

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THAÍSE SILVANI

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE SULFETO DE
HIDROGÊNIO PELA INJEÇÃO DE AR, NO GASÔMETRO, EM
BIODIGESTORES QUE TRATAM DEJETOS DE SUÍNOS**

MEDIANEIRA

2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THAÍSE SILVANI

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE SULFETO DE
HIDROGÊNIO PELA INJEÇÃO DE AR, NO GASÔMETRO, EM
BIODIGESTORES QUE TRATAM DEJETOS DE SUÍNOS**

**STUDY OF THE INFLUENCE ON THE CONCENTRATION OF HYDROGEN
SULPHIDE BY AIR INJECTION, IN THE GASOMETER, IN BIODIGESTORS
THAT TREAT SWINE WASTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação apresentado como
requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Gestão Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Orientador: Laercio M. Frare

Coorientador: Felipe M. Damaceno

MEDIANEIRA

2022

THAÍSE SILVANI

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE SULFETO DE
HIDROGÊNIO PELA INJEÇÃO DE AR, NO GASÔMETRO, EM
BIODIGESTORES QUE TRATAM DEJETOS DE SUÍNOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Tecnólogo em Gestão Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Laercio M. Frare

Coorientador: Felipe M. Damaceno

Data de aprovação: 06/dezembro/2022

Laercio Mantovani Frare
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fábio Orsatto
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ilton José Baraldi
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2022

RESUMO

A sustentabilidade está cada vez mais presente no cotidiano devido ao aprimoramento das técnicas para aproveitamento de resíduos. A digestão anaeróbia tem sido muito utilizada devido ao fato de gerar o biogás que pode ser aproveitado para transformar em energia. Entretanto um dos seus componentes, o sulfeto de hidrogênio, causa danos ao funcionamento do processo, sendo assim, importante a sua devida redução. Neste trabalho, apresenta-se um estudo para avaliar a eficiência da remoção de H_2S , pela injeção de ar atmosférico no gasômetro localizado na parte superior do biodigestor, a partir de dados mensurados, semanalmente, por uma empresa responsável pelo processo. Foram comparados os resultados de duas propriedades com, aproximadamente, a mesma quantidade de suínos alojados na granja cujo manejo era o de terminação. O período avaliado compreendeu ao dia 9 de outubro de 2019 à 26 de outubro de 2021. Foi verificado, nas duas propriedades analisadas, que o processo de microaeração reduziu as concentrações de H_2S .

Palavras-Chave: digestão anaeróbia; biodigestor; propriedades rurais;

ABSTRACT

Sustainability is increasingly present in everyday life due to the improvement of techniques for using waste. Anaerobic digestion has been widely used due to the fact that it generates biogas that can be used to transform into energy. However, one of its components, hydrogen sulfide, causes damage to the operation of the process, therefore, its proper reduction is important. In this work, a study is presented to evaluate the efficiency of H₂S removal, by injecting atmospheric air into the gasometer located at the top of the biodigester, based on data measured weekly by a company responsible for the process. The results of two properties with approximately the same number of pigs housed in the farm whose management was finishing were compared. The evaluated period comprised from October 9, 2019 to October 26, 2021. It was verified, in the two analyzed properties, that the micro-aeration process reduced the concentrations of H₂S.

Keywords: anaerobic digestion; biodigester; rural properties;

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Importância da etapa de purificação do biogás de acordo com o seu uso final.....	18
FIGURA 2 - Diagrama dos possíveis processos tecnológicos aplicados na remoção de H ₂ S.....	19
Figura 3 - Terminologias usadas para técnica de aeração/oxigenação de um sistema em função da quantidade de oxigênio dosado.....	21
FIGURA 4 – Etapas de (a) remoção de areia do dejetos suíno e (b) medição de vazão de líquido a ser tratado no biodigestor.....	23
FIGURA 5 - Lagoa com matéria orgânica (digestato) livre dos gases, utilizado como biofertilizante.....	24
FIGURA 6 – Produção de biogás nas propriedades A e B em relação as horas de medição.....	26
FIGURA 7 –Variação da concentração de metano (CH ₄) produzidos na propriedade A em função da vazão de Ar atmosférico inserido no gasômetro.....	29
FIGURA 8 Variação da concentração de metano (CH ₄) produzidos na propriedade B em função da vazão de Ar atmosférico inserido no gasômetro.....	30
FIGURA 9 –Variação da concentração de H ₂ S no biogás produzido na propriedade A em função da variação da vazão de ar ao longo do período de monitoramento do estudo.....	31
FIGURA 10 – Variação da concentração de H ₂ S no biogás produzido na propriedade B em função da variação da vazão de ar ao longo do período de monitoramento do estudo.....	31
FIGURA 11 - Comparação da concentração média de H ₂ S das propriedades A e B com um biodigestor sem inserção de ar.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.....	14
Tabela 2 - Estimativa das concentrações dos diferentes constituintes do dejetos líquido de suínos em função de sua densidade, temperatura de 15 °C, de acordo com o sistema de produção.....	15
Tabela 3 - Características gerais das propriedades comparadas para o estudo.....	25
Tabela 4 - Estatística descritiva da composição do Biogás das propriedades A e B entre 23/09/2020 e 16/03/2021.....	28

LISTA DE SIGLAS

ABCS	Associação Brasileira de Criadores de Suínos
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
Fe/EDTA	Ferro/Ácido Etilenodiaminotetraacético
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
O ₂	Oxigênio
ppm	Partes por milhão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	13
3.1. SUINOCULTURA.....	13
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE SUINOCULTURA.....	14
3.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	16
3.2.1 ETAPAS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	16
3.2.2 PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS.....	18
3.2.3 DESSULFURIZARÃO DE BIOGÁS POR MICROAERAÇÃO.....	20
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.1.1 Caracterização do processo produtivo de biogás na propriedade rural.....	22
4.2 ANÁLISE DO BIOGÁS.....	24
4.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	25
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS ADOTADOS NAS PROPRIEDADES DE ESTUDO.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	26
5.2 QUALIDADE DO BIOGÁS PRODUZIDO.....	28
5.3 REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO.....	30
6. CONCLUSÃO.....	34
7. REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade abrange principalmente aspectos ambientais, sociais e econômicos. Uma atividade sustentável é aquela que se mantém no longo prazo respeitando estes aspectos (FISCHER *et al.*, 2019).

Quando se pensa a gestão sustentável no meio rural, poucos setores demonstram um avanço tão significativo nesse sentido quanto a suinocultura. Essa atividade é conhecida historicamente pelo impacto que promove no meio ambiente. Os dejetos que são produzidos, são contaminantes quando em contato com solo, água e ar (MAPA, 2016). Racionalmente é preciso mitigar o risco ambiental destes materiais e, dentro do possível, dar-lhes um destino econômico, de modo a aplicar os princípios da economia circular. A partir do tratamento dos resíduos orgânicos gerados por digestão anaeróbia, é possível a geração de energia pela utilização do biogás, a produção de um biofertilizante que pode ser utilizado na fertirrigação, dentre outros, criando possibilidades que devem ser consideradas tanto na implantação de projetos de suinocultura, quanto na manutenção na atividade (FISCHER *et al.*, 2019)

O biogás produzido na digestão anaeróbia é uma mistura gasosa composta, predominantemente, pelos gases metano (CH_4 - 50 a 75%) e dióxido de carbono (CO_2 - 25 a 40%), e por quantidades minoritárias de outros componentes, tais como, hidrogênio (H_2 - 1 a 3%), nitrogênio (N_2 - 0,5 a 2,5%), oxigênio (O_2 - 0,1 a 1%), sulfeto de hidrogênio (H_2S - 0,01 a 0,5%), monóxido de carbono (CO - 0 a 0,1%), e amônia (NH_3 - 0,1 a 0,5%) (NOYOLA *et al.*, 2006 *apud* MARTINEZ, 2019). O biogás pode ser utilizado para geração de energia térmica e elétrica devido à concentração de metano em sua composição. No entanto, a fração de H_2S na composição do biogás deve ser removida para evitar processos de corrosão de superfícies metálicas nas plantas de aproveitamento energético (MENEGALI, 2019).

Devido a esses fatores, torna-se fundamental a adoção de mecanismos que contribuam com a redução das concentrações de H_2S no biogás gerado nos biodigestores, fazendo uso de tratamentos físicos, químicos ou biológicos (MARTINEZ, 2019).

