



DEPARTAMENTO DE ENSINO
CURSO TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA – FORMA INTEGRADA

CAMILA DE JESUS DOS SANTOS
DIEGO DE JESUS CERQUEIRA
LAURA MILENA SANTOS SILVA
MARCELO VICTOR MONTEIRO DE JESUS

BIODIGESTORES: PRODUÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
GERADOS PELA POPULAÇÃO DA CIDADE DE SANTO AMARO- BA

Santo Amaro- BA

2022

CAMILA DE JESUS DOS SANTOS
DIEGO DE JESUS CERQUEIRA
LAURA MILENA SANTOS SILVA
MARCELO VICTOR MONTEIRO DE JESUS

BIODIGESTORES: PRODUÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
GERADOS PELA POPULAÇÃO DA CIDADE DE SANTO AMARO- BA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau
Técnico de Nível Médio em Eletromecânica do
Instituto Federal da Bahia Campus Santo Amaro.

Orientador: Dr. Silvano Vieira dos Santos

Santo Amaro – BA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

B615 Biodigestores: produção do biogás a partir de resíduos orgânicos gerados pela população da cidade de Santo Amaro-BA. / Camila de Jesus dos Santos ... [et al.]. – Santo Amaro, 2022.
73 f.: il. algumas color.

Orientador: Prof. Dr. Silvando Vieira dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Eletromecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Santo Amaro, 2022.

1. Biodigestores. 2. Biogás. 3. Biomassa. 4. Resíduos orgânicos - Eliminação. 5. Lixo como combustível. 6. Energia – Fontes alternativas. 7. Santo Amaro (BA). I. Santos, Camila de Jesus dos. II. Cerqueira, Diego de Jesus. III. Silva, Laura Milena Santos. IV. Jesus, Marcelo Victor Monteiro de. V. Santos, Silvando Vieira dos (Orientador). VI. Instituto Federal da Bahia.

CDU 620.9:662.767.2:628.4

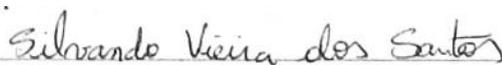
Elaborado por Reginaldo Pereira Pascoal Junior – CRB-5/1470
Sistema Integrado de Bibliotecas – Instituto Federal da Bahia (SIB-IFBA)
Biblioteca IFBA Campus Santo Amaro

BIODIGESTORES: PRODUÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
GERADOS PELA POPULAÇÃO DA CIDADE DE SANTO AMARO- BA

CAMILA DE JESUS DOS SANTOS
DIEGO DE JESUS CERQUEIRA
LAURA MILENA SANTOS SILVA
MARCELO VICTOR MONTEIRO DE JESUS

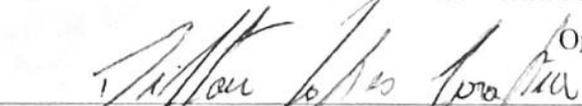
Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal da Bahia Campus Santo Amaro, como parte de requisitos necessários à obtenção do grau de Técnico de Nível Médio em Eletromecânica.

Aprovado em 08/ 12 / 2022, por:



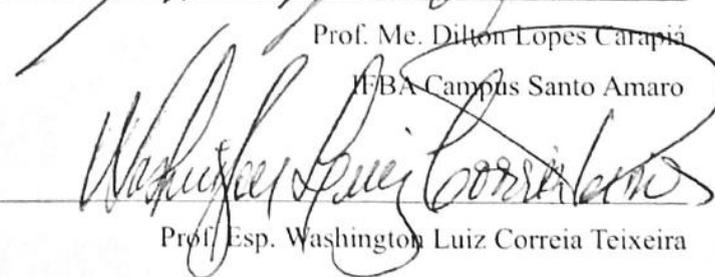
Prof. Dr. Silvano Vieira dos Santos

Orientador



Prof. Me. Dilton Lopes Carapiá

IFBA Campus Santo Amaro



Prof. Esp. Washington Luiz Correia Teixeira

IFBA Campus Santo Amaro

Santo Amaro - BA

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus por ter nos dado força para concluirmos este trabalho. Agradecemos ao nosso orientador Silvando Vieira dos Santos por ter nos auxiliado com uma excelente orientação nessa jornada que foi tão dura e cansativa e aos nossos familiares e amigos que nos incentivaram de forma fervorosa.

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Santo Amaro como parte dos requisitos para obtenção do grau Técnico de Nível Médio em Eletromecânica.

BIODIGESTORES: PRODUÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS PELA POPULAÇÃO DA CIDADE DE SANTO AMARO- BA

2022

Curso Técnico em Eletromecânica – IFBA Campus Santo Amaro

A necessidade de diminuir a poluição e degradação do meio ambiente fez com que novos métodos para obter energias mais limpas e renováveis que promovam menos impactos ambientais fossem procurados. Em muitas regiões do Brasil e no mundo esses métodos vêm sendo implementados, como, por exemplo, a biomassa, usada por sua abundante disponibilidade. Pela grande diversidade de resíduos orgânicos gerados constantemente pela população e seu alto potencial energético a biomassa se torna a principal chave para a produção de Biogás e biofertilizantes, esse produto é gerado dentro de um Biodigestor a partir de uma digestão anaeróbia. A vista de obter uma energia renovável e solucionar o problema de descarte incorreto de resíduos sólidos orgânicos gerados na cidade Santo Amaro- BA, o seguinte trabalho traz como objetivo o estudo para desenvolvimento de um biodigestor canadense usando como matéria para a produção do Biogás os resíduos sólidos orgânicos gerados pela população de Santo Amaro- BA, trazendo então as informações necessárias para a construção do trabalho em questão, como, por exemplo, pesquisas bibliográficas e pesquisas de campo.

Palavras chaves: Biogás, Biomassa, Biodigestor, Resíduos Orgânicos e Energia Renovável.

Abstract of the Final Course Paper to the Curso Técnico em Eletromecânica presented at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Santo Amaro as part of the requirements for obtaining the Medium Level Technical degree in Electromechanics.

**BIODIGESTERS: BIOGAS PRODUCTION FROM ORGANIC WASTE GENERATED BY
THE POPULATION OF THE CITY OF SANTO AMARO- BA**

2022

Curso Técnico em Eletromecânica – IFBA Campus Santo Amaro

The need to reduce pollution and environmental degradation has caused new methods to obtain cleaner and renewable energies that promote fewer environmental impacts to be sought. In many regions of Brazil and in the world these methods have been implemented, such as biomass, used for its abundant availability. Due to the great diversity of organic waste constantly generated by the population and its high energy potential biomass becomes the main key for the production of Biogas and biofertilizers, this product is generated within a Biodigester from an anaerobic digestion. In order to obtain renewable energy and solve the problem of incorrect disposal of solid organic waste generated in the city of Santo Amaro-BA, the following work aims to study the development of a Canadian biodigester using waste as material for the production of Biogas organic solids generated by the population of Santo Amaro-BA, thus bringing the necessary information for the construction of the work in question, such as bibliographic research and field research.

Keywords: Biogas, Biomass, Biodigester, Organic Waste and Renewable Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de Biodigestor usado como esgoto e aterro de excrementos de animais	19
Figura 2 - Sistema de fossa séptica Biodigestora.....	20
Figura 3 - Biodigestor indiano.....	21
Figura 4 - Biodigestor Chinês.....	22
Figura 5 - Vista em corte representando os componentes do Biodigestor Canadense.....	24
Figura 6 - Biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil.....	25
Figura 7 - Válvulas de alívio de pressão em gasômetro e sistema simplificado tipo selo d'água para equalização da pressão no interior do Biodigestor.....	27
Figura 8 - Esquematização das equações referenciadas que foram usadas no presente trabalho.....	42
Figura 9: Esquematização das equações referenciadas que foram usadas no presente trabalho.....	42
Figura 10- Vista frontal das dimensões gerais do Biodigestor Canadense.....	45
Figura 11 - Representação genérica em 3D da caixa de e saída(A) e entrada (B).....	47
Figura 12 - Interface do SketchUp no momento de projeção do Biodigestor.....	50
Figura 13 - Dimensionamento para o Biodigestor com o reaproveitamento total da matéria orgânica.....	56
Figura 14 - Dimensionamento para o Biodigestor com reaproveitamento parcial da matéria orgânica.....	56
Figura 15: Biodigestor canadense projetado e renderizado.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de SV dos resíduos alimentares.....	30
Tabela 2 - Levantamento dos materiais e serviços para a construção do Biodigestor.....	31
Tabela 3 - Resultado do estudo gravimétrico de RSU no Município de Santo Amaro.....	37
Tabela 4 - Média de valores de SV encontrado na literatura para lixões e Aterros Sanitários	41
Tabela 5 - Altura ideal para cada faixa de volume do Biodigestor tubular.....	46
Tabela 6 - Estimativa da composição gravimétrica de RSU no município de Santo Amaro..	51
Tabela 7 - Equivalência energética mensal de 1 m ³ de Biogás produzido em Santo Amaro, em relação às outras fontes energéticas.....	59
Tabela 8 - Resultado geral dos dimensionamentos realizados.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BA	Bahia.
BR	Batalhão Rodoviário (Rodovia Federal).
CH ₄	Metano.
cm	Centímetros.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
<i>cos</i>	Cosseno.
°C	Grau Celsius.
°	Grau.
DOU	Diário Oficial da União.
D	Densidade.
EFE	Equivalência de cada fonte energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual.
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva.
Eun	Economia de botijão de gás.
Em	Economia monetária
h	Altura.
hcaixa,e	Altura da caixa de entrada.
hcaixa, s	Altura da caixa de saída.
H ₂ O	Água.
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio.
hs	Altura da caixa de saída.
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.
kg	Quilograma.
kg/hab*dia	Quilograma de lixo gerado pelos habitantes por dia.
kg/dia	Quilogramas por dia.
kgH ₂ O/dia	Quilograma de água por dia
km	Quilômetros.
km ²	Quilômetros quadrados.
l	Litro

L	Comprimento do Biodigestor.
Lcaixa,e	Comprimento da caixa de entrada.
Lcaixa,s	Comprimento da caixa de saída.
L.e	Lado da caixa de entrada.
l/dia	Litro por dia.
lH ₂ O/dia	Litro de água por dia.
L.s	Lado da caixa de saída.
LV	Lona de Vedação.
m ³	Metros cúbicos.
m	Massa.
<i>m</i>	Metro.
mm	Milímetros.
MME	Ministério de Minas e Energia.
MH ₂ O	Massa de água
Mro	Massa de Resíduos orgânicos.
MSd	Massa dos Sólidos Totais.
Mt	Massa total de alimentação diária.
n ^o	Número.
N ₂	Nitrogênio.
NH ₃	Amoníaco.
Nm ³	Normal Metro Cúbico.
Pb	Produção Teórico de Biogás.
PEAD	Polietileno de Alta Densidade.
PE	Polietileno.
PEB	Potencial energético do Biogás
pH	Potencial Hidrogeniônico.
PPB	Potencial de Produção de Biogás.
ppm	Parte por Milhão.
PVC	Policloreto de vinila.
Pro	Densidade de Resíduos orgânicos.
QRO	Quantidade de Resíduos orgânicos coleta nas feiras livres por (kg/dia).
Qmo	Quantidade de matéria orgânica coletada.
R\$	Real Brasileiro
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos.

