

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RODRYGO DENNER BRESSAN

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURAS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS POR MEIO DE DEJETOS SUÍNOS UTILIZANDO TEMPERATURAS NA
FAIXA MESOFÍLICA**

CASCADEL – PR
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RODRYGO DENNER BRESSAN

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURAS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS POR MEIO DE DEJETOS SUÍNOS UTILIZANDO TEMPERATURAS NA
FAIXA MESOFÍLICA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Me. Orientador: Eliseu Avelino Zanella Junior.

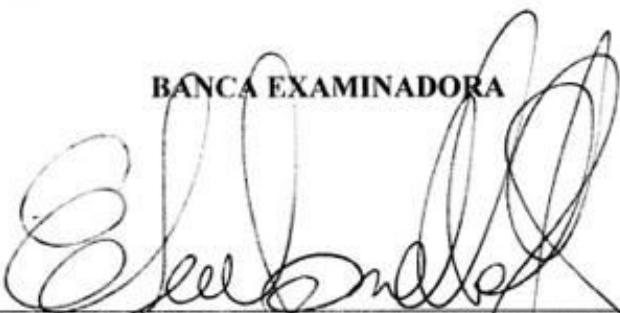
CASCADEL – PR
2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
RODRYGO DENNER BRESSAN**

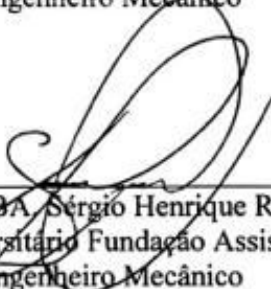
**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURAS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOGÁS POR MEIO DE DEJETOS SUÍNOS UTILIZANDO TEMPERATURAS NA
FAIXA MESOFÍLICA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor MSc. MBA. Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Geovane Duarte Pinheiro
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz
Engenheiro de Controle e Automação

Cascavel, 27 de junho de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e a todos meus amigos que sempre me apoiaram em todos os momentos ao longo desta minha jornada, sendo fontes da minha força e motivação para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui com saúde.

Aos meus pais, à minha irmã e a todos os familiares, por todo apoio nos momentos de dificuldades durante toda esta minha caminhada.

Ao professor orientador, Eliseu Avelino Zanella Junior, o qual me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho da melhor forma possível e com muita paciência.

A todos os meus amigos, que sempre me motivaram e se fizeram presentes em todos os momentos de conquistas e também nas dificuldades na qual passei.

E a todos os demais, que de alguma maneira me ajudaram, obrigado.

RESUMO

Quando se trata da suinocultura, os biodigestores têm como uma das funções principais reduzir os altos índices de problemas ambientais causados pelo manejo inadequado dos dejetos. Todavia, outra função de grande importância do biodigestor é a possibilidade da produção de biogás e biofertilizante, os quais, após todo o processo, podem ser reutilizados na propriedade, reduzindo os custos com energia elétrica, no caso do biogás, e também com fertilizantes para o solo, no caso do biofertilizante. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar o processo de biodigestão anaeróbica em diferentes temperaturas (30°C, 35°C e 40°C) dentro da fase mesófila no interior dos biodigestores, buscando observar se há alguma variação na geração de biogás entre as temperaturas após todo o processo de ensaio. Inicialmente, recorreu-se à literatura especializada, em busca de referenciais e dados que embasassem teoricamente as reflexões. Posteriormente, foram fabricados quatro protótipos de biodigestores em menor proporção, tendo como sistema de alimentação o método descontínuo. Definiu-se um dos protótipos para ser utilizado como parâmetro de base durante os ensaios, o qual tinha tendo ele a capacidade normal de produção de biogás. Finalizados os testes, foi possível analisar os resultados encontrados nos três protótipos ensaiados à temperatura constante, e comparar com o parâmetro de base, onde através disso foi possível observar uma redução na produção de biogás na temperatura ensaiada constantemente a 30°C, já nas temperaturas de 35°C e 40°C houve um aumento na geração de biogás, no qual o protótipo ensaiado a 35°C se sobressaiu, gerando um aumento na produção de biogás de 18,23%, se mostrando a melhor temperatura para ser trabalhada constantemente quando se trata de temperaturas na faixa mesófila.

Palavras-chave: Geração de biogás, biodigestor, temperatura mesófila.

ABSTRACT

When it comes to swine, biodigestors have as one of the main functions, to reduce the high indexes of environmental problems caused due to the inadequate management of the waste, but another function of great importance when speaking of biodigestor is the possibility of the production of biogas and biofertilizer, which after the whole process can be reused in the property and may reduce energy costs in the case of biogas and also with fertilizers for the soil in the case of biofertilizer. The objective of this study was to analyze the process of anaerobic biodigestion at different temperatures (30°C, 35°C and 40°C) within the mesophyll phase inside the biodigesters, in order to observe if there is any variation in the biogas generation between after the entire test procedure. Initially a research was carried out in several specific literature searching for data for the elaboration of the theoretical basis, then four prototypes of biodigestors were manufactured in a smaller proportion and having as feeding system the discontinuous method. One of the prototypes was defined to be used as the base parameter during the tests, with it being the normal biogas production capacity. At the end of the tests, it was possible to analyze the results found in the three prototypes tested at constant temperature, and to compare with the base parameter, where through this it was possible to observe a reduction in the biogas production at the temperature constantly tested at 30°C, 35°C and 40°C there was an increase in biogas generation, in which the prototype tested at 35°C stood out, generating an increase in biogas production of 18.23%, showing the best temperature to be constantly worked when it comes to temperatures in the mesophyll range.

Keywords: Biogas generation, biodigester, mesophyll temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Componentes do sistema de criação de suínos.	15
Figura 02 - Princípio de funcionamento de um biodigestor.	21
Figura 03 - Biodigestor modelo indiano.	22
Figura 04 - Biodigestor modelo chinês.	23
Figura 05 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano.	26
Figura 06 - Peso específico do biogás em relação a concentração de metano.	26
Figura 07 - Protótipo de biodigestor natural.	31
Figura 08 - Elaboração e implantação da serpentina de aquecimento.	32
Figura 09 - Protótipo de biodigestor aquecido pela serpentina.	34
Figura 010 - Método utilizado para pesagem dos protótipos.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.....	18
Tabela 02 - Condições necessárias para produção de biogás.....	24
Tabela 03 - Comparação entre biogás e outros combustíveis.	25
Tabela 04 - Componentes do biofertilizante.....	28
Tabela 05 - Demonstração dos valores obtidos na coleta dos dados.	37
Tabela 06 - Diferença na geração de biogás entre as temperaturas.....	37
Tabela 07 - Resultados obtidos na coleta dos dados.....	39
Tabela 08 - Percentual de variação na geração de biogás.	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Percentual de geração de biogás.....	40
Gráfico 02 – Percentual de variação na geração de biogás.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 SUINOCULTURA NO BRASIL	15
2.2 EFEITOS DA SUINOCULTURA NO MEIO AMBIENTE	17
2.3 UMA BREVE INTRODUÇÃO SOBRE BIODIGESTORES	19
2.4 CARACTERIZAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS BIODIGESTORES	20
2.4.1 BIODIGESTOR MODELO INDIANO	21
2.4.2 BIODIGESTOR MODELO CHINÊS	22
2.5 BIOGÁS.....	23
2.6 BIOFERTILIZANTE	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 ESCOLHA DAS TEMPERATURAS	29
3.2 ELABORAÇÃO DOS PROTÓTIPOS PARA ENSAIO	29
3.2.1 Protótipo de biodigestor natural.....	30
3.2.2 Elaboração da serpentina de aquecimento	31
3.2.3 Reservatório e aquecimento da água.....	32
3.2.4 Protótipo de biodigestor aquecido por meio da serpentina.....	33
3.3 PROPORÇÃO (DEJETOS SUÍNOS X ÁGUA)	34
3.4 MÉTODO UTILIZADO PARA COLETA DOS MATERIAIS	35
3.5 EQUIPAMENTOS E PROCESSOS UTILIZADOS PARA PESAGEM	35
3.6 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5 CONCLUSÃO	43
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS	48

Anexo 01 - Orçamento dos materiais utilizados.....48

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento da produção de suínos no Brasil, ainda que possibilitando ganhos com a produtividade, vem ocasionando um agravamento nos impactos ambientais. Esses impactos ocorrem quando não se realiza o devido destino dos dejetos gerados por esse setor, os quais podem trazer enormes prejuízos para o meio ambiente, contaminando a água, o solo e o ar.

Segundo Almeida (2008), a implantação de biodigestores é uma maneira muito efetiva de solucionar os problemas ambientais causados pela atividade suinícola, além de trazer a possibilidade de aproveitamento da biomassa gerada, transformando-a em energia renovável e sustentável.

Um dos fatores mais importantes que deve ser levado em conta, visando à produção de biogás, é a temperatura, pois essa interfere diretamente no crescimento microbiano. Existem duas fases de temperatura que oferecem condições propícias para a produção do biogás. A primeira, e a qual foi utilizada para a realização deste estudo, é a fase mesófila, que varia de 20 a 40°C, cuja temperatura mais indicada fica entre 30 e 40°C. A segunda é a fase termófila, que varia de 50 a 60°C.

