do biogás	Canadense	Indiano 1	Indiano 2
	(Redenção)	(Ocara)	(Ocara)
	Esterco suíno	Esterco bovino	Esterco bovino
H ₂ S (ppm)	3.500	24	243
CO ₂ (%)	28	22,4	33,1
CH ₄ (%)	64%	43,1	60
O ₂ (%)	0,4	4,7	0,2

Fonte: Autores, (2018).

Diante das estimativas relacionadas às emissões equivalentes de CO₂ correspondente às emissões de CH₄ pode-se considerar que o Potencial de Aquecimento Global (GWG) refere-se a 21. O valor desse parâmetro significa que o metano é 20 vezes mais nocivo ao meio ambiente comparado ao CO₂ no que se atribui ao agravamento do efeito estufa e o GWG do CO₂ é apenas 1 (OLIVEIRA; DOMINGUES, 2011).

Portanto, o CH₄ produzido pela biodigestão no interior dos biodigestores de Redenção e em Ocara proporciona redução da emissão direta dos gases do efeito estufa na atmosfera. Segundo Marques et al. (2014) a utilização da tecnologia do biodigestor favorece uma destinação adequada aos dejetos de suínos e promove a conscientização das comunidades rurais sobre os impactos ambientais e da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, bem como o seu possível agravante no aquecimento global.

Observa-se, que o biodigestor canadense apresenta maior percentual de CH₄ quando comparado com os biodigestores indianos, isso ocorreu devido aos dejetos de suínos produzirem maior quantidade de CH₄ em relação aos dejetos de bovinos. Colatto e Langer (2011) ressaltam que a produção de gás CH₄ pode diferenciar dentro das espécies em razão da alimentação, visto que animais confinados tendem a produzir quantidades maiores de CH₄. Sganzela (1983) revela que os dejetos de suínos possuem melhor ganho, cerca de 560 m³ de biogás, com percentual de 50% de CH₄, comprovando que a produção de biogás a partir de dejetos suínos é maior em relação aos dejetos bovinos e aves.

Gusmão (2008) salienta que a proporção de cada gás que compõem o biogás depende de dois parâmetros, o tipo de biodigestor e o substrato a digerir. O autor informa ainda, que o biogás é essencialmente formado por CH₄ com valores médios

na ordem de 50 a 75%, e por CO₂ com aproximadamente 25 a 40%. Outros gases, também, participam da mistura: hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), monóxido de carbono (CO), oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S). Tarrento e Martinez (2006) mencionam que o biogás produzido em biodigestores modelo indiano, em um período de um ano, determinou-se, em média, 57,7% de CH₄ e 34,2 de CO₂. Já, os biodigestores indianos de Ocara apresentaram, em média, 62% de CH₄ e 27,75% de CO₂, significando que os resultados apresentam valores de CH₄ e CO₂ semelhantes ao abordado por Tarrento e Martinez.

O biodigestor Canadense abastecido com dejetos de suínos apresentou maior quantidade de H₂S em relação aos biodigestores indianos com dejetos de bovinos. O biodigestor canadense possui filtro de água para remoção de enxofre. Pipatmanomai et al. (2009) reportam que a avaliação econômica do uso de biogás para produção de eletricidade com e sem sistema de remoção de H₂S, por meio de carvão ativado impregnado com 2% de iodeto de potássio, em pequenas explorações suinícolas na Tailândia, foi eficiência na remoção de H₂S que pode chegar a 100% com adsorção de 0,062 kg de H₂S kg⁻¹ do adsorvente. Lin et al. (2013) explanam que a eficiência de remoção do H₂S do biogás da fermentação anaeróbica de dejetos de bovinos, por meio de processo químico biológico ocorrem em concentração média de 3542 ppm de H₂S na entrada do filtro o tempo de retenção do biogás foi de 288 segundos e a eficiência de remoção foi de 95%.