SD	Sem Data.
SF	Sólidos Fixo.
ST	Sólido Totais.
STfinal	Sólido total final.
SV	Sólido Volátil.
SVRO	Quantidade de sólidos Voláteis.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica.
Tc	Tempo de Carregamento.
V	Volume.
Vc	Volume de Carga Diária.
Vcaixa,e	Volume de caixa de entrada.
Vcaixa, s	Volume da caixa de saída.
Vfinal	Volume final.
VGLP	Volume do botijão de gás
Vro	Volume de Resíduos Orgânicos.
Vtb	Volume Total da Câmara do Biodigestor.
Vgb	Volume Geométrico da Câmara.
a	Largura da base maior do trapézio (m).
b	Largura da base menor do trapézio (m).
h	Altura do trapézio (m).

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	15
1.1 APRESENTAÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Geral	17
1.3.2 Específicos	17
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 BIODIGESTORES	18
2.1.1 Alguns usos de Biodigestores e aspectos econômicos, sociais e ambientais	18
2.1.2 Utilidade peculiar do Biodigestor na zona rural	19
2.2 Modelos de Biodigestores	20
2.2.1 Biodigestor Indiano	21
2.2.2 Biodigestor Chinês	22
2.2.3 Biodigestor Batelada	23
2.3 Biodigestor Canadense	23
2.3.1 Seguranças na Operação de Biodigestores	26
2.3.2 Técnicas de Remoção de Impurezas do Biogás	28
2.3.3 Geomembrana que reveste o Biodigestor Canadense	29
2.3.4 Teor de Sólidos Voláteis (SV)	29
2.3.5 Concepção do projeto	30
2.3.6 Triturador	32
2.4 Biomassa e o Biogás	32
2.4.1 Utilização da biomassa para a produção de energia	33
CAPÍTULO 3: MATERIAIS E METODOLOGIA	39
3.1 Dimensionamento do Biodigestor Canadense	40
3.1.1 Dimensionamento das caixas de entrada e saída do Biodigestor canadense.	46
3.1.2 Dimensionamento da lona de impermeabilização do Biodigestor Canadense.	48
3.1.3 Dimensionamento do Gasômetro	48
3.2 Produção Teórica de Biogás	49
3.3 Software utilizado para fazer a Projeção em 3D do Biodigestor Canadense	50
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Caracterização do cenário atual dos resíduos orgânicos de Santo Amaro	51
4.2 Dimensionamento do Biodigestor canadense adequado a Santo Amaro	53
4.2.1 Determinação das dimensões referente às caixas de entrada e saída do Biodigestor canadense	55
4.2.2 Determinação das dimensões da lona de impermeabilização do Biodigestor canadense.	56
4.2.3 Dimensionamento estimado do Gasômetro	57
4.3 Produção Teórica de Biogás	57

4.4	Projeção do Biodigestor Canadense, que atenderá a população Santamarense.	62
4.5	Panorama Geral do dimensionamento Realizado.	63
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES		66
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS		67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		68

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Um dos mecanismos de uso mais preciosos para a humanidade, quase que essencial para sua existência, é a energia, pois condicionamos a realização das nossas atividades diárias - armazenamento de alimentos (geladeira); conforto térmico em espaços fechados; iluminação; uso de aparelhos eletroeletrônicos (celulares, computadores, tablets, etc) - a ela. Visando atender essa alta demanda em muitos lugares a sua produção ainda é prioritariamente a partir de usinas hidrelétricas e termelétricas, tais meios que causam grandes impactos ao meio ambiente.

Atualmente novas propostas de produção vêm sendo implementadas, formas mais sustentáveis e benéficas tanto para a natureza quanto para os seres humanos, para obtenção de energia. A bioenergia é uma alternativa com potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apesar de não possuir a capacidade de solucionar totalmente o problema energético do mundo (GOLDEMBERG, 2016). A biomassa é uma das principais formas de geração de energia sustentável nos últimos anos, pela sua matéria-prima ser de baixo custo e rápido acesso, e ainda reservar grandes quantidades de energia através do carbono, oxigênio e hidrogênio. Essa fonte de energia renovável propõe a utilização da matéria orgânica de origem vegetal e animal através da decomposição dos recursos renováveis como: plantas, madeiras, resíduos agrícolas e até mesmo do lixo, para produção de energia.

Uma das energias geradas pela biomassa é o Biogás, que pode ser produzido a partir da decomposição de resíduos orgânicos produzidos por residências, indústrias, restaurantes e entre outros. Além de ser de baixo custo, é uma energia que traz benefícios ao meio ambiente, pois não emite gases poluentes e ainda aproveita resíduos sólidos que seriam descartados de maneira indevida ou direcionados a aterros sanitários onde perdem todas as suas utilidades.

O Biodigestor é o equipamento principal no processo de transformação da biomassa em energia, este aparelho é basicamente constituído de uma câmara hermeticamente fechada, que impede a passagem de ar, onde os resíduos orgânicos são depositados por um determinado tempo em uma estrutura denominada gasômetro, responsável por fazer o armazenamento do Biogás (GONÇALVES, 2012).

Levando em consideração o contexto sociogeográfico onde o seguinte trabalho será desenvolvido, Santo Amaro - BA, uma cidade com cerca de 60.190 mil habitantes (IBGE,

2019), possui uma alta demanda de geração de resíduos orgânicos. Um grande problema enfrentado pelo município, é o descarte indevido dos resíduos orgânicos, tanto da comunidade, quanto do órgão municipal responsável para direcionar estes resíduos, pois não existem formas de descartes adequadas, e assim, todos os resíduos são direcionados a um lixão a céu aberto (JERÔNIMO, 2021).

1.2 JUSTIFICATIVA

Os resíduos orgânicos são produzidos diariamente por todos os setores da sociedade como a indústria, comércio, residências, feiras livres, entre outros, contudo, nem sempre possuem descarte em local e maneira correta, fato este que associado a falta de verba e conhecimento técnico são responsáveis pela degradação ambiental, contaminação e exaustão dos recursos naturais (VAZ *et al*, 2003).

O crescente acúmulo de lixos orgânicos e o descarte indevido dos mesmos que são produzidos pela população de Santo Amaro, Bahia, é uma pauta muito importante a ser discutida. A partir dos dados levantados pela instituição Brasiliencorp Brencorp, em parceria com o governo municipal de Santo Amaro, foi constatado que a geração diária total de resíduos sólidos é de 46,0 t/dia, com uma geração média de 0,77 quilogramas por habitantes e dia. Sendo que 52,03% desses resíduos são de materiais orgânicos. Uma grande parcela deles é retirada da feira livre, é descartada de maneira indevida e direcionada para o aterro sanitário da cidade que está localizado à margem da BR 420 (PLANO, 202?).

A proposta de resolução desse problema de forma sustentável é a utilização da biomassa, pelo Biodigestor, para a produção do Biogás e de biofertilizante. Existem diversas maneiras de utilização desse Biogás como, por exemplo: geração de energia térmica, elétrica, mecânica, em lâmpadas, chocadeiras, aquecimento de fogões entre outros. O uso das energias renováveis está cada vez mais presentes na sociedade atual. Produzir uma energia limpa que não cause danos ao meio ambiente e com um baixo custo, está se tornando uma alternativa para muitas empresas e algumas comunidades. Sendo assim, o presente projeto apresenta uma proposta com muitos benefícios, no quesito social, econômico e ambiental.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Reunir bases teóricas sólidas para a produção de um Biodigestor que funciona tendo como biomassa os resíduos sólidos orgânicos produzidos pela população da cidade de Santo Amaro- BA.

1.3.2 Específicos

- Demonstrar as características técnicas necessárias para a construção e funcionamento de Biodigestores;
- Levantar informações sobre o teor de resíduos orgânicos gerados na cidade de Santo Amaro- BA.
- Estabelecer informações sobre o modelo de Biodigestor mais adequado à quantidade de resíduos orgânicos gerados pela população da cidade de Santo Amaro;
- Estimar a quantidade de Biogás que será produzido considerando a quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente no município.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1 BIODIGESTORES

Define-se como uma câmara de fermentação fechada de maneira que impeça a entrada de oxigênio na qual ocorre a digestão da biomassa pelas bactérias anaeróbicas para a produção de Biogás. Existem diversos tipos de Biodigestores, podendo ser classificados quanto ao seu abastecimento, dessa maneira existem duas classificações, Biodigestores de modo contínuo ou intermitente (batelada). No intermitente o abastecimento ocorre apenas uma vez e a matéria orgânica fica o tempo suficiente para haver a decomposição. Já nos contínuos o abastecimento deve ser diário, e cada vez que são adicionados resíduos orgânicos sairá uma quantidade de resíduos tratado proporcional a entrada (ANDRADE, 2018).

Cada Biodigestor possui algumas características próprias que se adéquam melhor a uma determinada necessidade, da mesma forma tem as suas desvantagens e vantagens, a relação custo versus benefício e demais fatores. A partir das análises dos mesmos é possível definir se será benéfico ou não a sua instalação.