Assim sendo, este estudo teve como proposta confeccionar quatro protótipos de biodigestores em menor escala, mantendo um deles ao ar livre para ser utilizado como parâmetro de base. Esse protótipo sofreu com as variações do clima durante todo o período do ensaio, e aqueceu os dejetos presentes no interior de outros três recipientes por meio de uma serpentina, por meio da qual circulava água aquecida com temperaturas 30°C, 35°C e 40°C na fase mesófila, funcionando 24 horas por dia durante 30 dias. O objetivo do estudo consistiu em analisar como foi o comportamento na produção de biogás em cada uma das temperaturas escolhidas, e utilizar o protótipo ensaiado ao ar livre para ter valores de referência, determinando qual seria a melhor temperatura para se trabalhar constantemente no interior do biodigestor e como funciona a produção de biogás de acordo com a variação de temperatura na fase mesófila.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar como se comporta a produção de biogás por meio da variação de temperaturas dentro da faixa mesófila, visando a observar em qual temperatura será obtido uma maior geração de biogás.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Fabricar quatro protótipos de biodigestores em menor escala;
- ✓ Ensaiar um dos protótipos ao ar livre, sofrendo variação de temperatura, e os outros três protótipos cada um com uma temperatura diferente, todas utilizando temperaturas presentes na fase mesófila;
- ✓ Coletar os dados e, por meio da comparação com o protótipo de referência, determinar o percentual de variação na produção de biogás em cada uma das temperaturas ensaiadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A destinação imprópria de dejetos animais nas propriedades rurais é um obstáculo encontrado pelos agricultores atualmente. Isso é um problema grave, pois, além de prejudicar a saúde dos moradores, traz muitos danos para o meio ambiente (LANGER; BARBOSA, 2011).

Visando a cooperar com a solução desse problema por meio da redução de emissão do gás metano para a atmosfera e aproveitar ao máximo a capacidade de produção de biogás dos dejetos para que seja possível obter uma maior geração de energia, logo, um maior lucro com geração de energia elétrica na propriedade, o estudo teve como foco principal analisar qual a temperatura mais adequada para se trabalhar constantemente no interior do biodigestor, tratando-se de temperatura na fase mesófila, de maneira que obtenha o seu maior rendimento de produção.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual a melhor temperatura para ser trabalhada constantemente no interior do biodigestor, tratando-se de temperaturas na fase mesófila, de maneira que ele possa atingir o seu máximo desempenho de geração de biogás?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa em questão foi realizada em uma propriedade rural, localizada em Realeza, no sudoeste do Paraná. Essa propriedade tem a suinocultura como um dos focos principais para geração de renda e conta com uma matriz para engorda de suínos, tendo uma capacidade de alojamento de aproximadamente 580 animais.

Para a realização dos ensaios, foram utilizados quatro protótipos de um biodigestor, utilizando-se como meio de alimentação de dejetos o modo descontínuo. Os protótipos de biodigestores foram produzidos em menor escala, com uma capacidade total de 240 litros.

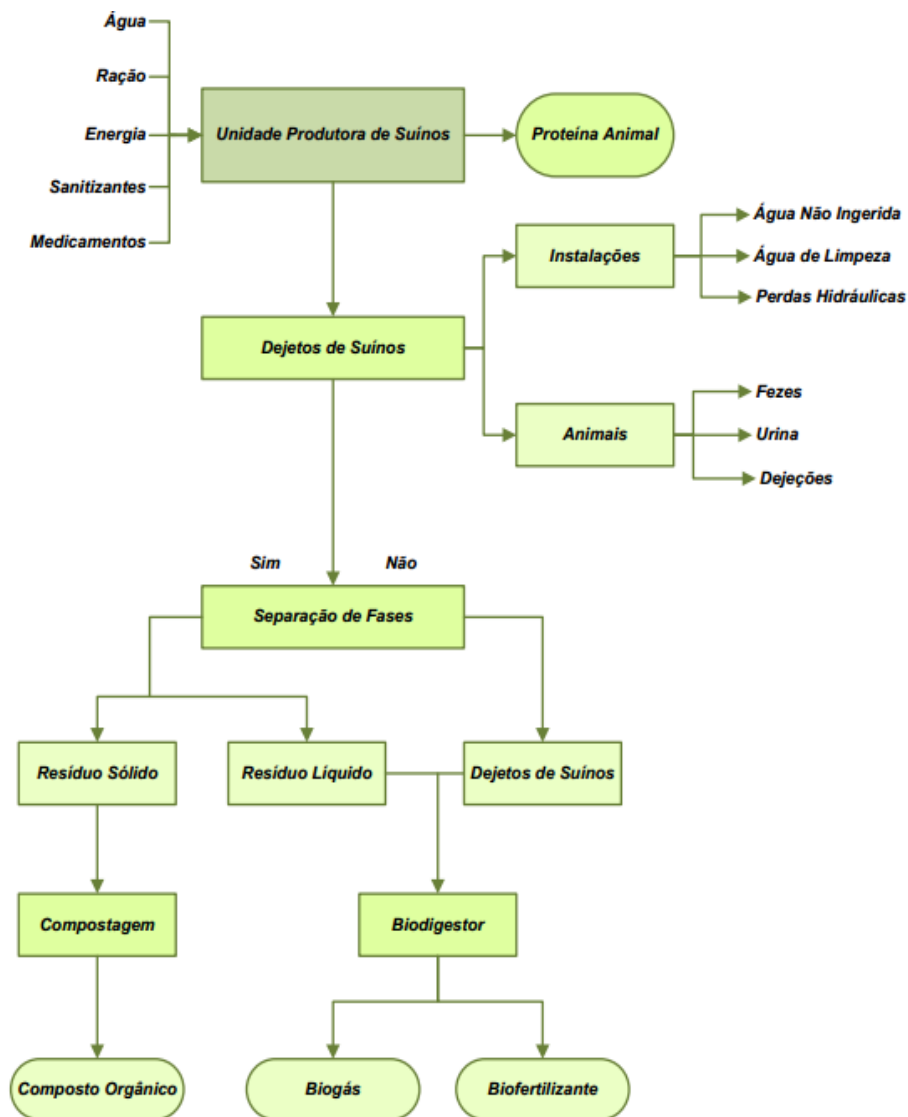
O método utilizado para analisar qual foi o percentual de geração de biogás se deu por meio da diferença entre o peso inicial do resíduo, adicionado em cada protótipo ao início da pesquisa, e o peso final do resíduo após passar 30 dias sofrendo o processo de biodigestão anaeróbica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUINOCULTURA NO BRASIL

Embora atualmente ainda existam alguns sistemas de manejo em que as fases de criação são realizadas ao ar livre, a grande maioria de criações de suínos já é realizada em sistemas confinados (TRICHES, 2003).

Figura 01 - Componentes do sistema de criação de suínos



Fonte: Fernandes (2012).

A suinocultura no Brasil vem se destacando cada vez mais ao longo dos anos no setor agropecuário brasileiro, tanto financeiramente, por meio dos grandes volumes gerados para a economia brasileira, quanto por seu grande potencial de geração de empregos. Hoje em dia, em nosso país, mais de 2,7 milhões de pessoas dependem da renda gerada por essa atividade suinícola, e dessas cerca de 730 mil pessoas dependem diretamente da suinocultura (ROPPE, 2002).

Para conseguir atingir o patamar em que se encontra no agronegócio, a suinocultura brasileira passou por várias transformações. Entre as transformações estão o aumento do índice de produtividade, o aperfeiçoamento na gestão, e a melhoria no planejamento produtivo por meio da implantação de novas tecnologias ligadas ao manejo e à genética dos suínos (FONSECA, 2009).

Segundo estudos realizados pela Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (2013), em 2011, o Brasil estava entre um dos maiores produtores de suínos no mundo, com um total de 3.227 mil toneladas (em equivalente – carcaça), ocupando a quarta colocação no ranking mundial. Com base nesse valor, é possível perceber o grande potencial de geração de efluentes que temos em nosso país, os quais podem ser utilizados para produção de energia com um custo muito inferior aos que são gastos na construção de hidroelétricas, por exemplo.

No decorrer dos últimos anos, a suinocultura em nosso país vem se estabelecendo cada vez mais forte no mercado externo, provando ter um grande potencial competitivo para com os outros mercados estrangeiros. Primeiramente, pelo fato dos custos serem bem inferiores devido aos avanços tecnológicos; além disso, o Brasil tem um grande potencial de produção de insumos para a geração de alimentos, como grãos de soja e de milho. Outra vantagem encontrada é a extensão territorial do país, o que permite aumentar ainda mais a produção de insumos, associada ao aumento da produção de suínos, como pontuam Talamini e Ferreira (2006):

(...) a produção de suínos no Brasil apresenta custos inferiores aos principais competidores mundiais (...) uma vantagem comparativa significativa para o Brasil na ampliação da sua participação no mercado internacional está na disponibilidade de terras agricultáveis a serem exploradas e na capacidade de produção de grãos que o país apresenta. Outra vantagem comparativa importante e favorável ao Brasil é a grande extensão geográfica do país. Isso possibilita ampliar o rebanho de suínos sem comprometer significativamente componentes ambientais, tais como contaminação de solos e lençóis freáticos por dejetos oriundos da produção (TALAMINI; FERREIRA, 2006, p. 4).