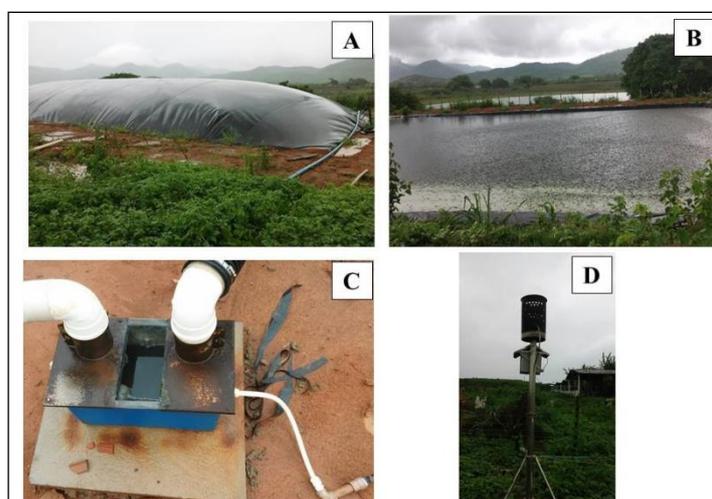
Conforme Matinc et al. (2013) dependendo da concentração de H₂S pode tornar o uso do biogás limitante, pois, é um gás com propriedades corrosivas. Carvalho (2016) informa que a formação de H₂S no biogás acontece durante a digestão anaeróbia, a concentração de enxofre presente na biomassa utilizada influencia diretamente a quantidade de H₂S que estará presente no biogás. Mainier e Viola (2005) relata que o sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico de cheiro desagradável e mais denso que o ar. Esse gás condensa em forma líquida a temperatura de -62°C são parcialmente solúveis em água e em compostos orgânicos.

Este composto não é responsável somente por causar problemas relacionados à saúde, também é nocivo as instalações de produção de biogás e ao meio ambiente. Durante a combustão do H₂S é formado o dióxido de enxofre (SO₂), esse composto combinado com vapor d'água produz o gás sulfídrico que é responsável pela corrosão dos equipamentos; reduzindo assim a vida útil de motores e compressores, por exemplo (ABATZOGLOU; BOINVIN, 2009).

O biodigestor visto no município de Redenção, distrito de Antônio Diogo, é do tipo canadense e está instalado em uma fazenda de suínos e possui a finalidade para destinar corretamente os dejetos dos animais e solucionar impactos ambientais.

Esse equipamento possui capacidade de 200 m³ (A), duas lagoas de estabilização para armazenar o biofertilizante (B), um filtro de água para a filtragem do sulfeto de hidrogênio e um queimador para saída do biogás (D) conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Biodigestor canadense localizado em Redenção, Maciço de Baturité, Ceará: A) Biodigestor canadense (200 m³), B) Lagoa de estabilização para armazenar o biofertilizante, C) Filtro de água e D) Saída do biogás



Fonte: Autores, (2018).

Antes da instalação do biodigestor os dejetos dos animais foram utilizados para a adubação da pastagem para alimentação dos animais. Percebeu-se que os dejetos estavam causando a contaminação do solo e mananciais de água da fazenda, foi então que se tomou a decisão de instalar um biodigestor para solucionar esse problema.

A fazenda possui uma criação de suíno de porte médio e os animais são mantidos em confinamento e tem-se uma produção de 5.000 suínos por mês em regime de engorda. Os sistemas de criação de suínos confinados originam grandes quantidades de dejetos, que necessitam de uma destinação adequada. Segundo Genova et al. (2015) dentre as alternativas possíveis, aquela de maior receptividade aos agricultores têm sido a utilização como fertilizante. Enquanto persistir o desequilíbrio entre a composição química dos dejetos e a quantidade de nutrientes

requerida pelas plantas, recomenda-se um alerta quanto à sustentabilidade dos sistemas agrícolas adubados com tais resíduos, porque resultarão em acúmulos de nutrientes no solo, que, em excesso, serão nocivos ao ambiente.

Por isso, que a solução mais adequada é a utilização do biodigestor que após os dejetos de suínos passarem por um processo de digestão anaeróbia dentro do biodigestor resultará em biogás e biofertilizante. O biogás pode substituir o gás GPL usado na cocção dos alimentos, aquecimento de caldeiras e também ser transformado em energia elétrica e o biofertilizante pode ser usado como adubo orgânico, contribuindo para reduzir os custos de produção da fazenda.