É necessária a implantação de tecnologias de tratamento do biogás para a geração de um combustível de qualidade que possa ser eficientemente convertido em energia térmica, elétrica e/ou mecânica. Atualmente, os processos de tratamento e purificação do biogás têm como premissas: ajuste do valor calorífico e a remoção de contaminantes que afetam a qualidade do biogás e a vida útil dos componentes do sistema; e a purificação do biogás e a concentração do biometano para sua inserção em linhas de distribuição e transporte de biogás (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Por estes motivos o tratamento biológico pode ser uma alternativa tecnicamente viável para a remoção de H_2S do biogás gerado a partir dos resíduos de suinocultura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência de remoção de H_2S do biogás produzido pela digestão anaeróbia de resíduos de suinocultura, devido a injeção de ar no gasômetro da parte superior de biodigestores de lagoa coberta.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a injeção de ar no gasômetro dos biodigestores e sua relação com a redução de H_2S .
- Verificar possíveis efeitos da injeção de ar na produção de CH_4 .

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Suinocultura

A criação de suínos é exemplo de pecuária intensiva que usa o confinamento em todas as etapas de produção. É uma atividade com grande dependência da produção de grãos devido ao alto consumo de milho e farelo de soja principalmente, sendo que parte do consumo de grãos é produzida na própria propriedade. As propriedades rurais com atividades granjeiras são igualmente agrícolas, assim elas se dedicam a agropecuária e isso traz sinergias. O tratamento de dejetos da suinocultura pode produzir biofertilizantes, fonte alternativa de nutrientes aos fertilizantes comerciais que têm altos custos (ROCHA, 2021).

A suinocultura é uma atividade de destaque no agronegócio brasileiro, principalmente na região Oeste do estado do Paraná, devido aos incentivos do setor privado. A presença de cooperativas e empresas integradoras instaladas na região estimula, mediante a adoção de tecnologias avançadas, a produção de grande quantidade de animais em pequenas áreas de terra, o que favorece para que os agricultores potencializem a utilização demográfica de suas propriedades na região (ENGELSING, 2019).

Segundo o Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2022), a produção de carne suína no Brasil foi de 4,701 milhões de toneladas, o valor bruto da produção foi de R\$ 31,3 bilhões, a exportação foi de 1,137 milhões de toneladas, gerando um lucro de US\$ 2,6 bilhões, tudo isso exportado para 86 países e com um consumo per capita de 16,7 kg/habitante. Segundo a Agência Estadual de Notícias (2021), o Paraná bateu o recorde na produção de carne de porco no terceiro trimestre de 2021, com o maior número de animais abatidos desde 1997, início da série histórica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A suinocultura brasileira atual trabalha, em geral, de modo completamente confinado. Tanto por essa característica quanto pelo uso intensivo das instalações, o correto planejamento do fluxo de produção interfere diretamente na pressão de infecção e no aparecimento de doenças. Nesse

sentido, é fundamental planejar as instalações considerando-se o vazio sanitário das instalações para permitir o trabalho no sistema de “todos dentro – todos fora” e a produção dos suínos em lotes nas fases de maternidade, creche, recria e terminação objetivando manter os animais de mesma idade na mesma sala em cada fase da produção (DIAS *et al.*, 2011).

Os sistemas confinados, base da expansão suinícola, contribuíram para a adoção do manejo de dejetos na forma líquida, o que se tornou um agravante para os problemas de captação, armazenagem, tratamento, transporte e distribuição de dejetos. Consequentemente, a capacidade poluidora da suinocultura foi intensificada, sendo necessário o manejo adequado de seus resíduos (ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016).

3.1.1 Características dos resíduos da suinocultura

A quantidade total de dejetos produzido por um suíno, em determinada fase do seu desenvolvimento, é um dado fundamental para o planejamento das instalações de coleta, estocagem e definição dos equipamentos a serem utilizados para o transporte e distribuição do mesmo na propriedade. As quantidades de fezes e urina são afetadas por fatores zootécnicos (tamanho, sexo, raça e atividade), ambientais (temperatura e umidade) e dietéticos (digestibilidade, conteúdo de fibra e proteína) (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). Na Tabela 1 é apresentada a produção diária de dejetos de acordo com a categoria dos suínos.

Tabela 1 - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.

Categoria	Esterco (kg/d)	Esterco + Urina (kg/d)	Desejos Líquidos (L/d)
Suínos 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,0	16,0
Porcas em lactação + leitões	6,40	18,0	27,0
Cachaço	3,0	6,0	9,0
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993).

O conteúdo de água é um dos fatores que mais afeta as características físico-químicas e a quantidade total de dejetos. Assim sendo, os valores de

produção total dos dejetos de suínos somente poderão ser avaliados corretamente quando se considerar também o seu grau de diluição (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). O sistema de produção utilizado em cada granja é que define o grau de diluição dos dejetos e suas características físico-químicas. Portanto, antes de dimensionar um sistema de tratamento de dejetos de suínos, deve-se realizar um diagnóstico preciso da granja, considerando principalmente a forma de arração (abertura dos cochos, o quanto de ração que pode estar presente junto aos dejetos), tipos de bebedouros, manejo e sistema de limpeza. Esses fatores, basicamente, determinam as características e o volume total dos dejetos produzidos. Baseado nesse diagnóstico e com auxílio do método de densímetro estima-se o teor de matéria seca dos dejetos (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). Na Tabela 2, apresenta-se concentrações médias dos diferentes constituintes do dejetos líquido de suínos.

Tabela 2 — Estimativa das concentrações dos diferentes constituintes do dejetos líquido de suínos em função de sua densidade, temperatura de 15 °C, de acordo com o sistema de produção.

Densidade	Ciclo completo					Terminação				
	(%)					(%)				
	M.S.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄	M.S.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄
1006	1,08	0,21	0,07	0,12	0,15	1,14	0,30	0,07	0,17	0,20
1008	1,49	0,23	0,10	0,13	0,17	1,53	0,31	0,11	0,18	0,21
1010	1,9	0,25	0,13	0,15	0,18	1,92	0,33	0,15	0,20	0,22
1012	2,31	0,28	0,17	0,17	0,19	2,31	0,35	0,18	0,21	0,23
1014	2,72	0,30	0,20	0,18	0,20	2,70	0,37	0,22	0,23	0,23
1016	3,13	0,23	0,24	0,20	0,21	3,09	0,39	0,25	0,24	0,24
1018	3,54	0,35	0,27	0,22	0,22	3,48	0,41	0,29	0,26	0,25
1020	3,95	0,37	0,31	0,23	0,24	3,87	0,43	0,33	0,27	0,26
1022	4,36	0,39	0,34	0,25	0,25	4,25	0,44	0,36	0,29	0,27
1024	4,77	0,42	0,37	0,26	0,26	4,84	0,46	0,40	0,30	0,28
1026	5,18	0,44	0,41	0,28	0,27	5,03	0,48	0,44	0,32	0,29
1028	5,59	0,46	0,44	0,30	0,29	5,42	0,50	0,47	0,33	0,30
1030	6,00	0,49	0,48	0,31	0,30	5,81	0,52	0,51	0,35	0,31
1032	6,41	0,51	0,51	0,33	0,31	6,20	0,54	0,55	0,36	0,32
1034	6,81	0,53	0,55	0,34	0,32	6,59	0,56	0,58	0,38	0,33
1036	7,22	0,55	0,58	0,36	0,33	6,98	0,57	0,62	0,39	0,34
1038	7,63	0,58	0,61	0,38	0,34	7,37	0,59	0,66	0,41	0,35
1040	8,04	0,60	0,65	0,39	0,36	7,76	0,61	0,69	0,42	0,36

Fonte: Citado por OLIVEIRA (1993) *apud* DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998.

3.2 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é caracterizada como um processo em que microrganismos atuam na ausência de oxigênio, de modo a biodegradar materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), que são dois dos principais constituintes do biogás (DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2011). O uso da digestão anaeróbia ganhou força ao acompanhar a introdução da suinocultura, pois é cadeia produtiva que gera maior volume de dejetos com altas cargas orgânicas (BLEY JUNIOR, 2014).

3.2.1 Etapas da digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia ocorre em quatro fases simultâneas, que para fins didáticos, podem ser divididas em: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese.