Segundo um estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE - (2006), no ano de 1970, o número de suínos no país era de 31.524 milhões; já em 2006 o número passou para 31.949 milhões de suínos, sendo esses subdivididos nestas regiões: Norte (1,6 milhões de animais), Nordeste (3,9 milhões de animais), Centro-Oeste (3,7 milhões de animais), Sudeste (5,2 milhões de animais) e Sul (16,8 milhões de animais). Como se vê nos números, esse é um ramo de suma importância para o Sul do país.

2.2 EFEITOS DA SUINOCULTURA NO MEIO AMBIENTE

A suinocultura é uma atividade altamente poluidora. Isso se dá porque os animais ficam confinados por muito tempo em um local fechado, produzindo uma enorme quantidade de dejetos; ademais, o manejo inadequado dos dejetos favorece a contaminação do solo, do ar, de rios e até mesmo dos lençóis freáticos.

Um dos principais fatores que transforma a atividade suinícola em um ramo que polui muito reside no fato de que muitos, com a intenção de reduzir o impacto dos dejetos, utilizam esterqueiras para transformar os dejetos em adubo orgânico. Todavia, muitas vezes, essas não passam apenas de buracos abertos no solo, cobertos por uma lona, e os resíduos ficam expostos em céu aberto, o que, além de expelir maus odores, gera a proliferação de moscas e ratos. Para além disso, os suinocultores, não raramente, deixam as esterqueiras extravasarem, causando a contaminação do lençol freático (GASPAR, 2003).

Para uma melhor percepção do perigo representado pelos dejetos suínos para o meio ambiente, é de grande importância examinar, minuciosamente, como é constituído tal material orgânico.

Dentre os componentes existentes nos dejetos suínos, alguns dos que mais podem agravar o risco de poluição são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e também alguns micros minerais, como o zinco (Zn) e o cobre (Cu). O nitrogênio passa a se tornar um fator de risco devido à sua transformação em nitrato (GASPAR, 2003).

O nitrato, além de conseguir se movimentar com facilidade pelo solo, apresenta também um enorme índice de dissolução na água. Por meio disso, o nitrogênio acaba poluindo também o meio ambiente na forma de amônia, por meio de um fenômeno muito conhecido como “chuva ácida” (OLIVEIRA, 1994).

Já o excesso de fósforo favorece o aumento desenfreado de algas, as quais, durante o seu processo de decomposição, consomem boa parte do oxigênio existente na água. Essa decomposição, por sua vez, afeta diretamente o crescimento das espécies aquáticas, principalmente peixes e crustáceos (GASPAR, 2003).

Segundo Konzen (1983), um suíno em sua fase adulta pode produzir em média cerca de 0,27m³ de dejetos líquidos em um mês; o problema consiste no fato de que o ambiente é incapaz de dissipar toda essa quantidade de resíduos restante da produção. Como destaca Grzybowski,

A poluição na suinocultura é avaliada através da Demanda Biológica de Oxigênio³ (DBO), ou seja, o quanto de oxigênio que o rio ou córrego deverá ter para que o dejetos não cause problemas ao meio ambiente. O dejetos bruto proveniente da suinocultura possui em torno de 15.000 mg/l de DBO, necessitando aproximadamente de 7.000 litros de águas de rio não poluída para descontaminar 1 litro de dejetos de suíno não tratado. (GRZYBOWSKI, p.1).

A maior parte dos dejetos líquidos que são produzidos varia conforme o desenvolvimento do animal, aproximadamente 4,9% a 8,5% do seu peso vivo/dia, no caso de animais que pesam de 15 a 100 kg. O componente que mais influência na produção de dejetos líquidos é a urina, a qual, por sua vez, necessita essencialmente do consumo de água. No geral, para cada 1 litro de água que é ingerido pelo animal, cerca de 0,6 litros se tornam no fim dejetos líquidos.

Tabela 01 - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + urina (kg/dia)	Dejetos Líquidos (litros/dia)	Produção Dejetos Líquidos (m ³ /animal/mês)
Suínos (25 – 100 kg)	2,30	4,90	7,00	0,25
Porca	3,60	11,00	16,00	0,48
Porca lactante	6,40	18,00	27,00	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,8	8,6	0,27

Fonte: Adaptado de Oliveira (1994).

2.3 UMA BREVE INTRODUÇÃO SOBRE BIODIGESTORES

Apesar de a primeira instalação designada à produção de gás combustível ter surgido apenas na segunda metade do século XIX, o biogás já era explorado há muito tempo, devido à produção de gás combustível por meio de resíduos orgânicos não ser um processo novo. Conforme explica Nogueira (1986),

Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. [...] Ao que parece, apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos. Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, e, 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado para iluminação pública. Uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que, por volta de 1920, desenvolveu um tanque biodigestor, o tanque Imhoff, bastante difundido na época (NOGUEIRA, 1986, p. 1-2).

Sganzerla (1983) também ressalta Bombaim como o “berço” do biodigestor:

Pela literatura existente, o primeiro biodigestor posto em funcionamento regular na Índia foi no início deste século em Bombaim. Em 1950, Patel instalou, ainda na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo. Na década de 60, Fry, um fazendeiro, desenvolveu pesquisas com biodigestores da África do Sul (SGANZERLA, 1983, p. 8).

Após a crise energética ocorrida no ano de 1973, a aplicação de biodigestores tornou-se uma opção adotada por muitos países, tanto os mais ricos quanto alguns países de Terceiro Mundo. Entretanto, os países que passaram a fazer mais uso dessa tecnologia foram a Índia e a China (GASPAR, 2003).

O principal interesse Chinês que fez com que levasse o país a se interessar pelo desenvolvimento e utilização de biodigestores foi por causa da Guerra Fria. Os chineses temiam que um ataque nuclear pudesse acabar com toda atividade econômica. Por isso, decidiram fazer uma descentralização energética, implantando biodigestores em vilas e vilarejos mais afastados dos grandes centros, com o intuito de que passassem despercebidos em caso de um ataque inimigo (BARRERA, 1993).

No caso da Índia, o que motivou esse país a buscar o desenvolvimento na tecnologia de biodigestores foram o alto índice de fome no país e a grande falta de

combustíveis fósseis, o que levou essa nação a buscar alguma solução para alimentar a população e suprir o seu enorme déficit de energia (BARRERA, 1993).

No Brasil, o Plano do Governo Federal, por meio de estudos realizados, estimou que, a partir do ano 2000 até o ano de 2030, haveria um aumento de 1,7% ao ano na demanda de energia no mundo, chegando a alcançar 15,3 bilhões de toneladas de petróleo ao ano. Sendo assim, considerando que não haja nenhuma mudança na matriz energética mundial até o ano de 2030, os combustíveis fósseis seriam responsáveis por cerca de 90% do aumento projetado (FONSECA, 2009).

No ano de 2001, o governo brasileiro noticiou que os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas do país estavam muito abaixo do esperado e que devido a isso não existiria energia suficiente para atender à toda demanda necessária, principalmente nas regiões Sudeste, Centro Oeste e Nordeste. A população se sensibilizou diante do iminente black-out exibido pela imprensa e pelas autoridades do setor, se prontificando então a reduzir o seu consumo de energia em cerca de 20% e arcando com um enorme aumento das tarifas. (SROUR, 2005)

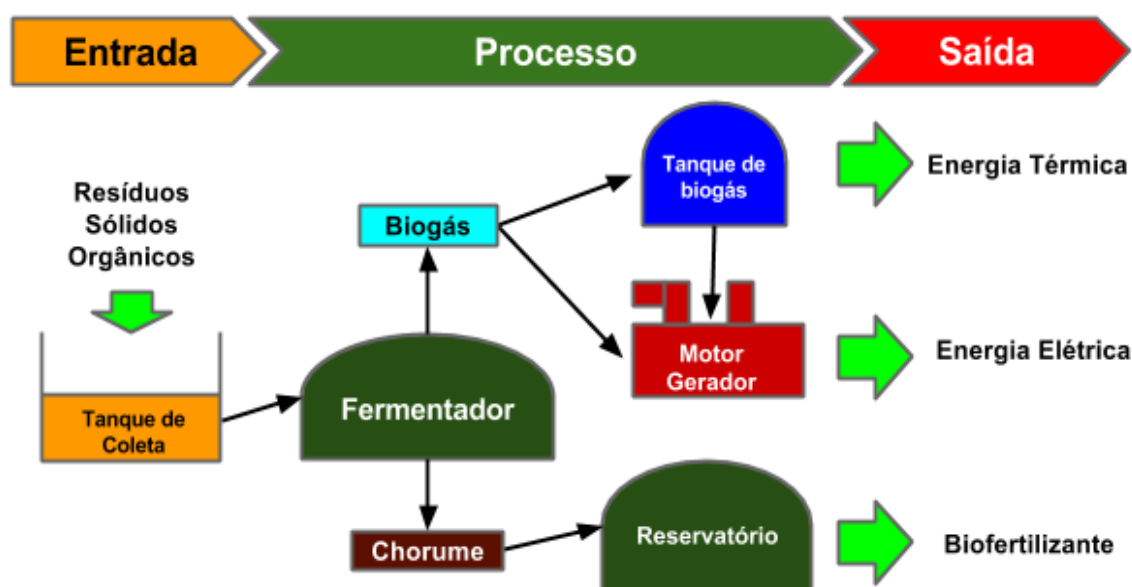
Nesse sentido, levando em conta o grande potencial energético dos dejetos e considerando o seu enorme volume de produção, a biomassa seria o meio mais utilizado para geração de energia, logo, ajudaria na diminuição da poluição, tudo isso por meio da tecnologia dos biodigestores, os quais produzem subprodutos um valor agregado muito considerável (FONSECA, 2009).