O proprietário da fazenda relata que investiu R\$ 200.000,00 para a instalação do biodigestor canadense. A estimativa de energia elétrica que pode ser gerada e a economia que pode ser gerada usando o biogás ficam em torno de R\$ 15.000,00 por mês e por ano seria R\$ 180.000,00.

O biodigestor da fazenda produz biogás diariamente. Além disso, a parte líquida do biofertilizante armazenado nas lagoas de estabilização é usado para adubação das pastagens por meio de fertirrigação via pivô central. Essa pastagem serve para alimentação dos animais da fazenda.

No município de Barreira, comunidade de Uruá, utilizou-se a tecnologia do biodigestor para solucionar odores fétidos, proliferação de moscas e contaminação do solo provocado pelos dejetos de suínos. O biodigestor utilizado foi o modelo indiano instalado em uma propriedade rural é de 1 (um) hectare, conforme observado na Figura 3.

Figura 3: Biodigestor indiano localizado na Comunidade de Uruá, Barreira, Ceará: A) biodigestor indiano, B) Caixa de entrada da biomassa, C) Caixa de saída do biofertilizante; D) Biogás e E) Horta na propriedade rural utilizando o biofertilizante



Fonte: Silva, (2016).

A instalação do biodigestor na comunidade de Uruá fundamentou-se na necessidade de um dos agricultores da comunidade para destinar os dejetos de suínos, já que os dejetos da criação desses animais ocasionavam odores fétidos, as propriedades vizinhas.

A propriedade rural possui pequenas plantações de hortaliças, fruteiras tropicais e pequenas criações de aves, de suínos e de bovinos. A baia de criação dos suínos possui 9 m² e tem capacidade para 8 animais.

Na construção do biodigestor utilizaram-se materiais de baixo custo, sendo que, uma parte encontrou-se na propriedade e a outra parte no comércio local do município. A instalação foi próxima à residência da propriedade, distante aproximadamente 12 metros, para facilitar o acompanhamento, manutenção e viabilizar a captação do biogás para a cozinha da residência.

O biodigestor é formado de uma estrutura principal (tanque de 2 m de profundidade e 3,50m de circunferência) e no fundo colocaram-se quatro batentes, que serviu como suporte para a caixa de fibra de vidro (câmara do biodigestor), de acordo com a Figura 3-A. Esse suporte evitou que o fundo do tanque se feche para as entradas e saídas dos dejetos da câmara de biodigestão.

Construíram-se duas caixas, sendo, uma caixa de carga (Figura 3-B) com a finalidade de entrada dos dejetos e a outra de descarga (Figura 3-C) tendo como

destino a saída do biofertilizante. Instalou-se ainda, canaletas em declive na parte baixa da estrutura principal do biodigestor para as caixas de carga (2 m de comprimento) e descarga (3 m de comprimento).

Dentro do biodigestor ocorreu à degradação dos dejetos de suínos por microrganismos anaeróbios e resultaram em dois produtos, o biogás (Figura 3- D) e o biofertilizante (Figura 3-E). O biogás aproveitou-se como energia renovável e utilizou-se o biofertilizante como adubo orgânico.

Segundo o agricultor da propriedade rural, a primeira a produção do biogás iniciou-se a partir de 40 (quarenta) dias, liberando um gás com odor fétido, oriundo do enxofre, então, realizou-se a filtragem usando um filtro de água. Após oito dias, o biogás substituiu o gás de cozinha GLP que é utilizado para a cocção dos alimentos, fabricação de doces das frutas existentes na propriedade ou para o abate de frangos, eliminando o uso da madeira que antes era usada no fogão à lenha.

No entanto, a produção do biofertilizante começou aos 60 dias. A parte sólida foi aplicada diretamente nas plantas. Como respostas, as plantas aumentaram seus rendimentos com a produção de frutas, hortaliças e as plantas forrageiras apresentaram as folhas mais vigorosas (verde mais intenso) após 15 dias de sua utilização. A parte líquida foi aplicado também nas plantas via fertirrigação e ainda serviu como defensivo natural para controle de algumas pragas e doenças.