2.1.1 Alguns usos de Biodigestores e aspectos econômicos, sociais e ambientais

O uso de Biodigestores vem se normalizando em fazendas, onde o sistema de agropecuária esteja presente, a agropecuária consiste na criação de animais e cultivo de plantas para fins econômicos, por exemplo, a criação de animais bovinos, suínos ou ovinos, e o cultivo de soja, algodão ou café.

Nas fazendas a utilização dos Biodigestores, apresenta muitos benefícios, sendo eles econômicos e ambientais, com a produção de Biogás que pode ser usado como fonte de energia e biofertilizantes utilizados na agricultura, de modo que evite a compra de fertilizantes químicos industriais. Esse feito já evita um problema muito comum no ramo da agropecuária, que é a contaminação do solo pelos excrementos dos animais, dando aos agricultores a possibilidade de uso desses excrementos, o que resulta em muitos benefícios para o homem e para a natureza como um todo (CHAVES, *et al*, 2021).

A **Figura 1** a seguir é uma esquematização de como a Alcócer (2020) dá finalidade a um Biodigestor de esgoto e aterro de excrementos de animais na região rural.

Figura 1: Esquema de Biodigestor usado como esgoto e aterro de excrementos de animais.



Fonte: Adaptado de SAINOS, 2018.

Mesmo a revista trazendo a ideia apenas na região do estado do Ceará, o conhecimento dessa pode gerar uma conscientização em outras localidades do país, bem com a sua adesão ao projeto.

2.1.2 Utilidade peculiar do Biodigestor na zona rural

Uma pesquisa promovida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) aponta que a falta de saneamento nas zonas rurais do país prejudicam os moradores, pois os próprios habitantes dessa região promovem um meio de descarte de seus excrementos, que consiste em um buraco de aproximadamente 4 metros ligado ao encanamento do vaso sanitário, como consequência disso ocorre a contaminação dos lençóis freáticos, os mesmos lençóis que abastecem suas cisternas (OTENIO, *et al*, 2014).

No trabalho de Otenio *et al* (2014), percebeu-se o problema e implementou a ideia de que os moradores da zona rural ponham em prática o projeto de produção e utilização da fossa séptica, esse projeto consiste numa forma de evitar o uso da fossa convencional, direcionado mais para o produtor agropecuário, porém não é limitado apenas a esse público.

A **Figura 2** consiste numa representação básica de como foi planejada a fossa séptica Biodigestora, que consiste em três caixas d'água interligadas, sendo que a primeira e segunda

caixa tem um orifício na tampa que serve como suspiro e esse suspiro serve para que o líquido se acumule na terceira caixa, o princípio de funcionamento é o mesmo de um Biodigestor convencional, porém a fossa séptica Biodigestora recebe este nome, pois seu uso é exclusivo para tratamento de esgoto residencial (OTENIO, *et al*, 2014).

Figura 2: Sistema de fossa séptica Biodigestora.



Fonte: OTENIO, *et al* 2014.

Percebe-se que a fossa séptica Biodigestora nesse caso foi criada com a finalidade de evitar a contaminação dos lençóis freáticos que abastecem a cisterna, solo, córregos e rios e o aproveitamento do biofertilizante produzido para adubar árvores, milho, capim entre outros.

2.2 Modelos de Biodigestores

Existem uma grande variedade de Biodigestores, com diferentes funções e formas de serem aplicados, são apresentados na sequência do presente texto os principais modelos mais utilizados e suas características particulares.

Os primeiros Biodigestores no mundo foram inventados em 1806 na Inglaterra por Humphrey Davy, onde o mesmo identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. Observa-se que os chineses buscavam nessa tecnologia, o biofertilizante necessário para produção dos alimentos. Já naquela época os indianos precisavam dos Biodigestores para cobrir o imenso déficit de energia (NOGUEIRA *apud* PALHARES, 2008).

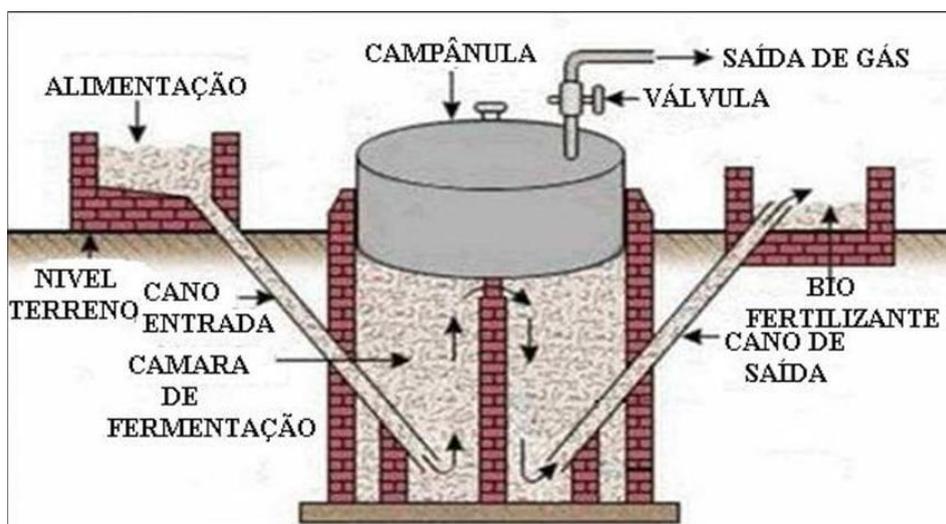
Com a disparada da crise energética em 1973 o uso de Biodigestores passou a ser uma pauta discutida não só por países emergentes como países ricos também, dois lugares que essas ideias foram difundidas de forma eficaz e se popularizou foi na China e na Índia. Dos mais variados meios de motivação para a criação de Biodigestores, a fome e a falta de combustíveis fósseis, foram os incentivadores para a Índia iniciar a implementação de tecnologias de desenvolvimento de Biodigestores em seu território, para suprir o déficit energético nacional. Na questão da China foram por interesses militares, pois com a Guerra

Fria a China temeu que ataques nucleares bloqueassem as atividades econômicas do país (PALHARES, 2008).

2.2.1 Biodigestor Indiano

O modelo de Biodigestor indiano é caracterizado por ser do tipo contínuo, geralmente constituído por tijolos e cimento do tipo impermeável aplicado na parte interna, possui um dispositivo denominado Campânula Móvel, uma espécie de gasômetro, que faz a medição dos gases presentes no equipamento, podendo também desempenhar a função de manutenção da pressão interna (DEGANUTTI, *et al.* 2002). Na **Figura 3** é apresentado o Biodigestor indiano, que possui o formato característico de um cilindro na vertical, com duas câmaras, uma serve para alimentar o equipamento com os resíduos orgânicos, ou seja, a biomassa e a outra serve para fazer a retirada do subproduto (biofertilizante) gerado no processo, ambas são conectadas ao Biodigestor por tubos de PVC, conforme a indicação na **Figura 3**.

Figura 3: Biodigestor indiano.



Fonte: FONSECA, *et al.* 2009.

Este Biodigestor apresentado, possui uma versatilidade expressiva, podendo ser alocado em diferentes tipos de solos tanto na posição horizontal como na vertical e isso é muito importante, pois ajuda na implementação deste projeto em diferentes situações, com isso o projeto para se fazer a instalação deste Biodigestor acaba sendo facilitado, já que as questões que envolve o terreno são mitigadas, contudo, o fato do gasômetro ser feito de metal acaba por aumentar o custo deste equipamento (GASPAR, 2003).

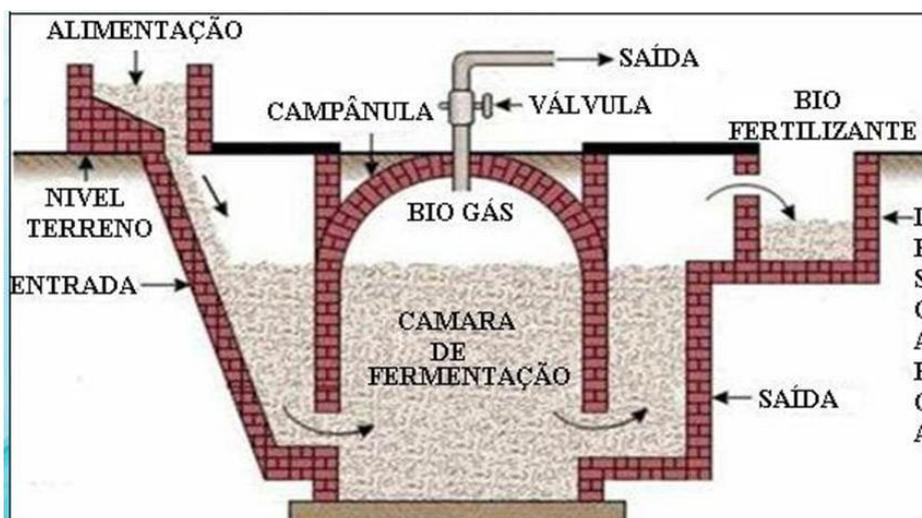
2.2.2 Biodigestor Chinês

Pode-se dizer que este modelo de Biodigestor é uma versão economicamente viável em comparação ao Biodigestor Indiano, tanto que possui algumas semelhanças com o fato de ser construído por tijolos, em sua grande parte, é do tipo contínuo, é impermeável e compartilha de alguns empecilhos, como a recomendação de operação tendo a “concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material” (DEGANUTTI, *et al.* 2002, p. 2).

Para este modelo uma característica fundamental é a vedação, pois evita o vazamento do Biogás. Uma das características que diferem este modelo do anterior é o fato de não possuir uma campânula de metal que acaba por viabilizar a aquisição do Biodigestor chinês.

O seu princípio de funcionamento é semelhante a uma prensa hidráulica, pois quanto maior for o acúmulo do Biogás no interior do equipamento haverá um deslocamento do efluente da primeira câmara onde está sendo indicada na **Figura 4**, com isso a pressão exercida no interior deste Biodigestor pode variar com o tempo, diferente do modelo indiano onde a pressão é constante (DEGANUTTI, *et al.* 2002). Na **Figura 4** são demonstradas as partes fundamentais deste modelo, assim como o caminho em que a biomassa percorre durante o seu processo de aproveitamento, como citado anteriormente.