- **Hidrólise** - é a primeira fase do processo de digestão anaeróbia. Nesta fase, a matéria orgânica insolúvel é parcialmente convertida em matéria orgânica solúvel a partir da ação de enzimas excretadas por microrganismos hidrolíticos. Sua ação irá facilitar a absorção do substrato pelas paredes celulares das bactérias acidogênicas.
- **Acidogênese** - os microrganismos que atuam nesta fase consomem os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise. Esses materiais são metabolizados no interior das células produzindo (excretando) compostos mais simples, tais como: ácidos orgânicos (acético, propiônico e butírico), álcoois (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células.
- **Acetogênese** - assim como a acidogênese, é considerada como uma a fase líquida do processo de digestão anaeróbia. É uma fase responsável pela oxidação das substâncias geradas na fase de acidogênese produzindo ácidos orgânicos pela ação das bactérias sintróficas acetogênicas. Os produtos oriundos dessa fase são: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

- **Metanogênese** - última fase da metanização da matéria orgânica, que é considerada como uma etapa gasosa do processo. Nesta etapa atuam as arqueas metanogênicas, consumindo acetato, hidrogênio e dióxido de carbono como fonte de energia para o seu metabolismo. Como resultado metabólico as arqueas produzem gás carbônico e metano.
- **Sulfetogênese** - ocorre pela ação de bactérias redutoras de sulfato. As bactérias redutoras de sulfato competem com as arqueas metanogênicas pelo consumo dos mesmos substratos (acetato e hidrogênio), contribuindo para redução da produção de metano (LIMA, 2021).

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecidas vantagens ambientais. Um dos benefícios do processo, que logo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente numa fonte energia: o biogás (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

O biogás é uma mistura gasosa combustível, resultante da degradação anaeróbia de matéria orgânica que, no caso de sistemas de tratamento de esgoto, consiste no lodo. O lodo é um subproduto sólido, gerado no tratamento dos esgotos (junto com sólidos grosseiros, areia e espuma), representando a maior parcela entre eles, sendo o substrato que deve receber maior importância em relação a seu tratamento, chamado tratamento da fase sólida, também incluindo sua disposição final (COELHO *et al.*, 2006).

O biogás possui, como composição típica, 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (SOUZA *et al.*, 2005; COELHO *et al.*, 2006). Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40 e 80% de metano (GALBIATTI *et al.*, 2009).

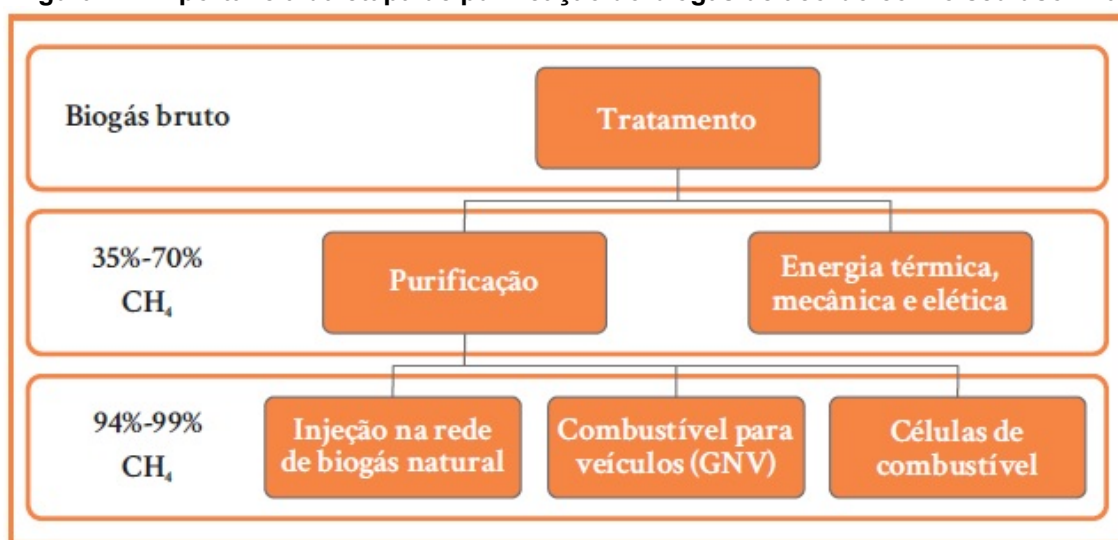
A eficiência do processo de biodigestão anaeróbia é afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais (temperatura e pressão), manejo do sistema, composição físico-química do substrato, pH do meio, relação DQO/SO₄⁻² e espécies de micro-organismos presentes no digestor. A combinação destes fatores, associada ao fator economicidade, é que dita a eficiência do sistema (MACHADO, 2010).

Essa diferença na capacidade de geração de biogás está associada a vários fatores, como dieta dos animais e sistema digestivo, que fazem com que sejam produzidos resíduos de características distintas com potencialidades distintas na produção de biogás (KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

3.2.2 Purificação de biogás

A purificação do biogás é imprescindível em função da aplicação que se deseja, pois corrige propriedades naturais de modo a atender as especificações técnicas dos equipamentos de conversão de energia. Os diferentes processos removem os componentes não combustíveis tais como o CO_2 , H_2S e água. Com a remoção de substâncias não combustíveis da fração da composição do biogás, consequentemente, interfere positivamente na eficiência do processo de conversão do biogás, aumentando o poder calorífico do biogás (MENEGALI, 2019). Na Figura 1 pode-se verificar a importância da etapa de purificação no caso do biogás ser utilizado como substituto para o gás natural.

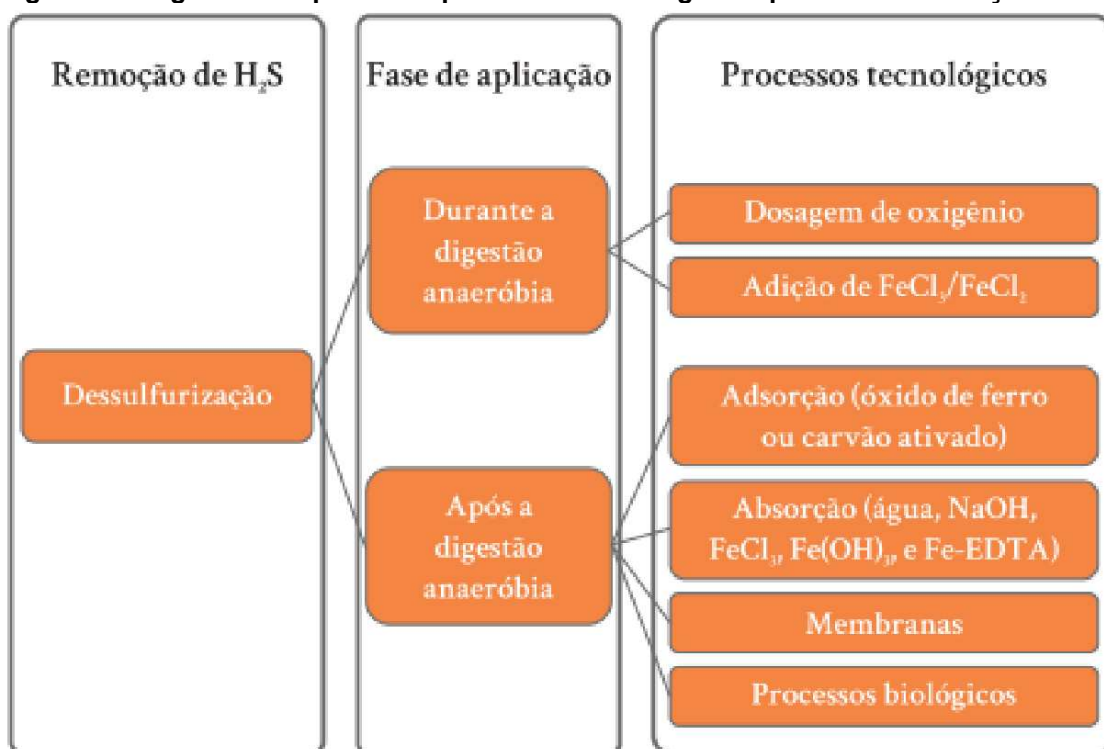
Figura 1 – Importância da etapa de purificação do biogás de acordo com o seu uso final



Fonte: KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022

O CO₂ pode ser removido do biogás por meio da lavagem do gás com água e/ou reagentes químicos envolvendo ou não o uso de sistemas pressurizados. O uso de membranas seletivas para a remoção de CO₂ e outros contaminantes como o H₂S e NH₃ (amônia), também podem ser utilizadas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). O H₂S é um gás altamente tóxico e irritante, que atua no sistema nervoso, os olhos e as vias respiratórias. A intoxicação pela substância pode ser aguda, subaguda e crônica, dependendo da concentração do gás no ar, duração, frequência da exposição e da suscetibilidade individual (MACHADO, 2010). É ligeiramente mais pesado do que o ar (28,8 g mL⁻¹), condensa na forma líquida a temperatura de – 62 °C, é parcialmente solúvel em água e compostos orgânicos. A solubilidade em água a 20 °C é de 3850 mg L⁻¹ (0,385 %). Geralmente, a solubilidade em substâncias orgânicas é maior do que em água. A solubilidade em éter etílico é de 2,1 %, enquanto nos hidrocarbonetos é da ordem de 1,2%. Comumente, a solubilidade decresce em cerca de 2,5 % para cada grau de aumento da temperatura (MAINIER; VIOLA, 2005). Na Figura 2 pode-se observar, de acordo com a fase de aplicação, os diferentes processos tecnológicos aplicados na remoção de H₂S.