A instalação do biodigestor na pequena propriedade resolveu o problema de descarte dos dejetos de suínos, que antes eram descartados sob o solo sem nenhum tratamento, sendo motivo de reclamações dos vizinhos pela exalação de um odor desagradável. Diariamente o agricultor limpa a baia onde ficam os animais, sendo os dejetos encaminhados diretamente para a caixa de carga do biodigestor através de uma tubulação. O agricultor relata que atualmente, além de não causar mais incômodos aos vizinhos, ainda tem a possibilidade de produzir o biogás e o biofertilizante incrementando sua renda.

Segundo o agricultor, todas essas vantagens do biodigestor foram possíveis com investimentos financiado pelo Banco do Nordeste, que teve 12 meses para pagar. A eliminação da utilização da lenha, do gás de cozinha e a substituição de adubos químicos pelo o biofertilizante, observou-se que o retorno financeiro com o uso do biodigestor foi após 1(um) ano de investimento: Dessa forma, além de destinar adequadamente os dejetos gerados pelos suínos na propriedade, diminuiu os custos de produção e contribuir para a conservação do meio ambiente. O agricultor relata

que ao quitar o investimento, já se tem o retorno financeiro do investimento no equipamento.

O biodigestor na comunidade de Uruá apresentou-se como uma alternativa sustentável para destinar aos dejetos de suínos, que muitas vezes, são simplesmente desperdiçados e contribui com a poluição ambiental. A instalação desse equipamento nessa propriedade foi objeto de estudo de Silva (2016) e continua beneficiando a família da propriedade rural até os dias atuais.

Em ambos os casos é evidente a relevância da instalação dos biodigestores para o meio ambiente, seja através da redução do lançamento de dejetos animais diretamente no solo, bem como pela reciclagem da matéria orgânica ou ainda pela substituição do uso de combustível oriundo de fonte não renovável por outro de fonte renovável, no caso o biogás.

Alguns autores tais como o Fukuda (2013) relatam a dificuldade de compreender que dentre tantos benefícios oriundos da tecnologia haja pouco incentivo público para aumentar a quantidade de biodigestores no país, principalmente no campo, onde a energia se torna mais elevada pelo espalhamento de distribuição e onde meios de saneamento são mais precários. No entanto quando analisado o custo e o tempo do retorno do investimento percebe-se que com o preço do gás GLP um biodigestor indiano ou chinês permite recuperar o investimento em aproximadamente um ano, mas como observado *in situ* não há uma melhoria significativa no padrão de vida dos pequenos produtores rurais que utilizam esta tecnologia.

Considerando que um botijão de gás GLP custa entre oitenta e noventa reais (valores do ano de 2018) uma família que utilize dois botijões por mês estaria poupando com a instalação de um biodigestor R\$160,00 por mês e se somamos a isto uma pequena produção de artigos alimentícios poderíamos ver que esta família teria um lucro mensal de aproximadamente R\$ 400,00 o que daria uns quatro mil e oitocentos reais por ano de ingressos adicionais. Porém, verificando o valor da bolsa família paga pelo governo federal pode-se observar que uma família com vários membros pode receber até dois mil e quinhentos reais por ano. Será que a maioria das famílias iria arriscar investir em biodigestor ou apenas receber a bolsa família. É um questionamento para o qual ainda não temos uma resposta definitiva.

Para outros autores tais como Turdera e Yura (2006) a visão social deve ser primordial na abordagem de viabilidade de biodigestores antes que absolutamente econômica. Para estes autores conceder desenvolvimento social e econômico as

localidades rurais, por vezes carentes de meios que facilitem o conforto, traria impactos positivos gerais na sociedade.

Um exemplo dessa visão social é o Projeto Biodigestores – Proteção do Clima e Combate à Pobreza no Nordeste desenvolvido pela Cáritas Brasileira. A diretoria da Cáritas Diocesana de Caruaru, é a responsável pela execução do projeto junto com parceiros locais. De acordo com Ângelo Zanré, a tecnologia do biodigestor deve ser integrada a outras tecnologias sociais que estão sendo utilizadas para convivência com o Semiárido. “A beleza da experiência revela que deve ser um sistema integrado, um ciclo que se complementa. Essa é uma visita de intercâmbio, de troca de experiência, de aprendizado”, destacou Zanré (CÁRITAS BRASILEIRA, 2015). Infelizmente em 2018 Cáritas deixou de realizar investimentos em biodigestores (Comunicação particular - Eisle, 2018).