2.4 CARACTERIZAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS BIODIGESTORES

Um biodigestor consiste primeiramente de uma câmara fechada para onde todo material orgânico é direcionado. Na sequência, ocorre uma transformação anaeróbica dos compostos orgânicos em produtos mais homogêneos. Essa transformação é realizada em três diferentes fases: na primeira, ocorre a quebra das moléculas maiores; em seguida, as moléculas de proteína, de carboidrato e de gordura são transformadas em ácidos orgânicos; e a última fase resulta na produção de metano. Por meio desse processo são originados gases (biogás) e sólidos (biofertilizante), os quais podem ser aproveitados na propriedade. Além de todas essas contribuições, o tratamento de dejetos suínos ainda traz uma melhoria notável no bem-estar da propriedade, diminuindo o odor desagradável, além de colaborar com a preservação do meio ambiente (SOBER, 2009). De acordo com Gaspar (2003),

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo - abastecimento diário de biomassa – com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais (GASPAR, 2003, p.16).

Figura 02 - Princípio de funcionamento de um biodigestor



Fonte: Portal dos Resíduos Sólidos (2013).

2.4.1 BIODIGESTOR MODELO INDIANO

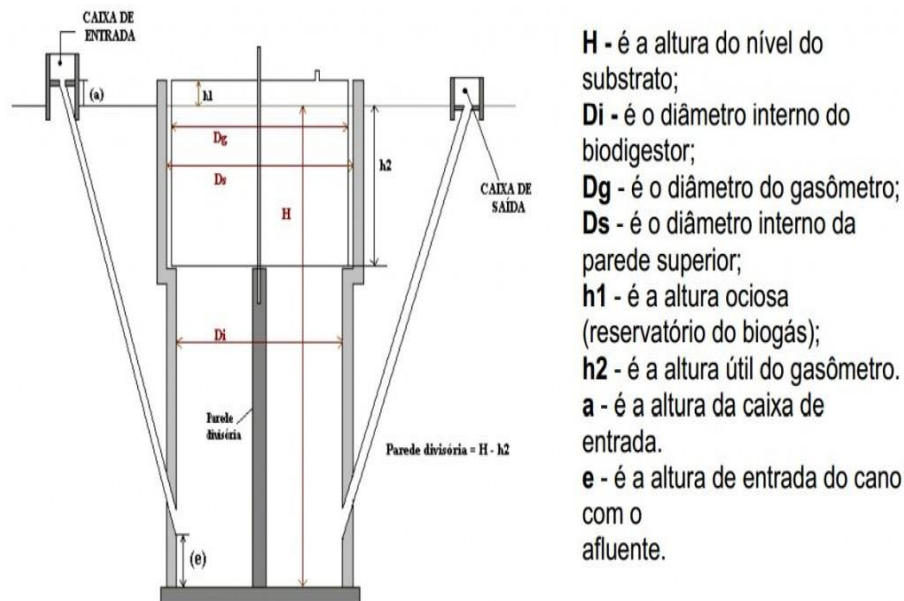
O biodigestor indiano é conhecido por ter uma campânula flutuante, também conhecida como gasômetro, a qual tem a possibilidade de ser introduzida sobre a biomassa em fermentação ou pode estar em um selo d'água superficial. Sua estrutura é formada por uma parede que tem o intuito de dividir o tanque de fermentação em duas partes, para que seja possível o material circular interiormente na câmara de fermentação (TARRENTO, 2006).

Esse modelo contém uma pressão de operação constante, ou seja, conforme o volume de gás gerado não for consumido imediatamente, o gasômetro tende a dirigir-se verticalmente, expandindo o seu volume, conservando, desse modo, a pressão no interior da câmara constante (DEGANUTTI, 2002).

Uma das vantagens do modelo indiano é a sua campânula flutuante, que mantém a pressão de escape do biogás constante, não havendo necessidade de regular frequentemente os equipamentos que utilizam o metano (SGANZERLA, 1983; GASPAR, 2003).

Apesar das vantagens, alguns fatores podem encarecer o custo final, como o fato de o gasômetro ser moldado em ferro e a distância da propriedade, o que pode dificultar o seu transporte e a sua implantação (JORGE; OMENA, 2012).

Figura 03 - Biodigestor modelo indiano



Fonte: Deganutti (2002).

2.4.2 BIODIGESTOR MODELO CHINÊS

O biodigestor modelo Chinês é feito inteiramente em alvenaria, o que isenta a utilização de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos com o equipamento (DEGANUTTI, 2002).

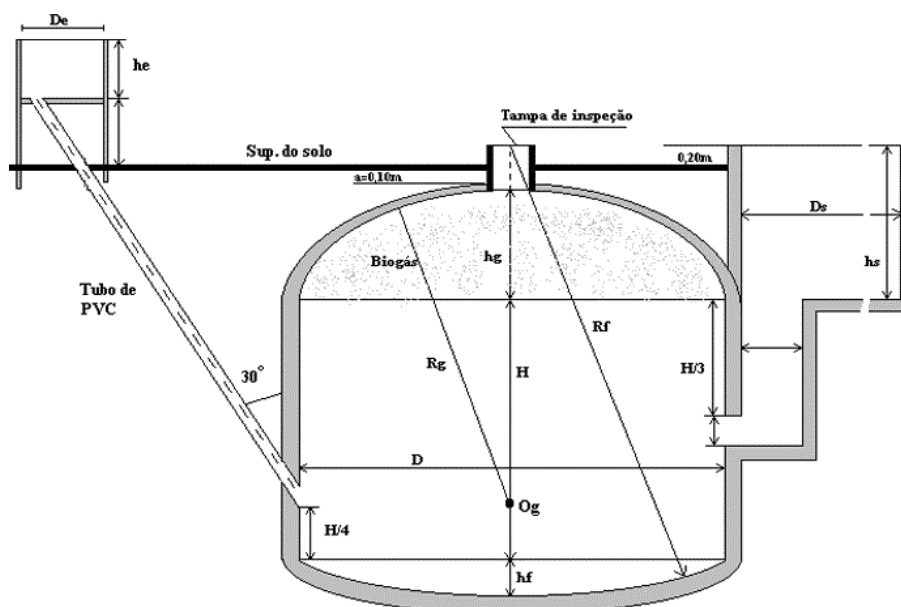
Uma característica em comum entre o modelo chinês e o indiano é que o substrato deve conter um acúmulo de sólidos totais em torno de 8%, desde que haja um fornecimento constante, para que seja possível evitar casos de entupimentos na entrada do sistema, e de modo a facilitar o fluxo do material (DEGANUTTI, 2002).

Esse modelo de biodigestor não é recomendado para instalações de grande porte, pelo fato de que uma parte do gás formado em seu interior é liberada para a

atmosfera, para que seja possível reduzir parcialmente a pressão (DEGANUTTI, 2002).

Uma dificuldade geralmente encontrada para a construção desse modelo é a mão de obra, pois, por ser construído todo em alvenaria, necessita do trabalho de um pedreiro qualificado, já que se emprega um método que utiliza o próprio peso do tijolo para sustentá-lo na posição necessária até que a argamassa seque. Nas paredes internas e externas, é essencial que recebam sempre uma boa camada de impermeabilizante, para que possa impossibilitar futuras infiltrações devido à absorção de água pelo solo durante chuvas ou de algum lençol freático existente nas proximidades.

Figura 04 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: Deganutti (2002).

2.5 BIOGÁS

Conforme apontam os estudos da Companhia de Abastecimento do Estado de São Paulo (2009), a geração de biogás por meio da decomposição de materiais orgânicos é muito antiga; em 1667, Thomas Shirley foi o pioneiro do biogás; porém, isso foi apresentado à sociedade apenas anos depois por Ulysse Gayson, aluno de Louis Pasteur, o qual obteve uma fermentação anaeróbica utilizando uma mistura de

estrume e água, a 35°C, e por meio disso conseguiu obter 100 litros de gás por m³ da matéria.

Sem muito conhecimento, o biogás até pouco tempo era considerado apenas um resíduo que era obtido mediante decomposições anaeróbicas de estações de tratamento, efluentes domésticos e lixos urbanos. No entanto, com o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos e principalmente pelo crescimento desenfreado dos preços dos combustíveis usuais, passou a se tornar fonte de estudo por ser economicamente atrativo (VILLELA, 2005).