Figura 4: Biodigestor Chinês.



Fonte: DEGANUTTI, *et al.*, 2002.

2.2.3 Biodigestor Batelada

O Biodigestor batelada possui um sistema que não tem a necessidade de estar a todo momento sendo reabastecido, dessa maneira é denominado de modelo de alimentação descontínua, onde só precisa ser alimentado uma única vez. Com esse tipo de sistema sua eficácia no processo de produção do Biogás é afetada em comparação ao processo de alimentação contínua, considerando haver precisão de abrir o Biodigestor em seguida do término do processo de digestão (DEGANUTTI, *et al.* 2002).

Esse tipo de Biodigestor é usado em locais que não possuem resíduos orgânicos frequentemente, portanto não produz Biogás diariamente, está diretamente ligado ao seu sistema descontínuo e a facilidade em questões operacionais.

2.3 Biodigestor Canadense

Este modelo de Biodigestor trata-se do principal objeto de estudo do presente trabalho, ele é do tipo horizontal, tendo um formato geométrico semelhante a um prisma trapezoidal, assim como os demais, o mesmo pode ser construído de alvenaria, porém tem a sua base enterrada no chão. Como benefício em relação aos Biodigestores indiano e chinês que não tem estruturas favoráveis para não ocorrer o entupimento, o Biodigestor canadense ou Fluxo Tubular possui a maior parte de sua estrutura exposta ao sol, em razão da largura, ocorrendo um aumento na temperatura da câmara de digestão, dessa forma há uma otimização na produção do Biogás. Nesse modelo de Biodigestor a gravidade é usada por conta da sua estrutura horizontal ou por dispositivos hidráulicos como uma bomba hidráulica para ocorrer a movimentação da Biomassa, tendo em vista que o modelo chinês aplica a diferença de pressão.

Este modelo mostrado na **Figura 5** é composto por três recipientes, sendo o primeiro responsável pela entrada dos resíduos orgânicos, ou seja, a colocação dos materiais orgânicos será neste recipiente, que vai ser interligado ao segundo recipiente por tubulações de cano em PVC, nesta segunda câmara é onde ocorre a digestão, o mesmo pode ser denominado de câmara de digestão, enterrada no solo, impermeabilizada e revestida com material geossintético (PVC, PEAD, etc.) que garante uma baixa permeabilidade a líquidos e gases, e possui uma maleabilidade suficiente para armazenar o Biogás, durante o processo de Biodigestão (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Este material, que cobre o equipamento e recebe grande parte da intensidade da luz solar (gasômetro), infla conforme a produção do Biogás. Normalmente construído de uma manta de polietileno de alta densidade (PEAD) com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta ou branca. No gasômetro, é instalada uma tubulação menor em relação à instalada na caixa de saída e entrada, que será conectada à lona do gasômetro através de uma flange evitando vazamento do Biogás, ligando até o equipamento onde ocorrerá o seu aproveitamento (SOUZA; PECCI, 2021). O terceiro e último recipiente é o local onde o biofertilizante será armazenado, todos esses componentes serão percorridos mais a fundo no decorrer do trabalho.

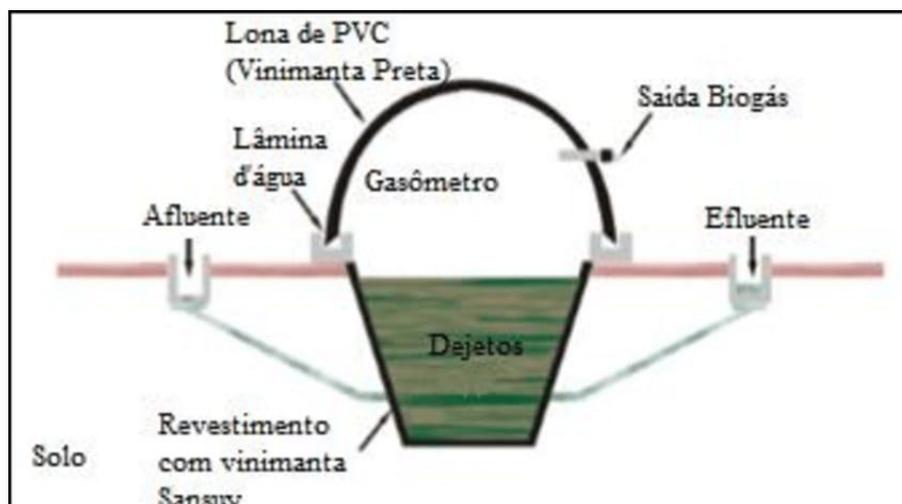
Figura 5: Vista em corte representando os componentes do Biodigestor Canadense.



Fonte: Autoral.

A utilização deste sistema de Biodigestor é tão difundida nacionalmente, que uma variação do mesmo foi projetada pela Marinha do Brasil, apresentando uma base quadrangular, como é observado na **Figura 6**, com as paredes revestidas por uma lona impermeável. Este Biodigestor apresenta alguns empecilhos como o espaço físico, pois precisa de uma extensa área para alocação do mesmo (PRATI, 2010).

Figura 6: Biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil.



Fonte: JUNQUEIRA, 2014.

Este modelo não possui um sistema de aquecimento, a eficiência do Biodigestor é influenciado pela temperatura da região onde ele se encontra em funcionamento, principalmente em regiões com invernos rigorosos. A implantação do mesmo abaixo do nível do solo impede severas variações de temperatura, além de aproveitar o calor do solo e o calor gerado pelo gasômetro exposto ao sol, tendo em vista que 90% do aquecimento do Biodigestor canadense, é advindo dos raios solares, incididos sobre a lona (OLIVEIRA, *apud* SILVA, 2016).

Assim como os outros modelos de Biodigestores, o canadense possui algumas características próprias que podem ser respeitadas quando se deseja construir o mesmo, Segundo Kunz, Steinmetz e Amaral (2019) estas características são:

- a) relação, comprimento x largura mínima de (2x1);
- b) profundidade em relação ao solo (3 a 4,5 m);
- c) inclinação do talude.

Deve haver uma preocupação com a composição da biomassa, pois como é sabido, a utilização do Biodigestor é baseada na digestão de resíduos orgânicos, contudo durante o processo de captação destes resíduos, bem como outros fatores, pode haver a presença de materiais inorgânicos, ou seja, os sólidos fixo (SF), que por norma não favorece a produção de Biogás e, além disso, pode assorear o Biodigestor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Um estudo feito por Kunz, Steinmetz e Amaral (2019), mostrou que após um (1) ano de operação ocorreu um acúmulo de 54 m³ de SF no Biodigestor, que representa em torno de 2% do volume útil, este estudo considerou apenas o SF e não outros sólidos que podem acumular no sistema, como a geração de lodo por processos biológicos, com isso é importante estar descartando este material periodicamente, e se faz importante o uso de sistema, tais como uma caixa de areia que façam a separação dos sólidos, antes que o mesmo possa ser injetado na câmara onde ocorrerá a digestão evitando o acúmulo no fundo do Biodigestor e a redução do volume útil do tanque, que pode gerar uma sobrecarga no modelo e um menor Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

2.3.1 Seguranças na Operação de Biodigestores

Para uma correta implantação e manuseio do Biodigestor é necessário se atentar para a grande diversidade de aspectos relacionados à segurança, aspectos estes que estão ligados desde aos riscos ocupacionais e ambientais quanto a efetividade do processo de produção. A composição do Biogás é baseado em metano (CH₄), gás carbônico (CO₂) e o gás Sulfídrico (H₂S), que apresentam riscos químicos e físicos como asfixia, corrosividade e toxicidade de alguns gases como gás sulfídrico (CIBIOGÁS, *apud* SOUZA; PRECCI, 2021).

Como forma de mitigar estes problemas descritos é necessário fazer o monitoramento periódico de toda estrutura do Biodigestor, principalmente do gasômetro, de modo a avaliar a existência de vazamentos de gás e devido ao baixo nível tecnológico, como no caso do modelo canadense, é utilizada uma solução de detergente 2% em água aplicado nas conexões, válvulas, juntas de vedação e lona com o auxílio de um pincel. Desta forma a identificação da presença de vazamentos se dará através da formação de bolhas no local onde a solução for aplicada (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Para evitar situações como o excesso de pressão é necessário o uso de manômetros, dispositivo responsável por fazer o monitoramento da pressão do gás, contudo pode-se recorrer ao uso de um dispositivo relativamente simples, assim como é ilustrado na **Figura 7**, o selo d'água, composto por um tubo em "U" preenchido com água que age como um selo hidráulico (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Figura 7: Válvulas de alívio de pressão em gasômetro e sistema simplificado tipo selo d'água para equalização da pressão no interior do Biodigestor.



Fonte: KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019.

A válvula de alívio de pressão é um mecanismo para a segurança onde tem a função de proteger um equipamento que gere calor, pressão ou energia que tem necessidade de ser controlado visando a integridade física do indivíduo, do equipamento e do ambiente no qual está instalado. Seu objetivo é promover o alívio da pressão de diferentes formas de acordo com suas aplicações, deve ter a capacidade de realizar esse processo o tempo todo, evitando que ocorra o acúmulo de fluidos como gases e vapores, especialmente quando existe a falta da energia e os controles do sistema não funcionarem, seu funcionamento vai depender de uma única fonte de energia, sendo ele o fluido que está em processo (JEFFERSON, 2022).

Na ocorrência de um aumento de pressão no equipamento para o nível considerado perigoso, a válvula de alívio de pressão pode ser o único dispositivo que venha evitar uma tragédia. Nesse caso a válvula funciona através da abertura de uma pressão predeterminada, que flui uma capacidade nominal com uma sobrepressão especificada e fecha quando a pressão do equipamento atinge um nível seguro (JEFFERSON, 2022).