Em diversas reuniões do setor elétrico em Fortaleza os bancos afirmam ter o dinheiro para realizar essa visão social da qual falam Turdera e Yura (2006), só que quando consultados pelo dinheiro investido pode-se ver que apenas uma fração do disponível está sendo utilizado para ajudar às famílias rurais. Silva (2016) relata que para instalação de um biodigestor modelo indiano em uma propriedade de um hectare o Banco do Nordeste investiu R\$ 2.903,50 para ser pago em 12 meses pelo o proprietário, depois de um ano ao quitar o investimento, já se tem o retorno financeiro do investimento no equipamento.

Do ponto de vista social é totalmente válido que as famílias rurais no semiárido possam dispor desta tecnologia do biodigestor já que ajuda financeiramente incrementando a renda familiar e ainda ajudando ao meio ambiente. Mas o biodigestor por si só não ajuda à mobilidade social das famílias. Uma outra possibilidade para se obter dinheiro desta tecnologia seria a venda de créditos de carbono.

Pode-se afirmar que Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados expedido para uma pessoa ou empresa que reduziu a sua emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por definição, 1 tonelada de CO₂ corresponde a um crédito de carbono. Já uma tonelada de CH₄ corresponde a 21 créditos de carbono (OLIVEIRA; DOMINGUES 2011). Os poluidores compram os créditos daqueles que ajudam a melhorar o meio ambiente. Isto é feito a través das bolsas de mercadorias e valores no mundo todo e se utiliza o mercado futuro do crédito de carbono. Em 2018 o mercado futuro dos créditos de carbono indicava que um crédito de carbono equivalia a 13 euros.

Se quisermos saber quanto um biodigestor produz em créditos de carbono precisamos saber a massa específica do metano para podermos calcular quantas toneladas deste gás o biodigestor produz por ano. O CH₄ tem uma massa específica de 0,656 kg/m³. Um biodigestor chinês ou indiano como o de barreira ou os instalados pela Cáritas Brasileira ou no assentamento em Ocara produzem de 1 a 2 m³ por dia de metano. Isto significa que este tipo de biodigestor produz de 0,23 a 0,46 toneladas de CH₄ por ano. O valor em créditos de carbono seria equivalente a um total de 3 a 6 euros por ano. Ou seja, um biodigestor pequeno para uma propriedade rural com poucos animais não seria capaz de produzir suficiente dinheiro com créditos de carbono.

Já um biodigestor maior tal e como o que se observa na Figura 2 que tem uma produção de 200 m³ por dia é responsável pela produção de 47,232 toneladas de metano por ano. Em créditos de carbono isto corresponde a 987 ou equivalente a cinquenta e quatro mil reais em um ano (R\$ 54.000,00/ano). Observe-se que infelizmente a tecnologia não favorece aos pequenos produtores rurais. A pergunta que se deveria fazer então é qual é o número mínimo de animais para que o biodigestor possa ser significativo neste mercado de créditos de carbono. Para Giovanini et al (2013) a utilização da tecnologia de biodigestores se mostra viável apenas em 63% das propriedades que têm gado leiteiro, as quais possuem mais de 20 animais por propriedade. Segundo esses autores, lamentavelmente, nas propriedades com menos de 20 animais, a receita auferida não compensa os custos incorridos, e isso extingue o montante de CO₂ mitigado. Ressalta-se que um estudo similar é necessário para a suinocultura.

Pode-se observar então que de acordo com Fukuda (2013) e Torneria e Yuda (2006) os biodigestores em pequenas propriedades rurais realmente deveriam ser um alvo para o governo incentivar a agricultura familiar. Estes biodigestores farão que as famílias possam incrementar a sua renda familiar afastando-as da pobreza extrema. Já os biodigestores maiores permitem a geração de energia elétrica e também diminuem consideravelmente os danos ao meio ambiente pela atividade da suinocultura, inclusive podendo se beneficiar da venda de créditos de carbono.