Tabela 02 - Condições necessárias para produção de biogás

Condições	Características
Impermeabilidade do ar	O biodigestor deve ser bem vedado, pois a decomposição da matéria orgânica em presença de oxigênio produz apenas dióxido de carbono.
Temperatura	As bactérias são sensíveis à temperatura, a faixa ideal para produção de biogás é entre 35 e 45 °C.
Alcalinidade e pH	A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução, proveniente do CO ₂ , produzido durante a digestão anaeróbia, é importante pois à medida que se produzem ácidos no meio, o carbonato reage com estes, o que permite um controle de acidez do meio, as bactérias sobrevivem numa faixa de PH entre 6,5 e 8,0.
Teor de água	O teor de água dentro do biodigestor deve variar entre 60 % a 90 % do peso do conteúdo total.
Nutrientes	Os principais nutrientes das bactérias são o carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 a 30:1.
Tempo de detenção	O tempo necessário para que a matéria orgânica produza biogás, dentro do biodigestor (entre 10 a 30 dias).

Fonte: Stachissini (2014).

O biogás é um combustível que se assemelha muito ao gás natural, tendo um alto nível de poder calorífico; pode chegar de 5.000 a 7.000 Kcal/m³. A formação do biogás é composta basicamente de metano (55-65%) e dióxido de carbono (33-38%). Por isso, é capaz de ser utilizado assim como qualquer outro gás combustível, seja para geração de energia elétrica, mecânica ou até mesmo para energia térmica, proporcionando uma redução nítida nos custos da produção (FONSECA, 2009).

Tendo em vista o alto poder calorífico do biogás, é de grande importância realizar um comparativo com outras fontes energéticas que são muito utilizadas e podem ser encontradas com facilidade na natureza, conforme podemos observar na tabela abaixo (STACISSINI, 2014).

Tabela 03 - Comparação entre biogás e outros combustíveis

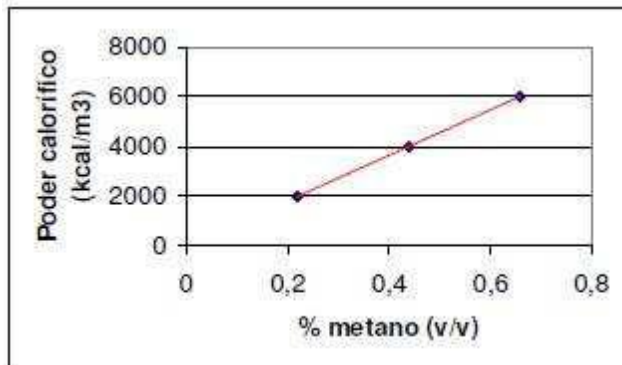
Combustíveis	Equivalência ao Biogás (1 m ³)
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 kg
Álcool desidratado	0,790 litros
Elettricidade	1,428 Kw

Fonte: Barrera(1993).

Para que o biogás tenha seu poder calorífico acentuado, para que tenha rendimento térmico e para que se acabe com a corrosividade ocasionada pelo gás sulfúrico e pela água, é necessário realizar um tratamento e uma purificação do biogás (OLIVEIRA, 2005).

Realizar esse tratamento é fundamental, haja vista que um fator que prejudica muito o processo de queima e pode reduzir a eficiência é a existência de substâncias não combustíveis no biogás. Essas substâncias absorvem grande parte da energia gerada; desse modo, quanto mais impurezas, menor será o poder calorífico gerado pelo biogás, como podemos visualizar na imagem a seguir (ALVES, 2000).

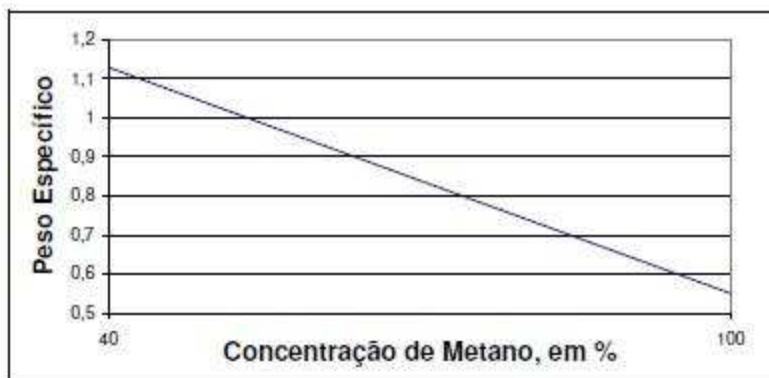
Figura 05 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano



Fonte: Alves (2000).

Outro fator que precisa ser levado em conta quando se trata de produção de biogás é o volume, o qual é representado pelo peso específico; a sua formação se dá por meio da relação entre a sua densidade e a densidade do ar. A imagem a seguir considera o peso específico do biogás estando em uma faixa entre 40 e 100% de metano (ROSS, 1996).

Figura 06 - Peso específico do biogás em relação à concentração de metano



Fonte: Ross (1996).

Conforme explica Lindemeyer (2008), a produção de 1 m³ de biogás pode gerar o equivalente a 6,5 kwh. Sendo assim, pode-se concluir que transformação do biogás em energia elétrica se dá entre a energia gerada em kwh pela proporção de 1m³ de biogás; logo, 1 m³ de biogás gera em torno de 2 kwh de energia elétrica.

2.6 BIOFERTILIZANTE

A produção de biofertilizante ocorre após a geração do biogás, o qual gera no interior do equipamento um material orgânico (húmus), na forma líquida, com um potencial de fertilização enorme. Esse material tem o potencial de enriquecer ainda mais as características físicas, químicas e biológicas do solo, substituindo facilmente a adubação química que ainda é muito realizada nos dias atuais. Conforme defende Sganzerla (1983), o excesso de adubo químico no solo pode causar efeitos negativos, como a mineralização, que resseca e dificulta a entrada de água no solo, provocando erosões. Outro fator negativo é que, devido aos sais serem muito solúveis, acabam destruindo as bactérias que protegem o solo, tornando o solo mais vulnerável e propenso ao ataque de insetos e fungos que podem causar sérios danos às plantas futuramente.

O biofertilizante, por sua vez, ao contrário dos adubos químicos, tem o poder de melhorar tanto a textura quanto a estrutura do solo, o que proporciona uma melhoria significativa na absorção da umidade pelo solo e, conseqüentemente, contribui para essa se mantenha em longos períodos de estiagem. Ademais, o biofertilizante aumenta ainda mais o poder de fixação dos sais no solo, potencializando a produtividade (GASPAR, 2003).

A utilização de biofertilizantes traz outras vantagens, pois, além de contribuir para a multiplicação de bactérias, dando mais vida e melhorando a saúde do solo, a aplicação passa a deixar a terra mais macia, ou seja, facilita a respiração das plantas por meio da maior entrada de ar nas áreas exploradas pelas raízes, melhorando, assim, as condições para o desenvolvimento da mesma (GASPAR, 2003).

O principal motivo para a alta qualidade do biofertilizante na agricultura como forma de fertilizante se dá pelo fato de que a digestão da biomassa reduz extremamente o teor de carbono presente no material, isso porque a matéria orgânica perde carbono na forma de CH_4 e CO_2 e aumenta o teor de nitrogênio e outros nutrientes (SGANZERLA, 1983).

Devido ao nível de pH médio ficar em torno de 7,5, ou seja, levemente alcalino, o biofertilizante pode atuar também como um corretor da acidez existente no solo. Com isso, é possível inibir a propagação de fungos patogênicos por meio da elevação do nível do pH (BARRERA, 2003).

A composição dos biofertilizantes varia conforme a biomassa utilizada, porém, algumas análises realizadas têm apontado em média para os seguintes resultados:

Tabela 04 - Componentes do biofertilizante

Composição	Quantidade
pH	7,5 %
Matéria Orgânica	85 %
Nitrogênio	1,8 %
Fósforo	1,6 %
Potássio	1,0 %

Fonte: Sganzerla (1983).

3 METODOLOGIA

Nas seções a seguir, detalhamos as ferramentas e procedimentos que foram utilizados a fim de atingir aos objetivos propostos na realização desta pesquisa. No anexo 01, está disponibilizada a relação dos materiais que foram utilizados para a elaboração dos protótipos, da serpentina e também dos materiais utilizados para o aquecimento da água nas temperaturas estabelecidas.

3.1 ESCOLHA DAS TEMPERATURAS

As temperaturas utilizadas para este projeto foram de 30°C, 35°C e 40°C; foram utilizados três reservatórios para aquecer a água em cada uma das temperaturas indicadas; a água passava por uma serpentina no interior dos protótipos, mantendo a temperatura em seu interior constante por todo o período de ensaio.

Ambas as temperaturas escolhidas se encontram dentro da fase mesófila, a qual é uma das mais indicadas quando se trata de produção de biogás, pois é nessa etapa que ocorre a multiplicação dos microorganismos que trabalham no processo anaeróbico, o qual ocorre em um índice mais elevado, aumentando a produção de biogás. Essa multiplicação microbiana é reduzida em temperaturas muito baixas, aumentando de maneira exponencial conforme o aumento da temperatura, alcançando seu ponto ideal nas temperaturas próximas à fase mesófila; porém, após essa fase ficam muito suscetíveis à variação de temperatura, podendo reduzir rapidamente a sua multiplicação com a elevação de poucos graus.

3.2 ELABORAÇÃO DOS PROTÓTIPOS PARA ENSAIO

Considerado algo fundamental para a realização dos testes e coleta dos dados a respeito deste trabalho, primeiramente foi necessário elaborar quatro protótipos de biodigestores, ambos contendo o sistema de alimentação descontínuo. Um deles considerado é como protótipo de biodigestor natural, e os outros três continham um sistema para aquecimento do dejetos. Ambos os biodigestores foram fabricados tendo como capacidade máxima em seu interior um volume de 240 litros.