Para evitar os riscos de colapso da estrutura do Biodigestor canadense, principalmente o seu gasômetro, e por consequência explosões que podem provocar sérios danos, tanto na estrutura como a vida de quem estiver por perto durante essa situação, deve-se recorrer a alguns meios preventivos, pois quando a produção diária de Biogás exceder a capacidade do gasômetro e não sendo aproveitado, o mesmo deve ser direcionado para um queimador

chamado de *flare*, acionado automaticamente quando o sistema de monitoramento indicar a pressão limite manta (SILVA, 2015). Por isso se faz necessário o correto dimensionamento do Biodigestor.

2.3.2 Técnicas de Remoção de Impurezas do Biogás

Como foi mencionado na seção Seguranças na Operação de Biodigestores, o Biogás possui alguns compostos que apresentam corrosividade, afetando diretamente materiais como cobre, latão e aço. Esses compostos são impurezas, que podem gerar consequências aos sistemas acoplados ao Biodigestor, como corrosão em compressores, tanque de armazenamento e motores; formação de tóxicos; acúmulo de substâncias nos aparelhos e abrasão nas superfícies. Outro benefício em fazer a remoção de impurezas do Biogás é a sua otimização, pois com a remoção do CO₂, o potencial calorífico do Biogás aumenta significativamente (RYCKEBOSCH, *apud* SOUZA, PRECCI, 2021).

A remoção das impurezas, podem ser feita de diversos materiais e métodos, a exemplo disso tem-se a remoção do H₂S, N₂, NH₃, H₂O dentre outros compostos do Biogás, que podem ser feita por materiais adsorventes como zeólitas sintéticas, carvão ativado, gel de sílica ou alumina (RYCKEBOSCH, *apud* SOUZA, PRECCI, 2021). Já os métodos são diversos, como adsorção, condensação, absorção e separação por membranas.

Como foi percebido, há diversas formas de remoção da impureza do Biogás, porém a escolha de qual técnica melhor se encaixa para executar tal função vai depender diretamente da vazão do Biogás, da composição do mesmo e do nível de purificação que se deseja alcançar. Caso num projeto de utilização do Biogás seja realmente necessário alcançar níveis superiores de purificação, o indicado é recorrer a sistemas de tratamento mais complexos e de alto custo de implantação e operação, contudo em projetos que não necessite desse requinte, podem ser utilizadas tecnologias mais simples e de baixo custo, desde que atendam os requisitos mínimos exigidos para cada tipo de aplicação, vale ressaltar que para a geração de energia elétrica a partir do Biogás, não é necessária a purificação do gás, apenas o tratamento (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

De acordo com Kunz, Steinmetz, Amaral (2019), para a utilização do Biogás em motores de combustão interna é necessário remover alguns componentes que são o H₂O, material particulado, e H₂S, onde a quantidade permitida de H₂S vai de 545 ppm a 1742 ppm a depender do motor.

Pecora (2006) desenvolveu um sistema de purificação composto por um dreno e dois tubos de absorção conectados em série. Antes do biogás ser alimentado nos tubos, passa por um recipiente conectado em “T” em altura mais baixa onde fica retida a

água condensada durante sua passagem pela tubulação. Então passa para os dois tubos: o primeiro tubo é composto por sílica em gel branca e azul com a finalidade de retirar a umidade e o segundo contém cavaco de ferro, visando assegurar a retirada de H₂S. Esse sistema foi instalado na linha de captação do biogás e mostrou-se eficiente quanto à retirada de umidade e H₂S (SOUZA: PRECCI, 2021, p 45-46).

2.3.3 Geomembrana que reveste o Biodigestor Canadense

Neste momento do trabalho, já é de comum conhecimento a necessidade de utilização de lonas para impermeabilizar o Biodigestor canadense, bem como, constituir o gasômetro. Da mesma forma, já foi expresso que um dos materiais que podem ser utilizados para compor o gasômetro é o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), sendo uma matéria-prima da Geomembrana.

O PEAD “é produzido a partir da polimerização do etileno a baixa pressão, com copolímeros e catalisadores específicos, resultando um polímero de alto peso molecular e de excelentes propriedades físico-químicas” (GENRO, 2019, p. 13).

A geomembrana de PEAD é constituída de 97,5% de polietileno virgem na sua formulação, 2,5% de negro de fumo e traços termo estabilizantes e antioxidantes, o negro de fumo referido confere resistência aos raios ultravioleta e os termoestabilizantes e antioxidantes aumentam de maneira expressiva, o potencial de resistência às intempéries, degradação e calor (GENRO, 2019).

A utilização do polietileno (PE), apresenta vantagens, colocando o mesmo a frente de reservatórios compostos por outros matérias como o PVC, pois é um material inerte a uma gama de substâncias químicas, devido a sua composição química, ou seja, é um material atóxico e resistente a ataques biológicos por microrganismos (GENRO, 2019; PALOMINO, 2017).

2.3.4 Teor de Sólidos Voláteis (SV)

Quando se deseja desenvolver um projeto em que se tem o objetivo a geração do Biogás, ter o conhecimento a respeito do teor de sólidos voláteis do resíduo orgânico que será objeto da digestão aeróbia, é de suma importância, pois os SV é a determinação da fração orgânica presente na biomassa com o potencial de produzir Biogás, logo quanto maior a concentração de sólidos voláteis presente, maior será a probabilidade de produção de Biogás (HASAN *et al*, 2019).

Cada tipo de resíduo orgânico possui a sua concentração de sólidos voláteis, identificando, por exemplo, a eficiência da melhor biomassa para a produção de Biogás. De acordo com Souza e Pecci (2021), as concentrações de sólidos voláteis em resíduos alimentares é em média de 22,3%, como observado na **Tabela 1** que mostra uma variação da porcentagem de (SV) sugeridas por diversos autores que variam de 17,1 a 27,6%.

Tabela 1: Composição de SV dos resíduos alimentares.

Referência	Zhang <i>et al.</i> (2006)	Li <i>et al.</i> (2011)	Zhang <i>et al.</i> (2011)	Browne <i>et al.</i> (2012)	Zhang <i>et al.</i> (2013)	Probiogás (2015)	Média
%SV	26,4	22,6	17,1	27,6	21,0	19,0	22,3

Fonte: Souza; Precci (2021).

2.3.5 Concepção do projeto

Um dos equívocos que podem ser cometido, aos usuários e projetista, durante a elaboração do projeto de utilização do Biodigestor canadense, é ter a percepção de que o mesmo possui uma simplicidade exacerbada, fazendo com que no desenvolvimento do projeto, possa surgir dissabores, caso os parâmetros de instalação não sejam seguidos. Há diversos parâmetros envolvidos que podem ser considerados, a depender do projeto que será elaborado.

A exemplo do que foi expresso no parágrafo anterior, tem-se a impermeabilização da câmara de digestão, onde Genro (2019), listou alguns parâmetros que devem ser considerados tais como: características físico-químicas do substrato; manutenção: caso exista alguma perfuração devem ser colocados reparos de no mínimo 20 cm de diâmetro; geometria do leito: o fundo da câmara de digestão, devem ter uma inclinação mínima, podendo ser de 1%, para facilitar a entrada e a retirada do substrato, bem como a adaptação da geomembrana; segurança: utilização de equipamentos de segurança, como os equipamentos de proteção individual (EPI) e os equipamentos de proteção coletiva (EPC), por todas as pessoas envolvidas na construção do projeto.

Como já foi mencionado no decorrer do presente trabalho, o Biodigestor canadense, é composto por uma caixa de entrada e de saída, câmara de digestão, tubulação de entrada dos resíduos e saída dos mesmos, tubulação de saída do Biogás e o gasômetro, com base nisto

Alves (2017) baseado no estudo de Macedo (2013), fez um levantamento construtivo de cada componente conforme visto na **Tabela 2**.

Tabela 2: Levantamento dos materiais e serviços para a construção do Biodigestor.

Componentes	Métodos e Materiais	Serviços/Equipamentos	Equipamento
Caixa de Entrada e Caixa de Saída	Alvenaria convencional Tijolos cerâmicos Emulsão impermeabilizante	Serviço: Nivelamento/Escavação Dosagem, mistura e preparo de argamassa de assentamento. Impermeabilização do fundo.	Equipamentos Caixa para preparo de argamassa Colher de pedreiro
Tubulação de entrada de substrato e Tubulação de saída de biofertilizante	Areia média cal Cimento Chapa metálica Tubulação: Tubo PVC 150 mm	Assentamento de alvenaria. Chapisco. Emboço e Reboco	Desempenadeira
Câmara de digestão	Vala: Lona preta. Viga para fixação da lona. Areia média. Cimento. Brita graduada. Ferro 5 mm. Ferro 8 mm.	Serviços: Escavação. Dosagem, mistura e preparo de concreto. Armação das ferragens.	Equipamentos: Retroescavadeira em caso de escavação mecânica. Picareta, pá de corte, carriola, pá de carga, etc. em caso de escavação manual. Betoneira ou caixa para preparo de concreto
Tubulação de saída do Biogás	Tubulação em PVC: Tubo PVC 20 mm soldável. Joelho 90° 20 mm PVC soldável.	Serviços: Instalação das peças.	Equipamentos: Lixa. Serrinha.

Fonte: Adaptado de Alves, 2017.

2.3.6 Triturador

Os resíduos sólidos orgânicos muitas vezes são constituídos de partículas grosseiras, e para a devida digestão de todos os resíduos contidos no Biodigestor é necessário que os mesmos estejam em pedacinhos bem pequenos para não haver entupimento e danos no Biodigestor e uma boa eficiência na produção do Biogás. Para isso é indicada a introdução de um triturador antes do sistema de biodigestão, pois deteriorar os resíduos sólidos orgânicos mais grosseiros em pequenas partículas irá facilitar na fermentação e conseqüentemente a homogeneidade dos materiais inseridos no Biodigestor (RECOLAST, 201?).