Figura 2 - Diagrama dos possíveis processos tecnológicos aplicados na remoção de H₂S.



Fonte: Menegali (2019).

Realiza-se o processo de dessulfurização com o objetivo de proteger todos os equipamentos envolvidos do alto poder oxidante do H_2S , além de corrosivo esse composto é tóxico e poluente atmosférico. A dessulfurização configura uma etapa básica da purificação do biogás, existem diferentes processos para realizar a dessulfurização, os métodos tecnológicos disponíveis se classificam em físico, químico e biológico (CORTEZ; LORA; GOMEZ, 2008 apud MENEGALI, 2019). Entre os processos biológicos de purificação de biogás, tem-se um denominado de microaeração.

3.2.3 Dessulfurização de biogás por microaeração

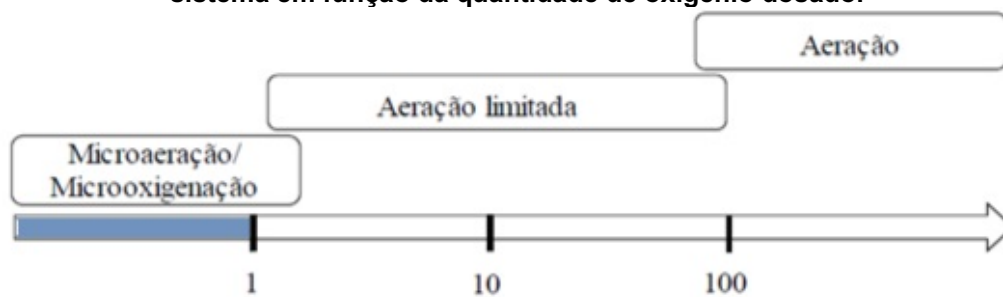
A microaeração consiste na injeção de O_2 ou ar atmosférico diretamente no gasômetro. A prática de injeção de O_2 ou ar para remoção de H_2S deve ser considerado com precaução, de modo a evitar excesso de O_2 e os riscos intrínsecos de explosão. A quantidade de O_2 no sistema não deve exceder as concentrações máximas permitidas, conforme as normas e regulamentações vigentes para injeção do biogás em rede. Processos biológicos são considerados de baixo custo de implantação e manutenção, e podem reduzir significativamente o H_2S e o CO_2 (dióxido de carbono) de forma sustentável.

O processo microaeróbio, portanto, pode ser também considerado como um tratamento biológico, pois, ao injetar O_2 através de ar ou oxigênio puro no reator, uma comunidade de microrganismos capazes de oxidar parcialmente o sulfeto se desenvolve, utilizando o O_2 como aceptor de elétrons (OLIVEIRA, 2013).

Além de tudo, a microaeração é capaz de oxidar o Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), minimizar odores, diminuir a corrosão dos equipamentos e melhora o biogás ali produzido, fazendo assim, ser um processo barato, sem muitos segredos, porém, utilizado de forma fracionada.

A Figura 3, mostra os principais termos usados em relação a quantidade de oxigênio dosado em reatores anaeróbios. À vista disso o termo microaeração é atribuído à faixa de oxigênio introduzido no sistema entre 0,03 e 1,2 $\text{LO}_2 \text{ L}^{-1} \text{esgoto}$ ou equivalente de ar (MARINHO, 2019).

Figura 3 - Terminologias usadas para técnica de aeração/oxigenação de um sistema em função da quantidade de oxigênio dosado.



Fonte: MARINHO (2019).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

Os sistemas de produção e tratamento do biogás investigados fazem parte de um arranjo com outras propriedades conectadas a uma minicentral termelétrica. Para análise dos dados, foram escolhidas duas propriedades rurais, com número de suínos equivalentes, que possuem o sistema de manejo de suínos conhecido como “terminação”. A categoria de terminação ou acabamento é a fase em que os suínos são alimentados para alcançarem as características na carne exigidas pelo mercado de suínos, com o peso ideal para o abate. O abate ocorre normalmente entre 105 e 120 dias (100 a 130 kg). O número médio de suínos nas Propriedades A e B foi (no período do estudo) de, aproximadamente, 850 animais.

Em cada propriedade, o biogás produzido é transferido, por meio de um gasoduto, até a minicentral termoelétrica. Na minicentral, o biogás é convertido a energia elétrica pela cogeração em um motor a combustão acoplado a um dínamo. A energia vendida para a concessionária estadual vai render créditos que serão descontados, mensalmente, da conta de luz do município.

4.1.1 Caracterização do processo produtivo de biogás na propriedade rural

O dejetos dos suínos é coletado por meio de canaletas ou de monjes. Em seguida, passam por uma caixa desarenadora (Figura 4a), com a função de reter areia para não prejudicar o biodigestor. A vazão do dejetos é medida por meio de uma calha Parshall (Figura 4b).

Figura 4 – Etapas de (a) remoção de areia do dejetos suíno e (b) medição da vazão de líquido a ser tratado no biodigestor.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2022)

Próximo ao biodigestor, encontra-se um local protegido onde ficam os equipamentos necessários para o processo opere adequadamente. Neste local são encontrados:

- Painel elétrico comando e força: tem a função de receber sinais e comandar todos os componentes elétricos e dispositivos de atuação. Esse painel comanda a agitação do biodigestor. O agitador é ligado de 6 em 6 horas por 30 minutos.
- Compressor de pistão: função de sucção de biogás do biodigestor.
- Vaso de pressão: manter equalizado a pressão do biogás no gasoduto com vaso pressão para funcionamento das válvulas de retenção do compressor, e em caso de obstrução, acionar válvulas de emergência.
- Válvula solenoide: para retirada de líquido e condensados no vaso de pressão.
- Sensor de nível: sensor modificado e dedicado para finalidade de gerar sinal digital para o painel elétrico para ligar o compressor, mantendo o biodigestor e uma pressão instável, sem deixar acúmulo de água da chuva no biodigestor ou acionar válvulas de emergência do biodigestor.
- Soprador radial: inserção de ar atmosférico no biodigestor para controle de H_2S . A injeção de ar ocorre por 50 minutos, com 10 minutos de pausa. Dessa forma, ocorre a injeção de ar 20 horas por dia.

- Rotâmetro: medidor de vazão para controlar a entrada de ar atmosférico no biodigestor.
- Filtro de partículas: localizado na entrada da sucção do compressor, segura fragmentos do biogás para não danificar o compressor;
- Válvulas de globo: saída de gás para análises de biogás.
- Caixa sifão: 20 metros tubulação, de 100 mm enterrada no solo em desnível para choque térmico, para retirar a umidade do biogás, armazenando o líquido no sifão.

Após passar pelo biodigestor, o efluente tratado (digestato) segue para um tanque de armazenamento (Figura 5) até ser transportado para o local de aplicação.

Figura 5 - Lagoa com digestato, utilizado como biofertilizante



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Análises do biogás

A caracterização da concentração dos componentes do biogás produzido foi realizada pela empresa de monitoramento, utilizando um medidor portátil, Gasboard 3200 L da Engezer, com capacidade para analisar CH₄, CO₂, H₂S e O₂.

4.3 Aquisição dos dados

Os dados referentes ao monitoramento da concentração de gases presentes no biogás, vazão de ar atmosférico injetado entre outros foram fornecidos pela empresa de engenharia responsável pela minicentral termoelétrica. Esses dados utilizados referem-se ao período de 09 de outubro de 2019 à 26 de outubro de 2021, dados esses verificados semanalmente pela empresa responsável.