3.2.1 Protótipo de biodigestor natural

Para a elaboração do protótipo de biodigestor natural foi utilizada uma bombona plástica com capacidade de 240 litros e com tampa rosqueável.

Como o protótipo estava devidamente vedado, não havendo locais para o escape do biogás gerado durante o processo de biodigestão anaeróbica, foi necessária a implantação de uma mangueira na tampa da bombona para que o biogás produzido tivesse um local de escape; o biogás, após passar pela mangueira, foi descartado pelo borbulhador.

Esse protótipo foi instalado em um local aberto para que ficasse exposto as variações de temperatura durante o dia e à noite, bem como durante dias de chuva. Essa escolha objetivou servir como comparativo em relação aos demais protótipos, os quais permaneceram todo o tempo de ensaio passando pelo processo anaeróbico em seu interior com as temperaturas que lhe foram estabelecidas, sem sofrer variações.

Figura 07 - Protótipo de biodigestor natural



Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

3.2.2 Elaboração da serpentina de aquecimento

Com a intenção de proporcionar o aquecimento de maneira uniforme no interior dos protótipos, foi necessário desenvolver três serpentinas de aquecimento, as quais foram confeccionadas utilizando uma mangueira de pvc flexível, com medidas de $\frac{1}{2}$ " x 2 mm de espessura e aproximadamente 12 metros de comprimento em cada um dos protótipos.

Essas serpentinas foram implantadas dentro dos protótipos, possibilitando que a água que era aquecida no reservatório entrasse pela parte superior por desnível,

circulasse por todo o interior, mantendo o dejetos devidamente aquecido com a temperatura que lhe foi estabelecida, e saísse na parte inferior, onde então era enviada novamente para o reservatório por meio de uma eletrobomba, implantada na saída da serpentina, na parte inferior externa da bombona.

Figura 08 - Elaboração e implantação da serpentina de aquecimento



Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

3.2.3 Reservatório e aquecimento da água

A fim de possibilitar o armazenamento da água antes de circular no interior da serpentina, e também para que houvesse um local para a água retornar após realizar

todo o ciclo no interior do biodigestor, utilizaram-se como reservatório três embalagens plásticas com capacidade para 20 litros.

Com relação ao aquecimento da água, foram utilizados para este estudo três termostatos com aquecedor, os quais permitem ajustar a temperatura para cada reservatório de acordo com o que foi estipulado, com regulagens de temperatura de podem variar de 20 a 40 graus. O funcionamento desse termostato é bastante simples, basta regular na temperatura em que deseja manter e, em seguida, colocá-lo no recipiente; ele aquecerá a água até a temperatura estipulada e se desligará; quando a temperatura no interior do recipiente variar, o termostato se liga novamente, mantendo sempre o reservatório na temperatura desejada.

3.2.4 Protótipo de biodigestor aquecido por meio da serpentina

A elaboração dos protótipos foi realizada utilizando também três bombonas plásticas com capacidade de 240 litros e com tampa rosqueável, contendo uma mangueira em sua tampa superior para possibilitar o escape do biogás gerado durante o processo. Não obstante, como esses necessitaram ser aquecidos para manter a temperatura interna, foram utilizadas, então, em seu interior, as serpentinas para circulação da água e o reservatório para possibilitar armazenar e aquecer a água antes de circular por meio da serpentina e também para que, após passar por todo o interior do protótipo, a água pudesse retornar, mantendo um ciclo contínuo.

Outro detalhe foi o local de armazenamento dos protótipos. Diferentemente do primeiro, que ficou em um local aberto sofrendo variações do tempo, estes três ficaram armazenados no interior de um galpão, não sofrendo incidência de radiação solar direta, nem qualquer outro efeito climático que pudesse interferir na temperatura do interior do biodigestor ou do reservatório.

Figura 09 - Protótipo de biodigestor aquecido pela serpentina



Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

3.3 PROPORÇÃO (DEJETOS SUÍNOS X ÁGUA)

No processo de biodigestão anaeróbica no interior dos biodigestores, quando se trata de dejetos suínos, a proporção indicada é de 1:2, sendo assim, para cada litro de dejetos são necessários dois litros de água.

Como cada um dos protótipos elaborados para o estudo tinha a capacidade máxima de 240 litros, foi necessário o inserir aproximadamente 80 litros de dejetos suínos e completar com 160 litros de água, para que pudesse passar pelo processo anaeróbico de maneira adequada.

3.4 MÉTODO UTILIZADO PARA COLETA DOS MATERIAIS

Para garantir que a coleta dos dejetos fosse realizada de maneira adequada e que contivesse somente a presença de resíduos de origem animal, sem a presença de água, foram separadas algumas baias no interior do local de confinamento dos suínos, as quais não passaram pelo processo de limpeza por durante um dia inteiro, acumulando apenas os dejetos. Isso permitiu que, ao início do segundo dia, fosse realizada a coleta apenas das fezes e da urina dos suínos. A coleta dos excrementos para a utilização no projeto em questão foi feita por meio da raspagem do piso; em seguida, despejados dejetos foram despejados no interior do protótipo. Esse processo foi realizado para os quatro protótipos e, concluída a etapa, os protótipos foram levados para o local de armazenamento onde foram completados com água, pesados e feito o registro dos valores iniciais.

3.5 EQUIPAMENTOS E PROCESSOS UTILIZADOS PARA PESAGEM

A pesagem dos protótipos para a obtenção de dados foi feita com a ajuda de uma balança industrial presente na propriedade, a com capacidade de 500 kg; essa balança é utilizada diariamente para a pesagem de ração.

O método usado para a coleta dos dados foi individual, sendo realizado primeiramente a pesagem de cada um dos quatro protótipos vazios; em seguida, após serem todos preenchidos com os dejetos, foi realizado novamente a pesagem, descontando-se o valor obtido inicialmente dos equipamentos vazios, visando a obter somente o peso dos resíduos. Ao fim do processo, foi realizada novamente a pesagem de todos os equipamentos de maneira individual, comparando-se os valores obtidos inicialmente aos valores obtidos ao fim dos 30 dias de ensaio.

Figura 010 - Método utilizado para pesagem dos protótipos



Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

Para um melhor entendimento dos valores obtidos, elaboramos uma tabela a fim de destacar o processo realizado em cada uma das etapas, descrevendo o peso inicial dos dejetos, o peso após o processo, as datas; os dados da tabela permitem termos parâmetros para analisar uma estimativa da geração de biogás em cada um dos protótipos.

Tabela 05 - Demonstração dos valores obtidos na coleta dos dados

TEMPERATURA	PESO DO PROTÓTIPO	DATA INICIAL	PESO INICIAL DO SUBSTRATO	DATA FINAL	PESO FINAL DO SUBSTRATO	PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS
Variável	6,5 Kg					
30°C	11 Kg					
35°C	11 Kg					
40°C	11 Kg					

Fonte: Elaborada pelo pesquisador (2019).

3.6 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Após coletar todos os dados necessários para o preenchimento da tabela 05, foi possível obter o percentual de geração de biogás em cada um dos protótipos utilizando um simples cálculo, no qual foi subtraído o peso inicial do substrato pelo peso final do substrato. O valor obtido foi dividido novamente pelo peso inicial do substrato, obtendo, assim, a porcentagem de biogás gerada em cada um dos protótipos. Para possibilitar um melhor entendimento desses dados elaboramos um gráfico (apresentado mais adiante) que demonstra a diferença de produção de biogás para cada uma das temperaturas ensaiadas.

Outro fator analisado nos resultados obtidos foi a diferença entre o protótipo que passou os 30 dias de confinamento a céu aberto, sofrendo variações de temperatura, o qual foi considerado como sendo a capacidade de produção normal de um biodigestor, e os protótipos que ficaram armazenados em um galpão com a temperaturas constantes. Essa comparação permitiu-nos avaliar se houve e como foi a variação na produção de biogás em cada um deles. Para tornar isso visível, foi elaborada a tabela 06.

Tabela 06 - Diferença na geração de biogás entre as temperaturas

TEMPERATURA	PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS	PERCENTUAL DE VARIAÇÃO NA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM RELAÇÃO AO PROTÓTIPO DE REFERÊNCIA
Variável		Modelo de referência
30°C		
35°C		
40°C		

Fonte: Elaborada pelo pesquisador (2019).

Para a obtenção do percentual de variação na geração de biogás em cada uma das temperaturas em relação ao protótipo de referência, foi utilizado um cálculo de regra de três, o qual leva em consideração os valores obtidos na tabela 05.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todo o período de pesquisas e os 30 dias de ensaios, foram então obtidos os resultados em cada um dos protótipos. Esses dados foram discriminados utilizando-se como modelo a tabela 05, com o intuito de facilitar o entendimento e leitura dos valores alcançados. A partir disso, elaboramos a tabela 07, organizando os resultados da coleta dos dados.