2.4 Biomassa e o Biogás

A biomassa é toda a matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, usada para produzir energia originada a partir da decomposição de recursos renováveis. Ela apresenta um grande campo com as mais diversificadas finalidades, podendo ser utilizada como matéria-prima ou combustível, pode ser adquirida de resíduos orgânicos, dentre eles estão: resíduos agrícolas, urbanos e industriais, em vegetais não-lenhosos e lenhosos. Atualmente a utilização da biomassa como fonte matriz energética está sendo inserida em vários países, pois é uma tecnologia capaz de produzir uma fonte de energia renovável e de baixo custo, o Biogás, ainda podendo ser aproveitado os resíduos como biofertilizantes (ANEEL, 2002).

Com a possível escassez da matéria-prima dos combustíveis fósseis pelas constantes explorações, o uso da biomassa se torna uma grande opção como fonte energética (BARCA, 2020). Dos diversos motivos para o incentivo e o uso da biomassa e principalmente na geração de energia elétrica é por ela ser menos agressiva ao meio ambiente. Pode-se atribuir diversas vantagens a geração de eletricidade por meio da biomassa como: uma energia limpa com menos impactos ao meio ambiente, uma energia adaptável a oferta/demanda, barata, com menos riscos de corrosão a equipamentos e com grande possibilidade de geração de empregos no âmbito rural.

Com as diversas quantidades de resíduos sólidos presentes na produção do Biogás é de suma importância não deixar de lado a produção do chorume, que é um líquido de cor escura produzido a partir da composição das substâncias contidas nos resíduos sólidos, que apresentam grande carga orgânica (ABNT, 1992). É composto por altas concentrações de metais pesados e substâncias tóxicas, por isso é necessário que se tenha um grande cuidado no seu descarte, pois o contato dessas substâncias com o solo é capaz de poluir afetando até os lençóis freáticos. É necessário que haja um tratamento adequado do chorume, como, por

exemplo, o Tratamento Biológico, o Tratamento por Oxidação ou o Tratamento Químico (SOUSA *et al*, 2015). Portanto, é necessário que ao construir um Biodigestor seja adicionado à estrutura um tanque para onde será direcionado o chorume coletado.

Rotineiramente são feitos descartes de diversos lixos orgânicos com grande potencial energético para a produção do Biogás, tanto nos setores industriais, quanto em setores domésticos. Como, por exemplo, os restos de alimentos de casas, restaurantes, feiras livres e dentre outros ramos alimentícios. Outra forma de obtermos o Biogás é através da madeira e seus derivados como: galhos, cascas de árvores e serragem. Entre outros materiais temos os resíduos industriais como os grãos de café e sementes de uva. Com todos os resíduos orgânicos necessários para a produção de energia é possível dar início ao processo, utilizando algumas etapas que serão citadas no **Tópico 2.4.1**.

2.4.1 Utilização da biomassa para a produção de energia

A necessidade de buscar novas fontes de energia que não contribuam para o efeito estufa e por consequência para o aquecimento global é de interesse mundial, tanto que diversos países estão se mobilizando para criar e cumprir metas para os próximos anos direcionada nessa questão, sendo o combate dos impactos das fontes de energias não renováveis ao meio ambiente, um dos elementos fundamentais (OLIVEIRA, 2021).

Um dos exemplos é o próprio Brasil, que através do Ministério de Minas e Energia (MME) e com a sanção do presidente da república, foi publicado no Diário Oficial da União (DOU), em 8 de outubro de 2021, um despacho que prevê metas para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis (ALBUQUERQUE, 2021). Esta resolução também se expande para o âmbito RenovaBio, política Nacional de Biocombustíveis (NASCIMENTO, 2021).

Devido a esta corrida em busca da sustentabilidade energética, a biomassa pode ser uma alternativa muito viável. “Do ponto de vista energético, a biomassa é toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia” (ANEEL, 2002, p.69). A biomassa representa cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Esse índice é superior ao do carvão mineral e similar ao do gás natural e ao da eletricidade. Nos países em desenvolvimento, essa parcela aumenta para 34%, chegando a 60% na África (ANEEL, 2002).

A biomassa não tem capacidade em se transformar em energia como o Biogás, por conta própria, por isso é necessário alguns processos que auxiliam neste aproveitamento da mesma, como a combustão direta, processos termoquímicos e os processos biológicos, sendo este o responsável por uma das etapas fundamentais que ocorrem nos Biodigestores, para a produção do Biogás, a digestão anaeróbia (ANEEL, 2002).

Segundo a ANEEL 2002, para transformar a biomassa em outro combustível energético os principais processos utilizados são caracterizados da seguinte forma:

- Combustão direta, transformação da energia química dos combustíveis em calor, através das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido.
- Gaseificação, converte os combustíveis sólidos em gasoso, a partir das reações termoquímicas, com a junção de dois elementos, vapor quente e ar ou oxigênio, e o produto resultante sofre influência do elemento usado, que por sinal o resultado deste processo é a mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e em um ambiente controlado é possível gerar o gás sintético.
- Pirólise:

É o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na "quase-ausência" de ar, até que o material volátil seja retirado (ANEEL, 2002, p. 55).

- Digestão anaeróbia, este tópico merece uma atenção em especial, justamente por ser comumente utilizado nos Biodigestores para a produção do Biogás.

A digestão anaeróbia é um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual populações bacterianas consorciadas interagem estreitamente para promover complexas reações bioquímicas, sequenciais, que sob a ação de microrganismos decompõem a matéria orgânica, estabilizando-a por seus processos metabólicos, de fermentação e respiração (NAZARO, 2016, p.10).

No processo da digestão anaeróbia alguns fatores influenciam na eficiência do produto final (Biogás). De acordo com os autores, Arruda, *et al.* (2002), Kunz, Steinmetz e Amaral (2019) e Metz (2013) esses fatores são:

- Composição da matéria orgânica: A quantidade de concentração do material orgânico no resíduo influencia no potencial de geração do metano, o principal elemento que forma o Biogás. Existe outra relação para a formação do Biogás, que é a de carbono

para nitrogênio entre 20:1 e 30:1, evitando situações como a formação de compostos nitrogenados apresentando uma má produção de Biogás.

- Teor de água: Deve haver um equilíbrio na quantidade do teor de água colocado no processo, pois o seu excesso representa um mau funcionamento no processo de hidrólise e a escassez da mesma acarreta entupimentos nos dutos de carga do Biodigestor, para evitar estes tipos de problema é que se estabeleceu uma relação de diluição de água para o substrato.
- pH: Não existe um pH ideal para que essas bactérias atuem, porém, é recomendado que ele esteja entre 6,7 e 8,5. Para um maior rendimento da biodigestão um pH abaixo de 6,6 ocasiona uma inibição do crescimento das arqueas metanogênicas, mas as bactérias acidogênicas continuam suas funções até pH 4,5, acumulando rapidamente ácidos voláteis, o que pode indicar sobrecarga ou inibição microbiológica.
- Temperatura: Assim como em outros processos químicos como a passagem da água do estado líquido para gasoso, a temperatura é de extrema importância, e nas atividades enzimáticas não difere, pois a temperatura numa faixa ideal para a biodigestão deve ficar em torno de 35 °C a 45 °C, garantindo o equilíbrio nas culturas, por exemplo, as das bactérias que formam o metano, pois numa variação abrupta de temperatura pode causar um desequilíbrio e por isso muitos dos modelos de Biodigestores são enterrados no solo para conter a variação da mesma. Lembrando que existe uma faixa de temperatura “ideal”, pois depende do tipo de bactéria, existe aquela que deve ser evitada, pois em torno de 10 °C há uma redução na atividade enzimática das bactérias e acima de 65 °C as bactérias são destruídas. O tempo de retenção da biomassa dentro de um Biodigestor demora entre 30 a 45 dias para a formação do Biogás, contudo esse tempo pode ser variável, além disto não necessariamente precisa esperar o número “mínimo” de dias (30 dias), pois existem situações que a formação do produto, já é percebido em uma semana, em menor escala.
- Concentração de sólidos voláteis: A relação entre matéria orgânica e a geração do metano também se estende para a concentração dos sólidos voláteis da biomassa e a produção do Biogás (FILHO, 1981).

O processo da digestão anaeróbia acontece em quatro fases, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, segundo Nazaro (2016) essas etapas são descritas da seguinte forma:

- Hidrólise: As partículas de matéria orgânica complexa, insolúvel, são transformadas em matérias mais simples, mais solúveis, a exemplo das gorduras, pois atravessam as paredes celulares dos microrganismos. Este processo acontece com exoenzimas. Esta fase é conhecida como fase sólida.
- Acidogênese: É a fase onde o resultado da hidrólise é metabolizado no interior das células acidogênicas que são produzidas grandes e diversos grupos de bactérias fermentativas, convertida em compostos simples, excretados pela célula das bactérias, podendo ser os ácidos graxos voláteis, os principais produtos do organismo fermentativo, servindo como base de consumo das acetogênicas.
- Acetogênese: Nesta fase as bactérias da digestão são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase anterior, produzindo ácidos orgânicos a partir da ação das bactérias sintróficas acetogênicas e o produto gerado será substrato básico das bactérias metanogênicas.
- Metanogênese: Esta etapa é a gasosa, o processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos, atuam nos produtos gerados na etapa atual e nas etapas anteriores, principalmente na arqueias metanogênicas e as arqueias metanogênicas acetoclásticas, produzindo o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂). E assim é o processo que acontece no interior dos Biodigestores, para a obtenção do Biogás a partir da biomassa.

2.5 Local de estudo

Santo Amaro é um município localizado na região Nordeste do Brasil, no Estado da Bahia, foi criado pela Província n.º 1.952 de 29/05/1880, ocupa uma área de 492,9 km². Situa-se a 75 km da capital, Salvador, a oeste da Baía de Todos os Santos, banhada pelo Rio Subaé. Sua principal rodovia de acesso é a BR-420. Em 1993 ocorreu uma divisão territorial no qual o município foi dividido em três distritos: Campinhos; Santo Amaro e Acupe.