O Maciço de Baturité é fortemente caracterizado por sua estrutura de agricultura familiar; e o processo energético a partir de resíduos sólidos orgânicos como biodigestor surge como tecnologia viável ao pequeno, médio e grande produtor

rural, pois atende a sua demanda energética e agrega valores e benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Através de dados levantados, identificou-se ainda que a região do Maciço de Baturité demonstra potencial para a instalação de vários biodigestores em seus municípios para solucionar possíveis problemas ambientais provocados pelos dejetos de animais principalmente os suínos. No entanto, percebe-se que muitos agricultores da região desconhecem essa tecnologia sustentável, impossibilitando assim, os mesmos a favorecerem-se dos produtos gerados com o seu uso.

Portanto, a busca pelo equilíbrio entre o crescimento econômico e a manutenção dos recursos naturais tem nos últimos anos fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável, e para tal tem-se procurado estabelecer mecanismos capazes de subsidiar as ações da sociedade que conduzam na direção do desenvolvimento sustentável (KEMERICH et al., 2014). Nesse sentido, a tecnologia do biodigestor contribui com a sustentabilidade ambiental, pois, destina adequadamente os dejetos gerados pelos os suínos, além, de promover incremento na renda familiar das pessoas que a utilizam.]



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A criação de suínos é uma prática comum na região do Maciço de Baturité, apesar de apresentar-se como uma atividade viável sob o ponto de vista operacional e econômico, também pode ser uma atividade potencialmente poluidora, requerendo, portanto, atenção especial sob o ponto de vista ambiental.

O uso da tecnologia do biodigestor para o aproveitamento dos dejetos dos suínos torna-se uma alternativa sustentável, pois, através da degradação anaeróbia transforma-se em biogás e adubo orgânico, constitui uma possibilidade economicamente viável ao produtor rural, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Dessa forma, ameniza seu potencial poluidor pela redução dos teores de nutrientes e metais pesados deste resíduo no meio ambiente.

A produção do biogás e do biofertilizante pelo sistema de biodigestão agrega valor à propriedade rural, seja pelo fator financeiro, como pela integração às mais variadas atividades que se desenvolvem no meio rural, trazendo geração de energia renovável, reciclagem de nutrientes para as plantas e saneamento ambiental.

Neste sentido, e tendo como foco a sustentabilidade ambiental, uma alternativa é a utilização de biodigestores para o aproveitamento dos dejetos animais provenientes da suinocultura como fonte de biomassa para a produção de energia, pois além de minimizar os problemas ambientais causados pelo descarte incorreto, gera produtos que favorecem o desenvolvimento econômico da propriedade rural. Um exemplo disto é a possibilidade da venda de créditos de carbono para grandes propriedades.

A produção animal na macrorregião do Maciço de Baturité tem grande demanda para implantação da tecnologia do biodigestor, o que reforça constantemente o pensamento para que novas tecnologias sejam instaladas dentro das propriedades rurais, justamente pelo potencial altamente poluidor que os dejetos destes animais apresentam para a comunidade e para o meio ambiente.

Este trabalho comprova a importância da tecnologia do biodigestor para pequenos, médios e grandes produtores de suínos, sendo muito útil para reduzir os efeitos indesejáveis dos dejetos advindos da suinocultura. Portanto, promove saúde, desenvolvimento socioeconômico para região, melhorias na qualidade de vida e do meio ambiente, sendo que privilegia a escala de gestão de resíduos orgânicos estando então inserida na tríade do desenvolvimento sustentável: o social, ambiental e econômico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) pelas análises e coleta dos dados e a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) pelo apoio institucional e condução da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDREAZZI, M. A.; SANTOS, J. M. G.; LAZARETTI, R. M. Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná, **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p.744-751, 2015.

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr**, v.3, p. 42–71. 2009.

ALMEIDA, C. R. de; FERNANDES, E. N. Estudo da viabilidade da implantação de Biodigestor no município de Hortolândia para geração de biogás. **Iniciação – Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística** – Edição Temática de Sustentabilidade. v. 6, ano 1, 2016, São Paulo: Centro Universitário Senac. Disponível em: http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2016/11/191_IC_artigo_v6.pdf. Acesso em: abril de 2018.