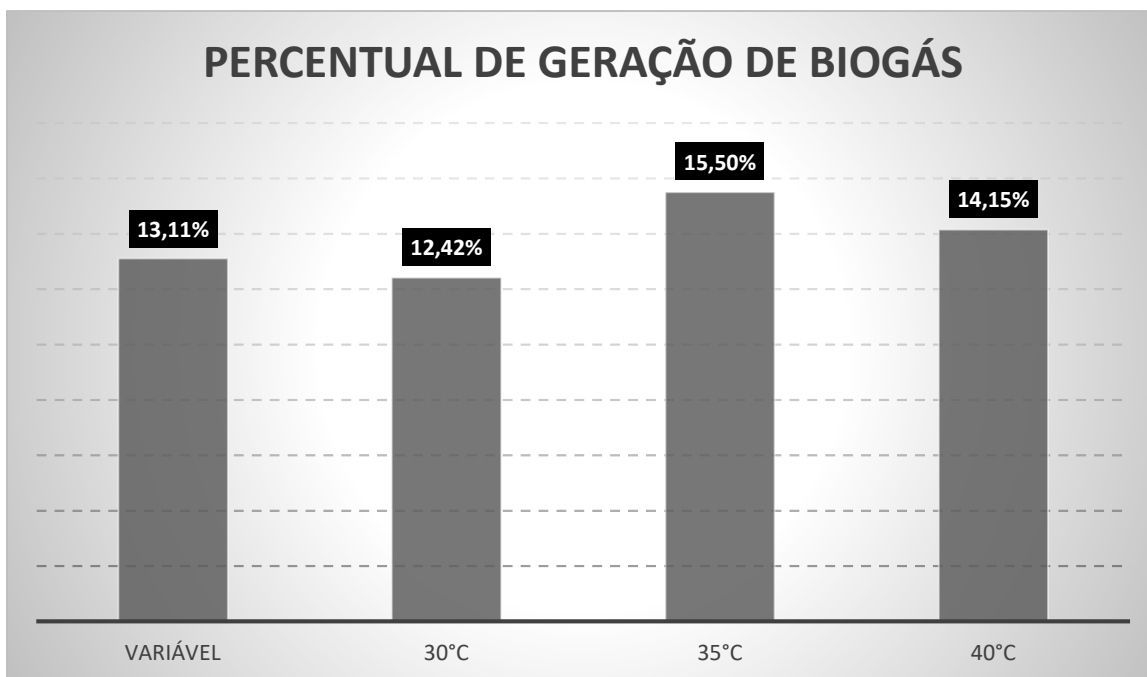
Tabela 07 - Resultados obtidos na coleta dos dados

TEMPERATURA	PESO DO PROTÓTIPO	DATA INICIAL	PESO INICIAL DO SUBSTRATO	DATA FINAL	PESO FINAL DO SUBSTRATO	PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS
Variável	6,5 Kg	05/04/19	238,7 Kg	05/05/19	207,4 Kg	13,11%
30°C	11 Kg	05/04/19	235,1 Kg	05/05/19	205,9 Kg	12,42%
35°C	11 Kg	05/04/19	230,9 Kg	05/05/19	195,1 Kg	15,50%
40°C	11 Kg	05/04/19	237,3 Kg	05/05/19	203,7 Kg	14,15%

Fonte: Elaborada pelo pesquisador(2019).

Na tabela 07, é possível verificar todos os pontos levados em consideração para a realização deste estudo, sendo a coluna de maior importância a que diz respeito ao percentual de geração de biogás. Nessa, verificamos os resultados obtidos em cada uma das temperaturas. Para facilitar a visualização dos resultados, elaboramos também um gráfico com o percentual de produção do biogás para cada um dos ensaios realizados.

Gráfico 01 – Percentual de geração de biogás



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019).

Por meio desse gráfico é possível analisar como foi a variação na produção de biogás em cada um dos protótipos ensaiados ao fim de todo o período de confinamento, podendo assim determinar se houve ou não diferença na geração de biogás, e quanto foi essa diferença para cada temperatura ensaiada. Vale lembrar que, para encontrar o percentual de geração de biogás, foi considerada a diferença entre peso inicial do protótipo e o peso ao fim dos 30 dias de ensaio.

A porcentagem de biogás obtida, indica o quanto de biogás é possível extrair de cada um dos protótipos após passar por todo o processo de biodigestão anaeróbica durante o período de 30 dias, levando em consideração que as variáveis que poderiam influenciar na produção de biogás como, teor de água, pH, impermeabilidade do ar, foram as mesmas para ambos os protótipos, sofrendo somente a variação de temperatura.

O protótipo que ficou ao ar livre sofrendo variações climáticas durante todo o processo de ensaio foi considerado como referência, sendo ele comparado à capacidade normal de produção de biogás de um biodigestor. Ou seja, após os 30 dias, obteve-se uma geração de 13,11% de biogás.

Ainda observando o Gráfico 01, é possível verificar que houve uma variação na geração de biogás em cada um dos protótipos, sendo obtido um melhor resultado no protótipo em que foi ensaiado com uma temperatura constante de 35°C. Além

disso, notamos também que na temperatura constante de 30°C houve uma redução quando comparada ao protótipo de referência. No protótipo ensaiado, a temperatura de 40°C houve uma maior geração de biogás, se comparado ao protótipo de referência; porém, foi possível visualizar uma queda na produção quando comparado ao que estava em uma temperatura de 35°C.

Com o objetivo de determinar qual foi o percentual de produção de biogás dos três exemplares aquecidos na temperatura constante, em comparação ao protótipo de referência, elaboramos a tabela 08:

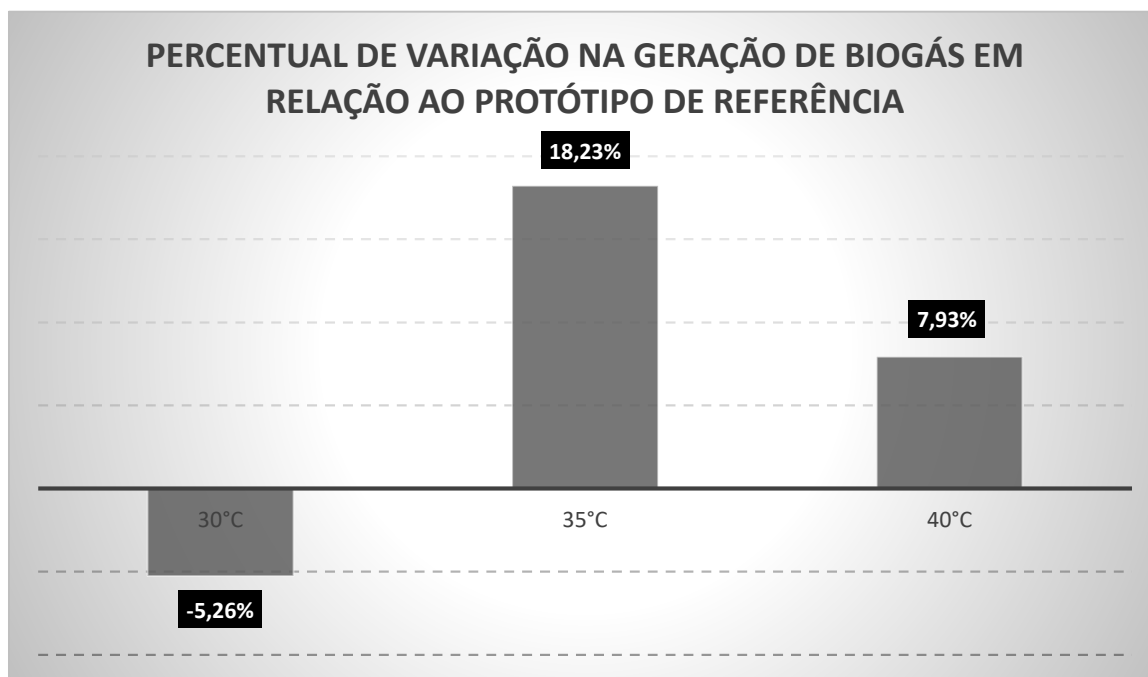
Tabela 08 - Percentual de variação na geração de biogás

TEMPERATURA	PERCENTUAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS	PERCENTUAL DE VARIAÇÃO NA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM RELAÇÃO AO PROTÓTIPO DE REFERÊNCIA
Variável	13,11%	Referência
30°C	12,42%	- 5,26%
35°C	15,50%	18,23%
40°C	14,15%	7,93%

Fonte: Elaborada pelo pesquisador (2019).

Após obter qual foi a produção de biogás nos protótipos aquecidos a 30°C, a 35°C e a 40°C, em relação ao parâmetro de referência, criamos o Gráfico 02 com o intuito de facilitar a visualização dos valores obtidos.

Gráfico 02 – Percentual de variação na geração de biogás



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019).

Observando o Gráfico 02, é possível perceber que, no protótipo ensaiado a 30°C, houve uma redução de -5,26% na capacidade de produção, se comparado à capacidade normal de produção do biodigestor. Assim, não se indica a utilização dessa temperatura constante no interior do biodigestor, visando a buscar um aumento na geração de biogás.

O protótipo ensaiado na temperatura constante de 35°C foi o que atingiu os melhores resultados nesta pesquisa, obtendo um aumento de 18,23% na geração de biogás. Em seguida, também com um valor positivo, sobretudo quando comparado ao protótipo de referência, o modelo que se manteve a uma temperatura de 40°C obteve um aumento de 7,93%.