A Instituição Brasilencorp Brencorp juntamente com o governo do município de Santo Amaro realizaram alguns estudos relacionados com os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da cidade. Nessas pesquisas foram selecionados dados como caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos, que permitiu o conhecimento dos diferentes tipos de resíduos produzidos pela cidade, fazendo triagem e separação dos seguintes grupos: matéria orgânica, papel e papelão, plástico mole, plástico duro, vidro, metais, perigosos/eletroeletrônicos, trapos/têxteis/couro, madeira, lixo sanitário e fralda. As amostras dos resíduos foram gerados

na zona urbana e rural do município, proveniente das coletas convencionais. A **Tabela 3** apresenta os dados dos resultados obtidos na composição gravimétrica de Santo Amaro.

Tabela 3: Resultado do estudo gravimétrico de RSU no Município de Santo Amaro.

Tipo de material	Amostra Área Urbana (%)	Amostra Distrito (%)
Matéria orgânica	52,03	24,05
Papel/Papelão	11,80	11,28
Plástico Mole	7,46	8,63
Plástico Duro	6,27	15,91
Vidro	2,53	5,55
Multicamadas(“Tetra-Pak”)	0,87	1,39
Metais	1,69	7,36
Perigosos/Eletrônicos	0,11	10,03
Tropos/Têxteis/Couro	3,30	3,92
Lixo Sanitário/Fralda	13,93	11,89
Madeira	-	-
TOTAL	100	100

Fonte: BRASILENCORP/ BRENCORP *apud* PLANO, 202?.

A partir da análise desses resultados é possível observar que os resíduos mais gerados pela cidade são os orgânicos, que representam 52,03% da amostra da área urbana e 24,05% a área rural. Há uma grande diferença nesses números, pois o reaproveitamento das matérias orgânicas no meio rural são maiores que no âmbito urbano.

Em 2017, o município teve a última versão publicada do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, onde segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a massa coletada per capita em relação à população total era de 4,18 kg/hab*dia, o que totalizava uma coleta diária de Resíduos Sólidos Urbanos de 249 t/dia. Foi observado que tais números eram cinco vezes maiores do que os valores informados nos levantamentos recentes. A partir das divergências dos números informados foram utilizadas as

informações mais recentes para os cálculos, que foi de 0,9 kg/hab*dia, o que totalizou 46,0 t/dia, sendo 35,7 t/dia da população urbana e 10,4 t/dia da população rural (PLANO, 202?).

A coleta e descarte dos resíduos produzidos pela cidade de Santo Amaro e seus distritos são realizados por uma empresa terceirizada contratada pela prefeitura. Coleta essa que segundo os moradores é realizada de maneira indevida, pois todos os resíduos são transportados em um mesmo veículo e descartados em um mesmo local, o aterro sanitário da cidade, mais conhecido como lixão, que está localizado à margem da BR-420. Todos os resíduos direcionados para o “lixão” não passa por devido tratamento, não há uma separação de resíduos orgânicos e inorgânicos, ficam expostos e provocam fortes odores na região.

Em razão deste problema apresentado, faz-se necessário o desenvolvimento de ações que incentivem a resolução destes problemas, tendo-se como uma alternativa sugerida a coleta seletiva, associada à reciclagem e utilização de Biodigestor, para onde deve ser destinada a maior parcela de lixo gerado no município.

2.6 Biofertilizantes

Segundo Stuchi (2015), biofertilizante é um adubo orgânico que apresenta em sua composição organismos e nutrientes que ajudam na saúde das plantas, tornando-as mais saudáveis e resistentes às pragas e doenças. Este produto é produzido a partir do reaproveitamento de resíduos orgânicos, podendo ser feito de duas maneiras, de forma aeróbica e anaeróbica.

Os biofertilizantes apresentam diversas vantagens, sendo elas: produção de alimentos mais saudáveis, gera menos impactos ao meio ambiente, fortalece as plantas priorizando no combate às pragas, é de baixo custo, agrega mais fertilidade ao solo, utiliza matérias-primas e principalmente pode se tornar uma fonte de renda (STUCHI, 2015).

Neste trabalho o biofertilizante será produzido de forma anaeróbia proveniente dos resíduos orgânicos gerados pela população de Santo Amaro. Diante das muitas alternativas de descartes deste produto, foi notado a viabilidade de disponibilizar os biofertilizantes, produzidos pelo Biodigestor proposto, para as famílias da cidade que sobrevivem da agricultura familiar.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E METODOLOGIA

O presente trabalho tem como base principal pesquisas bibliográficas, com aprofundamentos teóricos através de artigos, livros, monografias e trabalhos acadêmicos. Foi necessária a realização de pesquisas aprofundadas relacionadas ao funcionamento de Biodigestores, seus tipos, com abordagem desde a história até construção dos mesmos, onde são aplicados, quais os materiais mais comuns para usar na produção da biomassa em cada modelo. Os processos envolvidos para a obtenção da energia, como o Biogás, a partir da decomposição dos resíduos orgânicos (biomassa), e quais fatores externos, como a temperatura, podem influenciar no produto final que se deseja.

Foi realizado um levantamento dos impactos dos Biodigestores em três esferas, a econômica, social e ambiental. Os aspectos econômicos compreendem a rentabilidade de quem opta pela sua implementação, visando demonstrar relação entre custo e benefício no bolso do consumidor em comparação aos outros métodos de produção do Biogás a partir da biomassa. Os aspectos sociais têm em vista compreender como a utilização dos Biodigestores, pode contribuir para a sociedade, a exemplo da democratização do acesso aos biocombustíveis. Os aspectos ambientais, visam ter um panorama de como a implementação dos Biodigestores podem contribuir para a diminuição dos impactos ambientais comparado às demais fontes de energia convencionais. A partir destas pesquisas foi escolhido o modelo mais adequado para a situação problema da cidade de Santo Amaro, o Biodigestor canadense, tanto pelo seu custo benefício quanto pela quantidade de resíduo orgânico produzido na cidade. Para adquirir informações relacionadas a quantidade de resíduo orgânico produzido na cidade de Santo Amaro, integrantes da equipe foram à Secretaria de Obras e de Meio Ambiente da cidade, pois tais informações não se encontram disponibilizadas em outros meios.

Tendo posse de todas essas informações, a próxima etapa foi estabelecer os caminhos que serão seguidos para estimarmos a proporção do Biodigestor canadense, de maneira em que atenda à quantidade de resíduos orgânicos gerados pela população da cidade de Santo Amaro-BA diariamente.

3.1 Dimensionamento do Biodigestor Canadense

Segundo Junqueira (2014) para a implantação do Biodigestor canadense alguns parâmetros têm que ser analisados para a escolha do local, como a facilidade de transporte dos resíduos orgânicos que será depositada no Biodigestor, bem como a sua remoção após a digestão em forma de biofertilizante e a distância para a utilização do Biogás, já que o Biogás produzido, possui pouca pressão, que acaba por inviabilizar o transporte do mesmo por longas distâncias sem ajuda de dispositivos que auxiliam no aumento da pressão, tanto que o Biogás pode ser transportado por no máximo 50 metros, mas para uma maior otimização no processo é recomendado que o Biodigestor seja colocado a pelo menos 10 metros de quaisquer edificações.

Baseado nos estudos de Barrera (1993), Dongala (2010) cita que a depender do intuito o tempo de retenção pode variar entre 10 a 20 dias para a produção do Biogás, de 50 a 60 dias para produção do biofertilizante e 30 dias para a produção de Biogás e biofertilizante. Embora o autor também cita que as empresas nacionais que trabalham com projetos de Biodigestores, adotam um tempo de retenção hidráulica de 22 a 30 dias. A lagoa de sedimentação ou caixa de saída, que servirá de armazenamento dos efluentes, tem dimensão volumétrica baseada no volume do Biodigestor, logo se conclui que o volume da caixa sedimentadora é a mesma do volume do Biodigestor (DONGALA, 2010).

As porcentagens de Sólidos voláteis apresentados no **Tópico 2.3.4**, se encaixaria perfeitamente à proposta do trabalho, todavia em razão da falta de informações detalhadas sobre os resíduos orgânicos, da ausência de coleta seletiva na cidade de Santo Amaro-BA, de maneira em que se pudessem ser averiguados e caracterizados os tipos de materiais orgânicos presentes nos 20.799 kg/dia coletados e direcionados para o aterro da cidade, para desenvolver uma proposta de reaproveitamento mais adequada aos tipos de resíduos orgânicos. Foi decidido estabelecer o percentual de sólidos voláteis que será tomado como referência a média de SV de material orgânico, de diferentes aterros sanitários, como é demonstrado na **Tabela 4**, variando entre 49,7 e 69,4, com uma média de 58,8% de SV.

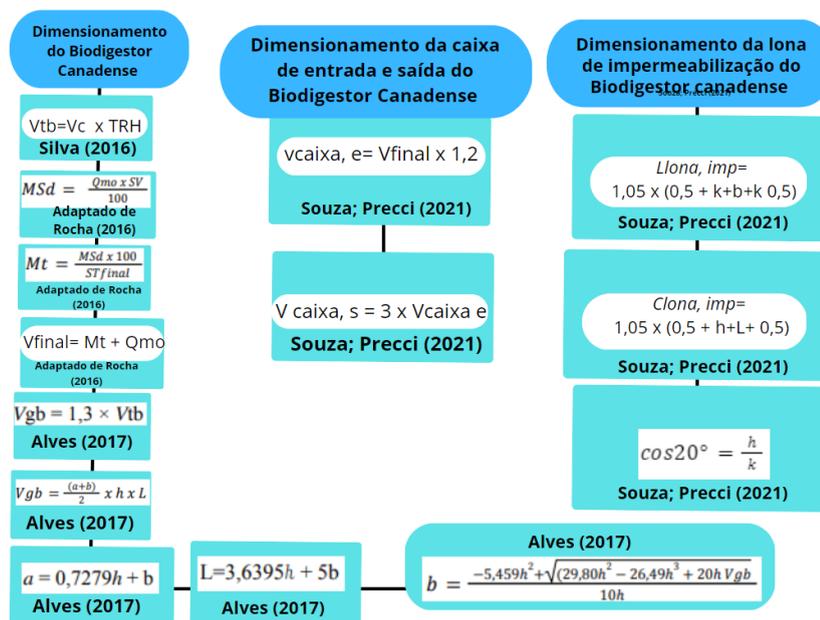
Tabela 4: Média de valores de SV encontrados na literatura para lixões e Aterros Sanitários.