BARICHELLO, B.; HOFFMANN, R.; SILVA, S. O. C.; DEIMLING, M. F.; CASAROTTO FILHO, N. O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR), v.8, n.2, p. 333-355, 2015.

BARRERA, P. **Biodigestores**. São Paulo, SP: Cone, 1993.

BASSO, C. J; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1305-1312, 2005.

BEZERRA, I. L. S. REVORÊDO, R. A. BEZERRIL, R. T. SILVA.FILHO, P. C. **Produção de gás combustível: construção de um biodigestor caseiro**. In: IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN-Tecnologia e Inovação para o Semiárido. Natal-RN. 2013. Disponível em: <https://slidex.tips/download/produao-de-gas-combustivel-construao-de-um-biodigestor-caseiro-fuel-gas-producti>. Acesso em abril de 2018.

BONAZZI, G.; CORTELLINI, L.; PICCININI, S. Presenza di rame e zinco nei liquami suinicoli e rischio di contaminazione dei suoli. **L'Informatore Agrario**, v.50, n.36, p. 55–59, 1994.

CÁRITAS BRASILEIRA. NE2: **Cáritas Suíça visita Projeto Biodigestores, que transforma esterco em gás de cozinha- 28 de abril de 2015**. Disponível em: <<http://caritas.org.br/ne2-caritas-suica-visita-projeto-biodigestores-que-transforma-esterco-do-gado-em-gas-de-cozinha/28954>>, acesso 11 maio de 2018.

CARVALHO, T.; NOLASCO, M. A.; Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos, **Revista Acadêmica**, Curitiba, v.4, n.3, p. 23-32, 2006.

CARVALHO, B. V.; SOUSA, A. P. M.; SOTO, F. R. M. Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 1, p. 164-171, 2015.

CARVALHO, C. G. **Desenvolvimento de nanofiltro para remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás**. [Monografia]. Distrito Federal: Faculdade de Engenharia de Energia/UnB; 2016. 103 p.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. **Biodigestores**. VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2008.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1296-1304, 2005.

COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor - resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unesco e Ciência**, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Engenharia/USP; 2006. 176 p.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. C.; PIMENTEL, A. E. B.; SIMON, E. J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

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**, Cascavel, v.4, n.1, p. 57-65, 2015.

FUKUDA, J. C. **Projeto de instalação de um biodigestor de baixo custo na sede de uma unidade de conservação: saneamento, aproveitamento energético e demonstração de alternativa sanitária para a região**. [Monografia]. Lavras-MG: Departamento de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia. UFLA; 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4548>. Acesso em abril de 2018.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. [Dissertação]. Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas/UFSC; 2003. 119 p.

GENOVA, J. L.; PUCCI, L. E.; SARUBBI, J. Estratégias para diminuir o impacto ambiental da suinocultura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 12, n. 1, p. 3891-3902, 2015.

GIOVANINI, A.; FREITAS, C. A.; CORONEL, D. A. Análise da quantidade produzida de CO₂ pela bovinocultura no Estado do Rio Grande do Sul, **Revista Ciência Rural**, v.43, n.10, 2013.

GOMES, F. C. S. P.; SARAIVA, A. C.; BORGES, C. A.; SANTOS, L. L.; COLTURATO, L. F.; JENDE, O.; ROSENFELDT, S.; SERAVAL, T. A.; COLTURATO, T. D. B.; SIQUEIRA, V. S.; SILVA, W. P. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás/ Probiogás**. Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016, 147 p.

GUSMÃO, M. M. F. C. C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. [Dissertação]. Florianópolis: Faculdade de Engenharia Ambiental/UFSC; 2008. 170 p.

JONDREVILLE, C.; REVY, P. S.; DOURMAD, J. Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **Livestock Production Science**, v.84, n.2, p.147-156, 2003.

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/14411/pdf>>. Acesso em abril de 2018.