Dessa maneira, constatou-se neste estudo que, ao trabalhar na fase de temperatura mesófila para a geração de biogás, a temperatura ideal mais indicada é a de 35°C. Não se recomenda, portanto, trabalhar a uma temperatura constante de 30°C, pois isso acarretará em uma diminuição na produção.

5 CONCLUSÃO

A elaboração deste trabalho proporcionou a verificação do comportamento na produção de biogás, quando trabalhado em diferentes temperaturas da fase mesófila no interior de um biodigestor alimentado com dejetos suínos durante o processo de biodigestão anaeróbica. O objetivo do estudo foi encontrar qual a temperatura mais indicada para se trabalhar, buscando um melhor aproveitamento, logo, gerando mais biogás com a mesma quantidade de dejetos, somente alterando a temperatura de trabalho no interior do biodigestor. Para possibilitar este estudo, primeiramente, recorreremos à literatura especializada, a fim de obter embasamento teórico e metodológico para o estudo, buscando obter o máximo de dados possíveis para uma melhor execução.

Para a realização deste trabalho, primeiramente foi necessário coletar e analisar todas as referências para elaborar a fundamentação teórica e a metodologia; em seguida, comprar os materiais necessários para fabricar os protótipos e colocá-los em funcionamento; por último, foi necessário realizar a coleta dos dados e analisar os resultados obtidos.

Já que se escolheu analisar e verificar os resultados por meio do método comparativo, foi necessário montar um protótipo e mantê-lo ao ar livre, sofrendo as variações climáticas durante todo o período de ensaio para poder usá-lo como parâmetro base, ou seja, os resultados obtidos naquele protótipo seriam equivalentes à capacidade de produção de biogás de um biodigestor normal. Dessa maneira, durante os testes, admitiu-se esse como sendo o protótipo de temperatura variável, obtendo após os 30 dias de ensaio um percentual de 13,11% de geração de biogás.

Após definido o parâmetro de base, analisamos os resultados obtidos nas temperaturas de 30°C, 35°C e 40°C, buscando verificar se houve alguma variação na geração de biogás, e se essa variação seria positiva ou negativa.

No protótipo ensaiado em uma temperatura constante de 30°C durante os 30 dias, foi obtido um percentual total de 12,42%, ou seja, uma taxa de produção de biogás negativa de -5,26% quando comparada ao parâmetro base.

No protótipo que foi ensaiado a uma temperatura constante de 35°C, os resultados colhidos ao final dos 30 dias de ensaio indicaram uma capacidade de

produção de 15,50% de biogás, sendo 18,23% a mais que a produção total do protótipo utilizado como parâmetro.

Já no protótipo ensaiado a temperatura constante de 40°C, ao fim de todo o período de confinamento, indicou um percentual de geração de biogás de 14,15%, representando um aumento de 7,93% na capacidade de produção de biogás.

A partir desses dados, foi possível verificar que não é viável manter um biodigestor trabalhando a uma temperatura constante de 30°C visando à produção de biogás, pois a produção será reduzida quando comparada à capacidade de produção de um biodigestor normal, o qual sofre variações de temperaturas durante, todo o dia.

Por outro lado os protótipos que foram ensaiados nas temperaturas constantes de 35°C e 40°C durante todo o período de confinamento obtiveram resultados positivos e bem significativos, mostrando-se uma maneira interessante de aumentar a capacidade de produção de biogás na propriedade. No modelo ensaiado na temperatura de 40°C, foi possível notar uma redução na produção de biogás, quando comparado ao que estava a 35°C; segundo a literatura, isso se dá, pois os micro-organismos presentes na fase mesófila, que são responsáveis por este processo de biodigestão, são sensíveis a altas temperaturas, podendo reduzir sua população com o aumento de alguns poucos graus, logo, reduzindo a produção de biogás.

Com isso, a temperatura mais indicada para se trabalhar no interior de um biodigestor dentro da fase mesófila de temperatura é a de 35°C, visando a um aumento na capacidade de produção de biogás em biodigestores que passam pelo processo anaeróbico e os quais são alimentados com dejetos suínos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir, são apresentadas algumas sugestões para realização de trabalhos futuros:

- Refazer o estudo em questão, repetindo mais vezes os mesmos testes a fim obter um número de amostras para que seja possível analisar a autenticidade dos resultados encontrados;
- Realização dos mesmos procedimentos propostos neste projeto, alterando as temperaturas para faixa de temperaturas da fase termófila (50°C a 60°C);
- Analisar a viabilidade da implantação de um sistema para manter a temperatura constante no interior de biodigestores de escala normal;
- Verificar a possibilidade de implantar uma serpentina de aquecimento em biodigestores que trabalham com sistema de alimentação contínuo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Cascavel, PR: 2006. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/2841#preview-link0>> Acesso em: 20 set 2018.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada**. Bauru, SP: 2002. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf> Acesso em: 21 set 2018.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás**. Cascavel, PR: 2012. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/821/1/Dangela%20Maria%20Fernandes.pdf>> Acesso em: 26 out 2018.

FONSECA, F. S. de T.; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas – MA: um estudo de caso**. Porto Alegre, RS: 2009. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/687.pdf>> Acesso em: 21 set 2018.

GASPAR, Rita Maria B. Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na Região de Toledo-PR**. Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf>> Acesso em: 21 ago 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf> Acesso em: 03 out 2018.

JORGE, L. H. A.; OMENA, E. **Biodigestor**. Dossiê Técnico. SENAI/AM – Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos suínos**. Concordia, SC: 1983.

LANGER, Marcelo; BARBOSA, George; **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental**. Joaçaba: Editora Unoesc, 2011. Disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/viewFile/864/pdf_154> Acesso em: 10 ago 2018.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: NOBEL, 1986.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concordia, SC: EMBRAPA, 2006.

PRATI, Lisandro. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. Curitiba, PR: 2010. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>> Acesso em: 21 set 2018.

ROPPA, Luciano. **A globalização e as perspectivas da produção de suínos no continente sul – americano.**

PEREIRA, R. H.; BRAGA, S. L.; BRAGA, C. V. M.; FEIRE, L. G. de M. **Geração distribuída de energia elétrica – aplicação de motores bicompostíveis diesel/gás natural.** Rio de Janeiro, RJ: 2004. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0433_05.pdf> Acesso em: 07 nov 2018.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** Maringá, PR: 2004.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores: uma solução.** Porto Alegre: LTC – Livro técnico específico, 1983.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, SOBER. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas-MA: um estudo de caso.** Porto Alegre: 2009. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/687.pdf>> Acesso em: 24 ago 2018.

SROUR, Sandra. **A reforma do estado e a crise no setor de energia elétrica: uma visão crítica do caso brasileiro.** Rio de Janeiro, RJ: 2005.

TARRENTO, G. E.; MARTINEZ, J. C. **Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa.** Bauru, SP: 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/486.pdf> Acesso em: 13 nov 2018.

TELAMINI, Edson; FERREIRA, G. M. V. **Mercado internacional de carne suína: variáveis que influenciam no número de países importadores.** Passo Fundo – RS: 2005. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3482952-Mercado-internacional-da-carne-suina-variaveis-que-influenciam-no-numero-de-paises-importadores.html>> Acesso em: 03 out 2018.

TRICHES, G. P. **A suinocultura e o desenvolvimento regional: o caso do alto vale do Itajaí – SC.** Blumenau, SC: 2003. Disponível em: <http://www.bc.furb.br/docs/TE/2003/290981_1_1.pdf> Acesso em: 21 set 2018.

VILLELA, I. A. de C.; SILVEIRA, J. L. **Aspectos técnicos da produção de biogás em um laticínio.** 2005.

ANEXOS

Anexo 01 – Orçamento dos materiais utilizados.

Item	Quantidade	Valor (R\$)
Bombona de 240 litros (azul)	4	R\$ 350,00
Tubo PVC plastilit 20 mm	10m	R\$ 20,00
Adaptador interno redução 1/2"	12	R\$ 18,00
Bisnaga de silicone transparente	2	R\$ 17,80
Adesivo para cano 75g	1	R\$ 7,00
Bucha redução rosqueável 3/4" x 1/2"	3	R\$ 4,50
Bucha redução soldável curta 25x20	3	R\$ 7,50
Bucha redução soldável longa 32x20	3	R\$ 6,60
Joelho soldável 20mm	6	R\$ 12,00
Luva soldável 32mm	3	R\$ 8,10
Manga cristal 1/2" x 1,5M	50m	R\$ 125,00
Abraçadeira com regulagem 1/2"	10	R\$ 15,00
Adaptador solda/rosca 20mm x 1/2"	3	R\$ 6,00
Termostato com aquecedor - 100w	3	R\$ 150,00
Eletrobomba d'agua máquina de lavar	3	R\$ 120,00
TOTAL		R\$ 867,50

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Eliseu Avelino Zanella Junior professor do Centro Universitário Assis Gurgacz e orientador do acadêmico Rodrygo Denner Bressan no Trabalho de Conclusão de Curso, declaro que as correções solicitadas pela banca foram efetuadas corretamente.



Assinatura do Professor

Cascavel, 02 de Julho de 2019.