4.4 Caracterização dos sistemas adotados nas propriedades estudadas

Dentre todas as propriedades que fazem parte do projeto da minicentral termoelétrica, que totalizam dezessete ativamente, duas delas foram escolhidas para serem comparadas, como cada uma reagia em alguns dos aspectos disponibilizados nas tabelas de controle semanal. As duas propriedades foram escolhidas por conter uma quantidade de animais parecida, tipo de biodigestor, e por forma de criação, que nesse caso, é terminação (em que os animais vem do crechário, desenvolvem e vão direto para o abatedouro). Na Tabela 3 está apresentado um resumo geral dessas duas propriedades.

Tabela 3 - Características gerais das propriedades comparadas para o estudo

Características Gerais	Propriedade A	Propriedade B
Capacidade de suínos na Granja	850	900
Dejetos (m ³ /dia)	7	6
Biogás (m ³ /dia)	114	134
Volume Biodigestor (m ³)	210	189
Formato do biodigestor	Retangular	Retangular
Volume da Lagoa do biodigestor (m ³)	484	1,048
Plantel Atual (Suínos)	794	900
Biogás Teórico (m ³ /dia)	116,72	132,30
Sistema de Criação	Terminação	Terminação
Ciclo (dias)	120	107
Entre Ciclos, período de vazio sanitário (dias)	10	20

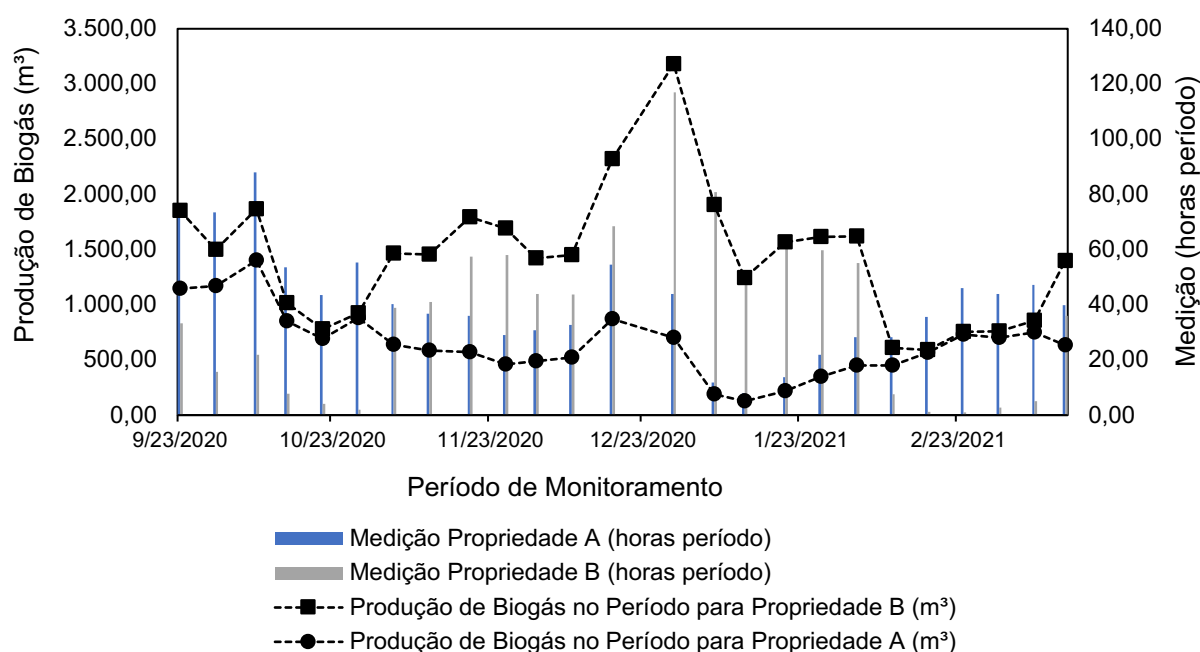
Fonte: Autoria própria (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de biogás

As produções de biogás observadas nas propriedades A e B, bem como as horas de medição durante a primavera e verão de 2020 e 2021, respectivamente, estão apresentadas na Figura 6. Observou-se picos de produções de biogás mais proeminentes na propriedade A, em relação a propriedade B, sobretudo a partir de 23/10/20 até meados de 23/01/21. Tal produção está associada com maiores períodos de medição propriedade A, se comparada com a B. Quando a produção volumétrica de biogás é dividida pelas horas de medição, verifica-se que, em média, a taxa de produção de biogás da propriedade A foi de $15,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, enquanto a da propriedade B foi de $21,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Figura 6 - Produção de biogás nas propriedades A e B em relação às horas de medição.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com Kunz, Steinmetz e Amaral (2019), a produção de biogás está diretamente relacionada com aspectos como carga orgânica volumétrica, isto é, quantidade de matéria orgânica disponível no tempo, bem como sistema de criação, temperatura, pH, alcalinidade, tempo de retenção hidráulica,

agitação, entre outros. As maiores produções volumétricas da propriedade A podem se relacionar com a maior quantidade de animais em terminação (850) quando comparados com a propriedade B (900) e melhores condições de operação do biodigestor. Resultados semelhantes foram relatados por Broetto (2019), ao estudar a produção de biogás de diferentes estágios de criação de suínos.

A taxa de produção de biogás depende da temperatura. Biodigestores operando na faixa termofílica produzem maior quantidade de biogás e mais rapidamente que aqueles que operam na faixa mesofílica, resultando em menores tempos de retenção, biodigestores com câmaras menores e, conseqüentemente, menores custos (LUCAS JÚNIOR, 1994 *apud* SOUZA *et al.*, 2008).

Justamente pelo motivo da produção depender da temperatura, verificamos que as produções nas propriedades A e B, foram relativamente altas, pelo período de comparação ter se dado nas estações de Primavera/Verão. A baixa na produção, dá-se pelo período do vazio sanitário, utilizado para higienização das granjas, para a chegada do novo lote. Na propriedade A verificou-se uma constância em relação a produção de H_2S , porém, o maior pico de Sulfeto de Hidrogênio, deu-se no início do novo lote, no dia oito de janeiro de 2021, mas ainda sim ocorre sua purificação e produção de biogás dentro de todos os períodos. Já na propriedade B, tanto a produção de H_2S , quanto de biogás, tem um pico no final do mês de outubro de 2020 até o final do mês de janeiro de 2021, após houve o período de vazio sanitário, para as devidas higienizações da granja.

Vale acrescentar que a produção de biogás atualmente, representa importância porque além de preservar a biosegurança do ambiente, diminuindo a poluição e degradação do solo, emissões atmosféricas, poluição de mananciais, águas subterrâneas e afins, ainda representa uma fonte de energia térmica e/ou elétrica sustentável. Além do mais, os proprietários alegam que, ter um biodigestor na propriedade, diminui o odor, diminui a proliferação de vetores e principalmente moscas.

5.2 Qualidade do biogás produzido

Na Tabela 4, pode-se verificar a estatística descritiva da composição do Biogás produzido em cada propriedade durante o período do estudo. A qualidade do biogás é extremamente relevante quando o objetivo é aproveitamento energético, visto que, de todos os gases que o compõe, o metano representa o valor energético. Além disso, o gás sulfeto de hidrogênio também representa grande importância devido ao seu potencial de corrosão das superfícies metálicas empregadas na conversão e utilização do biogás (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL 2019)

Tabela 4 - Estatística descritiva da composição do Biogás das propriedades A e B entre 23/09/2020 e 16/03/2021.