LIN, W. C.; CHEN, Y. P.; TSENG, C. P. Pilotscale chemical–biological system for efficient H₂S removal from biogás. **Bioresource Technology**, v.135, p283-291, 2013.

MARTINKOSKI, C.; RODRIGUES, N. H. P.; RODRIGUES, R. L.; GOMES, J. J.; MARTINKOSKI, C. J.; MORAIS, C. R. Portfólio bibliográfico da utilização de resíduos provenientes da suinocultura na geração de bioenergia, v. 38, n. 18, **Revista Espacios**, p. 1-14, 2017.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, 2011.

MARQUES; S. M. A. A.; SILVA JÚNIOR, F. J.; MONTEIRO, M. K. M. D.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, F. A.; VENTURA JÚNIOR, R. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.18, n. 3, p. 990-999, 2014.

MATINC, C.; LINS, L. P.; BONA, E. M.; SOMER, J. G.; MILANI, L. M.; TANIA MENEGOL, T.; BLEY JÚNIOR, C. **Comparação da composição do biogás gerado entre granja produtora de leitões e uma granja terminação de suínos**. In: III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 12 a 14 de março, São Pedro, SP, p. 1-4, 2013.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense e INMETRO/LATEC (UFF). **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SGeT**, 2005.

NOGUEIRA, L. A. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, P.A. V.; **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

OLIVEIRA, W. R.; DOMINGUES, E. G. Energia Elétrica e Créditos de Carbono: uma Proposta de Aproveitamento Energético do biogás Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso, **Revista Unopar Científica Exatas Tecnologia**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 61-67, 2011.

OLIVEIRA, J.; ALCÓCER, J. C. A.; XAVIER, A. R. **Produção de biogás a partir de biodigestores: estratégias sustentáveis para a macrorregião do Maciço de Baturité - CE.** In: XAVIER, A. R.; ALCÓCER, J. C. A.; OLIVEIRA, J. Educação, ciência, tecnologia e Inovação. Fortaleza: Impreco, 2016. p. 146-162.

PRADO, P. de L. A; MOURA, J. M. de; FERNANDES, A. T; CAMPOS, P. C. P. **Viabilidade econômica de um biodigestor no IFMT Campus Cuiabá Bela Vista.** In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 19-22 novembro 2012; Goiânia-GO. 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-001.pdf>. Acesso em abril de 2018.

PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v.86, p.669 - 674, 2009.

RIZZONI, L.B.; TOBIAS, A.C.T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.9, n.18, p.1-20, 2012. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/W34ebZOEZuzvEvG_2013-6-28-18-12-37.pdf>. Acesso em março de 2018.

RITTER, C. M; SANTOS, F. R; CURTI, S. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Revista Topós**. V.7, nº1, p. 32-40, 2013. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/download/2691/2357>. Acesso em abril de 2018.

SANTOS, E. L. B.; NARDI JUNIOR, G. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, v.4, n.2, 2013.

SILVA, M. L. **Aplicabilidade de uma tecnologia sustentável no Município de Barreira do Maciço de Baturité.** [Dissertação]. Redenção: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis/UNILAB; 2016. 76 p.

SGANZERLA, E. **Biodigestor, uma solução.** Porto Alegre, RS, 1983.

SEIXAS, J. **Construção e funcionamento de Biodigestores.** Brasília, DF, 1980.

STACHISSINI, M. G. **Estudo sobre a implantação de um sistema biodigestor em uma propriedade rural em Mamborê - PR.** [Trabalho de conclusão de curso]. Campo Mourão: Faculdade de Engenharia Ambiental/UTFPR; 2014. 43 p. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2766>>. Acesso em fevereiro de 2018.

TURDERA, M. V; YURA, D. **Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados.** In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6, 2006, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100062&script=sci_arttext>. Acesso em abril de 2018.

TARRENTO, G. E.; MARTINEZ, J. C. **Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa.** In: XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro, 2006, p. 1-8.

WINCKLER, S. T.; RENK, A.; LESSA, L. Impactos socioambientais da suinocultura no oeste catarinense e a iniciativa de implantação de biodigestores pelo Projeto Alto Uruguai. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, p. 237-251, 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/made/issue/view/2407/showToc>>. Acesso em março de 2018.