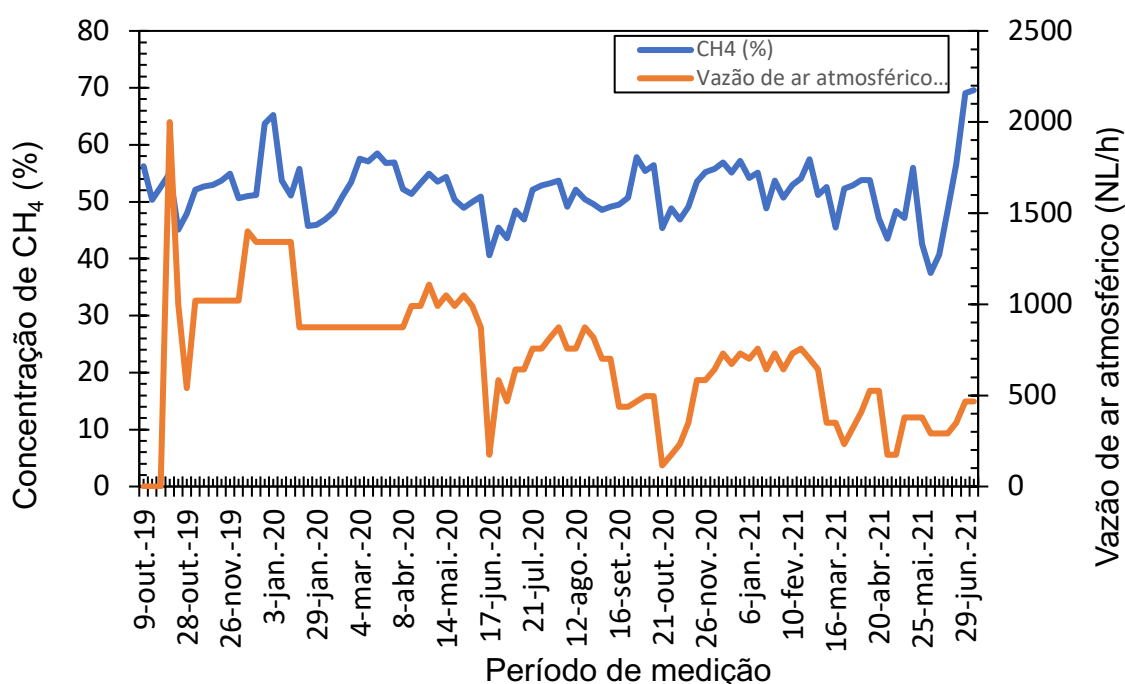
Composição do Biogás	Propriedade	Média	Desvio Padrão	CV (%)
CH ₄ (%)	A	52,3	3,5	6,7
	B	53,2	3,4	6,4
CO ₂ (%)	A	32,9	3,1	9,3
	B	34,4	3,9	11,4
O ₂ (%)	A	0,6	0,2	37,4
	B	0,4	0,2	62,3
H ₂ S (ppm)	A	1161,5	1385,2	119,3
	B	1390,1	1568,4	112,8

Fonte: Autoria própria (2022)

Os teores de CH₄ do biogás das propriedades A e B foram, respectivamente, 52,3% e 53,2% e os desvios de ambos foram relativamente baixos (3,5 e 3,4), considerando que a média foi calculada com dados de um período de cerca de seis meses. O teor mínimo de metano para uma boa combustão é 55% na composição do biogás. Do ponto de vista qualitativo, quanto maior o teor de metano, melhor a qualidade do biogás para gerar energia, pois, maior poder calorífico estará disponível para combustão nos motores (BROETTO, 2019). Fernandez (2012) realizou o monitoramento da concentração de CH₄ no biogás produzido nos biodigestores em escala real, durante o período de 15/04/2011 a 24/05/2011 e relatou teores variando de 57 a 61%. A quantidade dos outros componentes do biogás apresentados na Tabela

4 estão de acordo com as faixas de percentual apresentados por La Farge (1979) e Kunz et al. (2019). Segundo Soares (2016), as quantidades de Metano (CH_4) se encontram entre 40 e 75%, Dióxido de Carbono (CO_2) de 25 a 40% e traços de Nitrogênio (N_2), Hidrogênio (H_2) e Sulfeto de Hidrogênio (H_2S). Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as variações da concentração de de metano (CH_4) em função da vazão de ar atmosférico inserido no gasômetro produzidos nas propriedades A e B, respectivamente, ao longo de 09 de outubro de 2019 à 11 de outubro de 2021. As duas propriedades possuem características semelhantes tais como a quantidade de animais e o sistema de criação.

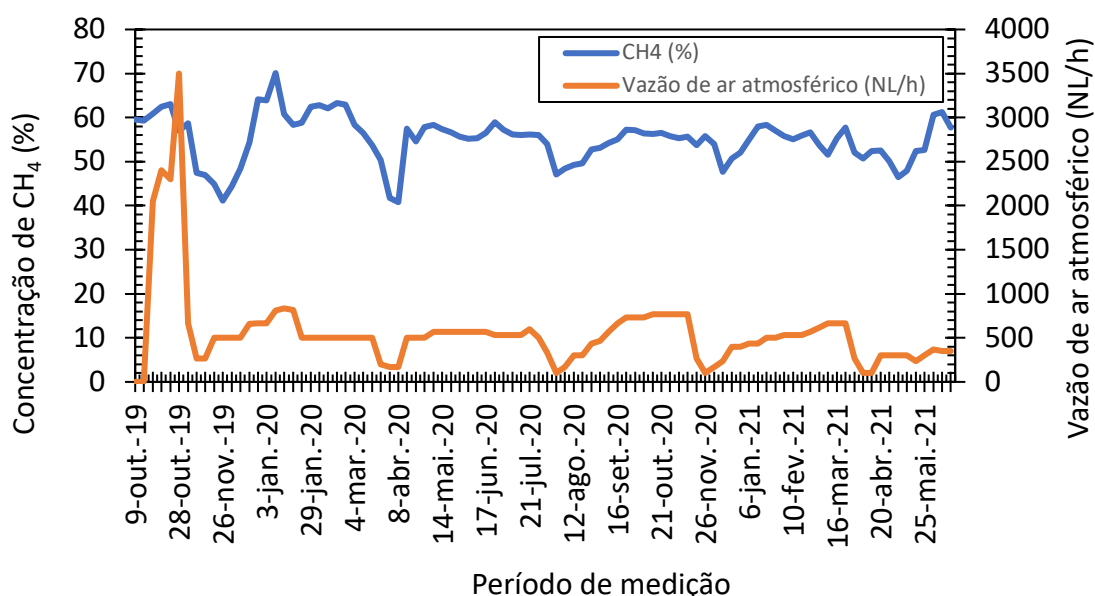
Figura 7 – Variação da concentração de metano (CH_4) produzidos na propriedade A em função da Vazão de ar atmosférico inserido no gasômetro



Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando-se as curvas de concentração de CH_4 das Propriedades A e B, em função da variação da vazão de ar, não foi possível avaliar se há correlação positiva ou negativa entre ambas.

Figura 8 – Variação da concentração de metano (CH₄) produzidos na propriedade B em função da Vazão de ar atmosférico inserido no gasômetro



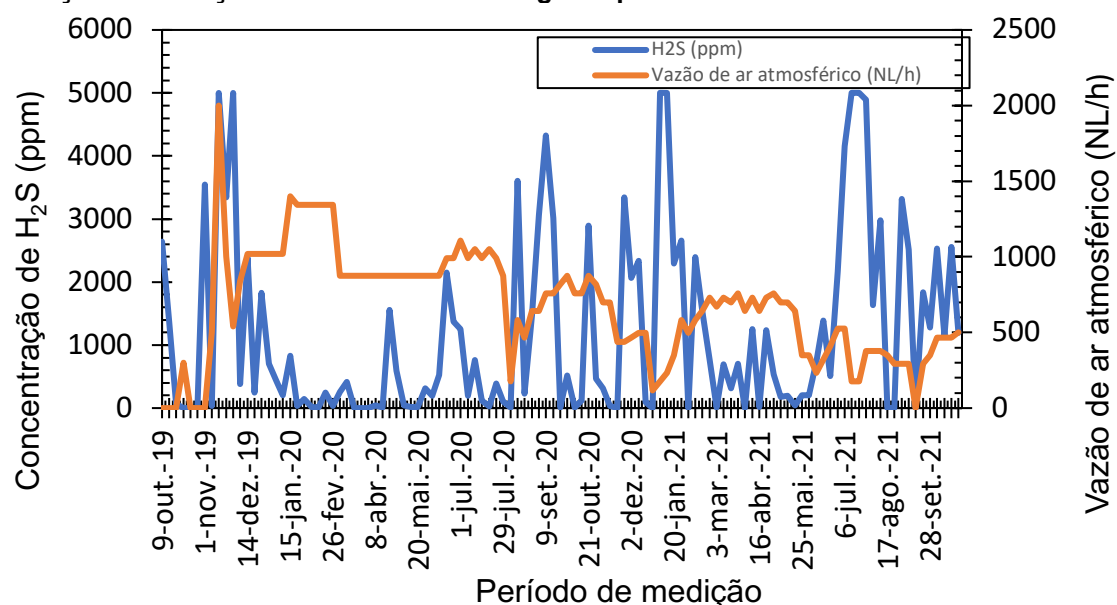
Fonte: Autoria própria (2022)

Outro fato importante é que, em período de vazio sanitário, ocorrem as variações nos teores de metano. Na Propriedade A, o teor de metano oscilou entre 45,4% a 57,8%, ao passo que na Propriedade B, a variação foi de 45,9% a 57,3%. Tal variação pode estar relacionada a redução da carga orgânica volumétrica que abastece os biodigestores durante o período de vazio sanitário.

5.3 Remoção do sulfeto de hidrogênio

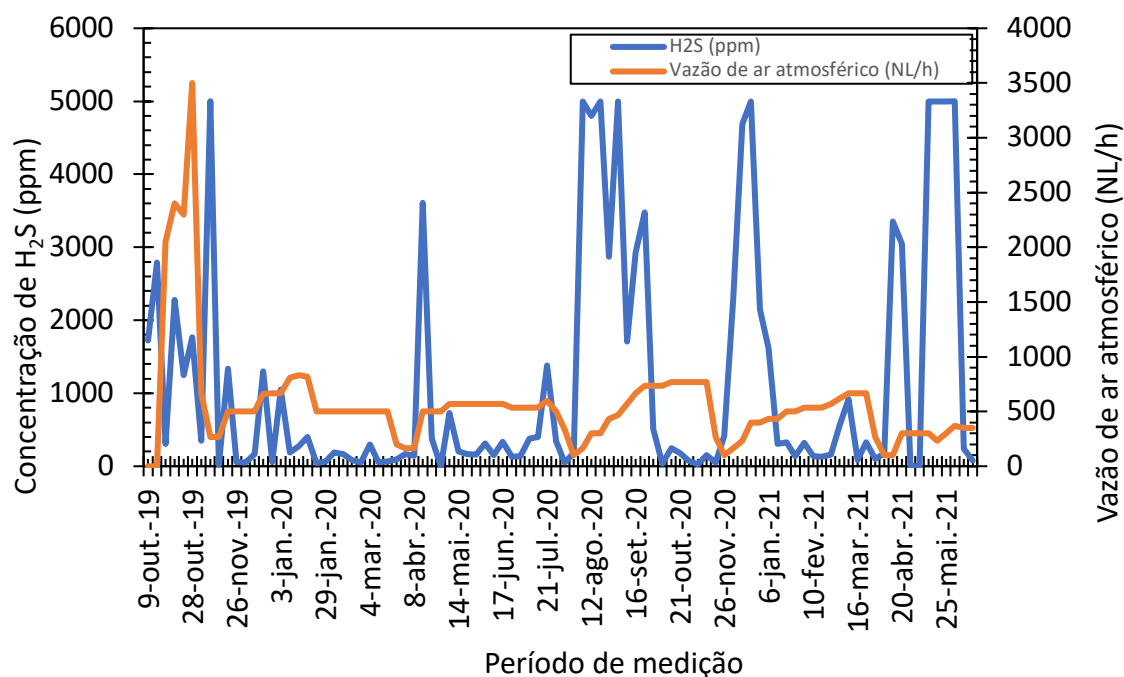
Comparando-se a concentração de sulfeto de hidrogênio (H₂S) de cada propriedade pôde-se verificar que a Propriedade A mantém um padrão de produção de H₂S e a produção do biogás torna-se menor. Comparando-se a propriedade B, a produção de H₂S é instável ou até mesmo, a remoção pode ser mais eficiente, o que torna a produção de biogás maior. As concentrações de H₂S no biogás produzido nas Propriedades A e B ao longo do período de monitoramento do estudo são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Variação da concentração de H₂S no biogás produzido na propriedade A em função da variação da vazão de ar ao longo do período de monitoramento do estudo.



Fonte: Autoria própria (2022)

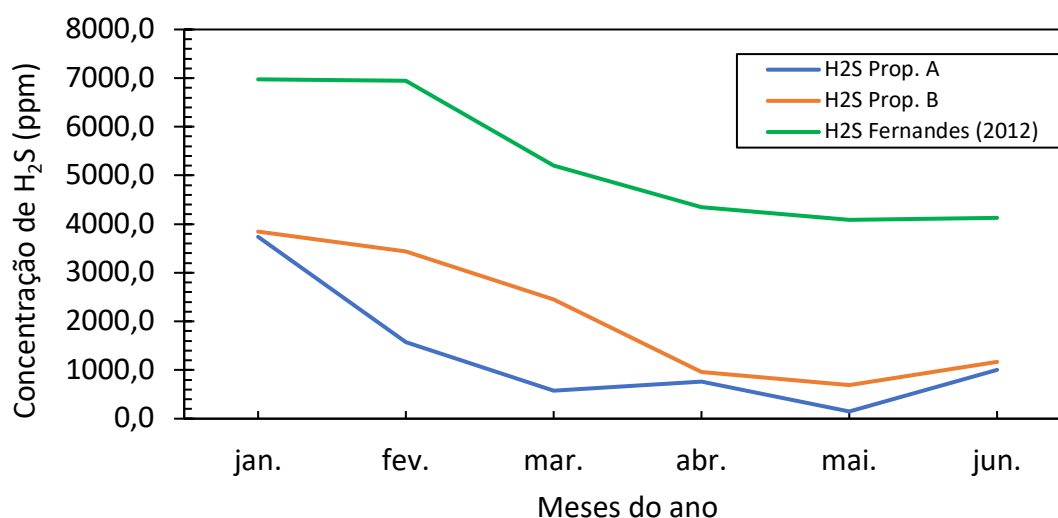
Figura 10 – Variação da concentração de H₂S no biogás produzido na propriedade B em função da variação da vazão de ar ao longo do período de monitoramento do estudo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 11 tem-se uma comparação da variação da concentração de H_2S , em um mesmo período do ano, para as Propriedades A e B com outra propriedade apresentada por Fernandes (2012).

Figura 11 - Comparação da concentração média de H_2S entre as Propriedades A e B com um biodigestor sem inserção de ar.



Fonte: Autoria Própria (2022), Fernandes (2012)

A partir da análise dos dados entre as propriedades (Figura 11), a concentração de H_2S , em média, foi menor nos biodigestores com injeção de ar atmosférico, em comparação com os dados publicados por Fernandes (2012), onde não havia inserção de ar atmosférico nos biodigestores.

Segundo Sant'anna (2018), o sulfeto de hidrogênio é um gás altamente tóxico e poluente, podendo causar diversos efeitos negativos à saúde e ao meio ambiente. Segundo o órgão de saúde americano OSHA (Occupational Safety & Health Administration) os efeitos dependem da concentração que o ser humano é exposto, altas quantidades de partícula por milhão, além da toxicidade, podem levar a morte, então é mais que ideal a remoção dele.

Soares (2016) citou que, a quantidade de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) que podemos observar dentro do biodigestor, se encontra entre 0,1 e 0,5% (1000 e 5000 ppm).

Sabendo que 1 ppm (partes por milhão) é o equivalente à 0,0001%, pode-se verificar se o que está sendo produzido nas propriedades condiz com o

que é encontrado na literatura, utilizando um simples cálculo de amostra (3.346 ppm é a quantidade de H_2S , retirada do dia 26 de novembro de 2020, período de alta no H_2S (valores extraídos da propriedade A) que equivale a 0,3346%. Esse valor obtido, encontra-se dentro do esperado nos biodigestores, conforme diz a literatura. Dessa forma pode-se verificar todas as outras percentagens em diversas datas de medição:

- 26 / 11 / 2020 : 0,3346% (propriedade A)
- 17 / 12 / 2020 : 0,0093% (propriedade A)
- 26 / 11 / 2020 : 0,2929% (propriedade B)
- 17 / 12 / 2020 : 0,0038% (propriedade B)

Pode-se verificar a queda na produção, ou considerada purificação, essas quantidades de H_2S , são equivalentes à uma semana. Ou seja, por dia, o valor seria muito menor.

Analisando as tabelas cedidas pela empresa responsável pelo monitoramento da minicentral termoelétrica é que, no período de início de novo lote, a produção de H_2S , é muito maior na propriedade B. Porém a produção de CH_4 se mantém por todo o decorrer da produção. Já na propriedade A, mantém-se uma quantidade parecida sendo produzida de H_2S , ali ele é produzido e purificado, e assim por diante. Já na propriedade B, pode-se verificar uma instabilidade, tanto na produção do mesmo, quanto na purificação, a efetiva baixa do H_2S dá-se apenas no período de vazio sanitário.

Outra análise que pode ser realizada referente a produção do H_2S nos biodigestores é que, a quantidade produzida, além de ser corrosiva a todo o sistema, ela é de extrema toxicidade, podendo levar a morte. Sendo assim, mais um motivo para a remoção dele. Os picos elevados da produção de H_2S , se dão principalmente no início de cada lote, quando os animais ainda estão com 20 à 30 quilogramas, ou seja, em granjas onde encontram-se animais em crechário, o trabalho de remoção do H_2S , deve ser mais trabalhado, nesse caso sendo terminação, o período crítico se dá no início do lote.

6 CONCLUSÃO

Nas Propriedades A e B verificou-se que, comparadas com outra propriedade suinícola, houve uma redução significativa de H_2S com a injeção de ar atmosférico no gasômetro do biodigestor.

A tecnologia de microaeração utilizada mostrou-se eficiente no controle de H_2S para biodigestores operando com efluentes de suinocultura de terminação.

Não foi possível avaliar, a partir dos dados utilizados, se houve influência da vazão de ar atmosférico sobre a concentração de CH_4 . Deve-se verificar a influência de outros fatores na composição do biogás tais como o período de vazão sanitário, estações do ano entre outras.

7. REFERÊNCIAS

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2022.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **SUINOCULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO: TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E APROVEITAMENTO ECONÔMICO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. – Brasília : MAPA, 2016.

AGROINDÚSTRIA, IMPACTOS AMBIENTAIS DA SUINOCULTURA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. Rio de Janeiro: Bndes, 2016. Autores: Ito, Minoru; Guimarães, Diego; Amaral, Gisele.. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambientais%20da%20suin>. Acesso em: 12 set. 2022.

APROVEITAMENTO DE DEJETOS DE ANIMAIS PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS. Concórdia - Sc: Embrapa, v. 15, n. 3, 2006. Autores: Kunz, Airton; Oliveira, Paulo Armando V.. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/507/458>. Acesso em: 17 out. 2022.

BIOGÁS A ENERGIA INVISÍVEL. Foz do Iguaçu: Abril, v. 2, 2014. Autor: Cícero Bley Junior.

BOLETIM INFORMATIVO, MANEJO DE DEJETOS DE SUÍNOS. Porto Alegre: Emater/Rs, v. 11, mar. 1998. Semestral. Autores: Dartora, Valmir; Perdomo, Carlos C.; Tumelero, Ivone Lopes.. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/bipers11.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

ESTUDO QUALIQUANTITATIVO DO BIOGÁS PRODUZIDO POR SUBSTRATOS EM BIODIGESTORES TIPO BATELADA. Campina Grande - Pb: Agriambi, v. 14, n. 4, 2009. Autores: Galbiatti, João A. Et Al.. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xYwqQcNLwQr6yZ4kTFk5sxs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 nov. 2022.

FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA, PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS, USO E TRATAMENTO DO DIGESTATO. Concórdia - Sc: Embrapa, v. 2, 2022. Autores: Kunz, Airton; Steinmetz, Ricardo Luis Radis; Amaral, André Cestonaro.. Disponível em: [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/final9894%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/final9894%20(3).pdf). Acesso em: 02 set. 2022.

GEORREFERENCIAMENTO DE CLUSTERS DA SUINOCULTURA. Campinas - Sp: Embrapa, v. 5, n. 55, 2021. Autor: Rocha, Dilcio José.. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1132900/1/5916.pdf>. Acesso em: 02 set. 2022.

GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS. Concórdia - Sc: Embrapa, jun. 2006. Autores: Oliveira, Paulo Armando Victoria; Higarashi, Martha Mayumi.. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

MANUAL BRASILEIRO DE BOAS PRÁTICAS AGROPECUÁRIAS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS. Concórdia - Sc: Abcs, v. 1, 2011. Autores: Dias, Alexandre César Et Al.. Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/02/MANUAL-BRASILEIRO-DE-BOAS-PR%C3%81TICAS-AGROPECU%C3%8>. Acesso em: 10 out. 2022.

NOVOS CAMINHOS NA SUINOCULTURA. Brasília - Df: Abcs, 2019. Autores: Fischer Et Al.. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1114252/1/final9061.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

ABPA (Brasil). **Relatório Anual.** São Paulo: Abpa, 2022. 144 p. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>. Acesso em: 04 set. 2022.

COELHO, Suani Teixeira *et al.* **A conversão da fonte renovável biogás em energia.** 2006. 11 f. Monografia (Especialização) - Curso de Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, Brasília - Df, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Suani-Coelho/publication/228452829_A_conversao_da_fonte_renovavel_biogas_em_energia/links/54d4bfdf0cf2970e4e639342/A-conversao-da-fonte-renovavel-biogas-em-energia.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

ENGELSING, Eliane Fátima. **ANÁLISE DASUSTENTABILIDADE DA SUINOCULTURA EM UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE TOLEDO -PR.** 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2019. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4442/5/Eliane_Engelsing.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

FERNANDES, Dangela Maria. **BIOMASSA E BIOGÁS DA SUINOCULTURA.** 2012. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Pr, 2012. Disponível em: https://www5.unioeste.br/portaunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao_Dangela_M_Fernandes.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

MACHADO, Neiton Silva. **REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO DO BIOGÁS PRODUZIDO NA FERMENTAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA UTILIZAÇÃO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.** 2010. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Mg, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10450/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MAINIER, Fernando B.; VIOLA, Eliana Delaidi Monteiro. **O SULFETO DE HIDROGÊNIO (H₂S) E O MEIO AMBIENTE.** 2005. 7 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal

Fluminense, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos05/261_H2S.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

MARINHO, Tamile Dafne. **ESTUDO DA MICROAERAÇÃO E SUA ASSOCIAÇÃO COM CÂMARA DE DESSORÇÃO NA REMOÇÃO E RECUPERAÇÃO DESULFETO DE HIDROGÊNIO E METANO EM REATORES UASB NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO**. 2019. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1342M.PDF>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MARTINEZ, Daiana Gotardo. **DESSULFURIZAÇÃO BIOLÓGICA – ESTUDO DE CASO COM MICROAERAÇÃO EM BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA**. 2019. 17 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20508/1/dessulfurizacaoestudobiodigestorlagoa.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MENEGALI, William. **AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO DE BIOGÁS PROVINDO DA DIGESTÃO DE EFLUENTES SUÍNÍCOLAS UTILIZANDO BIOFILTRO EM ESCALA AMPLIADA CAMPO MOURÃO**. 2019. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento Acadêmico Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7083/1/remocaosulfetohidrogeniobiogas.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

OLIVEIRA, Carla Jamile Sobreira de. **AVALIAÇÃO DA MICROAERAÇÃO NA EFICIÊNCIA, ESTABILIDADE OPERACIONAL, QUALIDADE DO BIOGÁS E CONTROLE DE ODOR EM SISTEMAS ANAERÓBIOS DE TRATAMENTO**. 2013. 105 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7986/1/2013_dis_cjsoliveira.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

SANT'ANNA, Felipe Pettinati. **Biogás: modelos de biodigestores e métodos para remoção do sulfeto de hidrogênio**. 2018. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena - Sp, 2018. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2018/MEQ18056.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SOARES, Clenoir Antônio. **Estudo da Produção de Biogás em Escala Real a partir de Dejetos Suínos**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1553/1/SOARES.PDF>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SOUZA, Cecília de Fátima *et al.* **PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE METANO DEJETOS DE SUÍNOS**. 2008. 6 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Lavras, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/BhZywNSpPMR5zfk6krXDXvS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 nov. 2022.

BROETTO, Tiago. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS EM UMA GRANDE PROPRIEDADE RURAL**. 2019. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20489/1/producaodejetossuinorural.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

LA FARGE, B. **Le Biogaz - Procèdes de Fermentation Méthanique**. Paris: Masson, 1979.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2019. 214 f. Monografia (Especialização) - Curso de Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial - Sbera, Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/LivroBiogas.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

LIMA, Heleno Quevedo. **FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA**. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/fundamentos-do-processo-de-digestao-anaerobia#:~:text=O%20processo%20de%20digest%C3%A3o%20anaer%C3%B3bia,do%20processo%20de%20digest%C3%A3o%20anaer%C3%B3bia>. 2021.