Autor	Local	SV(%)
Oliveira (2011)	Aterro Sanitário Integrado De Cruz Das Almas-BA	49,7
Machado e outros (2009)	Aterro Metropolitano Centro (Salvador)	57,9
Maciel e outros (2009)	Aterro da Muribeca(PE)	50,9
Leite e outros (2002)	Lixão da Paraíba	69
Teixeira e outros (2009)	Caxias do Sul (RS)	69,4
Santos (2011)	Aterro Metropolitano de Salvador	56,2
Média		58,8

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011).

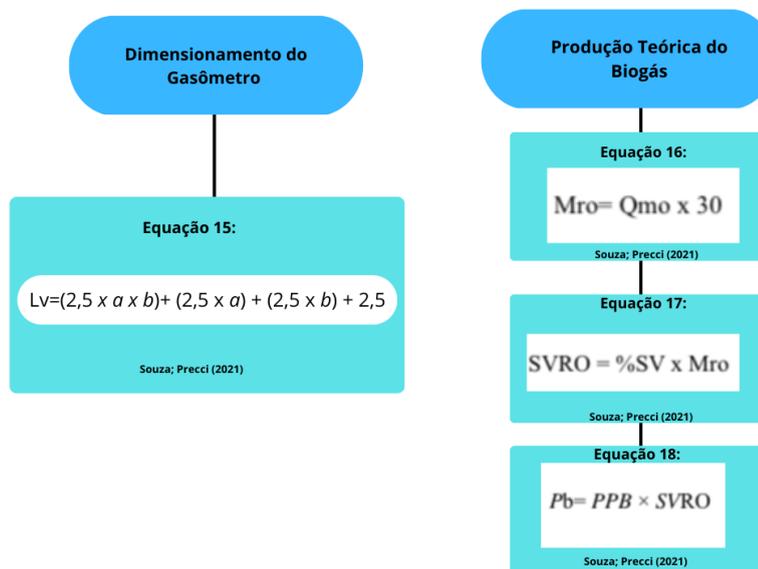
Para fazer o detalhamento das dimensões do Biodigestor Canadense, que melhor atenderá a população de Santo Amaro, foram consultados diferentes autores na literatura que expressam os equacionamentos necessários, para alcançar tais objetivos, os autores foram Alves (2017), Rocha (2016), Silva (2016) e Souza, Precci (2021). Nas **Figura 8 e 9**, são indicadas as contribuições de cada autor nos equacionamentos matemáticos expostos na esquematização a seguir.

Figura 8: Parte 1 da esquematização das equações referenciadas que foram usadas no presente trabalho.



Fonte: Autoral.

Figura 9: Parte 2 da esquematização das equações referenciadas que foram usadas no presente trabalho.



Fonte: Autoral.

No trabalho de Silva (2016) sobre o “Estudo da viabilidade de implementação de um Biodigestor para a produção de energia elétrica em uma granja suína a ser construída na fazenda Bom Jesus - Município de Sítio Novo do Tocantins”, ele utilizou alguns cálculos para

obter algumas estimativas relacionadas ao tamanho do Biodigestor tais como: a equação que dimensiona o volume do Biodigestor, através do produto do (V_c) -Volume da carga diária (água+ resíduo orgânico) pelo TRH - tempo de retenção Hidráulica (dias), conforme a **Equação 1** (SILVA, 2016).

$$\text{Equação 1: } V_{tb} = V_c \times \text{TRH}$$

Já que o V_c depende da quantidade de água e dos resíduos orgânicos, foi necessário estabelecer a quantidade de água necessário, de modo que o substrato final contenha 2% de sólidos totais, com isso foi utilizado a **Equação 2**, para identificar a massa de sólidos totais presente no substrato gerando diariamente pela coleta de lixos orgânicos de Santo Amaro.

$$\text{Equação 2: } MSd = \frac{Q_{mo} \times SV}{100}$$

MSd = Massa de sólidos totais do substrato diária (kg/dia).

SV = Porcentagem de sólidos voláteis do substrato (%).

Q_{mo} = Quantidade de matéria orgânica coletada diariamente.

Após calcular a Massa de Sólidos totais do substrato diária (MSd), calcula-se a massa de solução final (MH_2O), em kgH_2O/dia , com vista em estabelecer a concentração recomendada de sólidos totais de 2% que irá para o Biodigestor Canadense. Para isso foi utilizado a **Equação 3**.

$$\text{Equação 3: } M_t = \frac{MSd \times 100}{ST_{final}}$$

Em que:

M_t = Massa total de alimentação diária (kg/dia)

ST_{final} = 2% de sólidos total final.

Após encontrar a quantidade resíduos que devem ser adicionados no Biodigestor diariamente, é necessário estabelecer, a quantidade de água presente no M_t , através do peso e do volume da água a ser adicionada na câmara de digestão, considerando a densidade da água

de 1000 kg/m³, assim como recomenda Rocha (2016). Com isso foi realizado os sucessivos equacionamentos a seguir.

$$\text{Equação 4: } V_{final} = Mt + Qmo$$

Volume da água será = $V_{final} = 1$

O dimensionamento da câmara do Biodigestor canadense é baseado no tempo de carregamento (Tc) conforme o TRH estabelecido para o projeto. Para a digestão de resíduos orgânicos, o valor encontrado na literatura para o TRH é de aproximadamente de 30 dias.

Assim, o volume total da câmara do Biodigestor (Vtb) será obtido através da **Equação 1**.

De acordo com Alves (2017), com o volume total da câmara de Biodigestor é possível determinar o volume geométrico da câmara (Vgb) baseado na **Equação 5**. Para garantir uma maior segurança, Bartholomeu *apud* Souza; Precci (2021) recomenda que o volume geométrico de instalação deve ser 30% maior que o volume total calculado do Biodigestor.

$$\text{Equação 5 : } Vgb = 1,3 \times Vtb$$

Vgb = Volume geométrico da câmara de digestão (m³)

Vtb= Volume do Biodigestor (m³)

Após a realização do equacionamento que fornece a informação do volume geométrico da câmara de digestão, se faz necessário estabelecer as dimensões gerais da câmara principal do Biodigestor canadense, representado na **Figura 9** que serão, o comprimento do Biodigestor, a largura da base maior do trapézio (a), a largura da base menor do trapézio (b) e a altura do trapézio (h). Para isto se tem a **Equação 6**, pois a partir dela será possível desmembrar e achar as incógnitas (dimensões), que se deseja.

$$\text{Equação 6: } Vgb = \frac{(a+b)}{2} \times h \times L$$

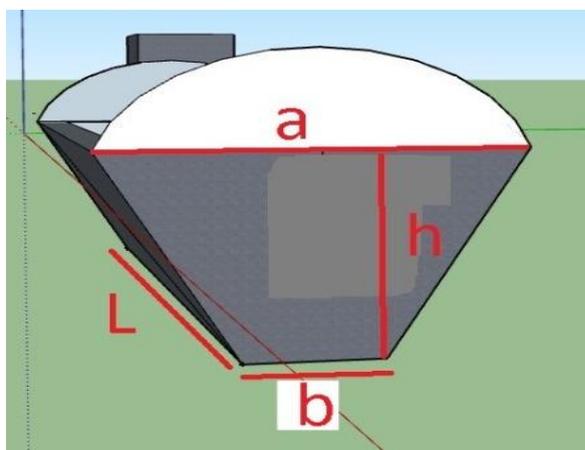
L= Comprimento do Biodigestor (m);

a = Largura da base maior do trapézio (m);

b = Largura da base menor do trapézio (m);

h = Altura do trapézio (m);

Figura 10: Vista frontal das dimensões gerais do Biodigestor Canadense.



Fonte: Autoral.

Para fazer as derivações desta fórmula apresentada acima, o ângulo de inclinação das paredes foi considerado em 110° , sendo uma recomendação de Alves (2017). Com isto o ângulo alfa (α), será de 20° , pois a subtração do ângulo de referência (inclinação) pelo ângulo reto de 90° , resultará no ângulo alfa. E a relação do comprimento e largura será de 1:5, pois de acordo com Feiden *et al* (2004) esta é uma relação típica para os Biodigestores canadense, já que é conveniente adotar uma relação igual ou superior a indicada.

Em relação à altura (h) ideal para o Biodigestor que se deseja projetar, Alves (2017) indica que deve ser baseada nos valores de referências elencados na **Tabela 5**, onde o volume do Biodigestor é determinante para estimarmos uma altura recomendada.

Tabela 5: Altura ideal para cada faixa de volume do Biodigestor Canadense.

Volume do Biodigestor (m ³)	Altura ideal (m)
Até 100	1,5
Entre 100 e 500	2,5
Entre 500 e 2000	3,5
Acima 2000	4,5

Fonte: Alves (2017).

Diante das informações apresentadas e das correlações, para se determinar as incógnitas, a, b e L que são a largura da base maior e da base menor do trapézio e o comprimento do Biodigestor, serão utilizadas as respectivas **Equações 7, 8, 9**.

$$\text{Equação 7: } \tan 20^\circ = \frac{(a-b)x h}{2} = a = 0,7279h + b$$

$$\text{Equação 8: } L=5(0,7279h + b)= L=3,6395h + 5b$$

$$\text{Equação 9: } b = \frac{-5,459h^2 + \sqrt{(29,80h^2 - 26,49h^3 + 20h Vgb)}}{10h}$$

3.1.1 Dimensionamento das caixas de entrada e saída do Biodigestor canadense.

Para fazer o dimensionamento da caixa de entrada e saída, representados na **Figura 11**, alguns requisitos pré-estabelecidos devem ser seguidos, pois, segundo Alves (2017), a caixa de entrada deve possuir um volume 20% maior que a quantidade de resíduos orgânicos coletados, já em relação à caixa de saída, a mesma deve ser três vezes maior que o volume da caixa de entrada para evitar vazamento do fluido. Segundo Souza; Precci (2021), a altura de ambas as caixas devem possuir 1 m, e os formatos característicos das mesmas é de um quadrado, e o projeto de construção das caixas devem seguir as **Equações 10 e 11**, respectivamente:

Equação 10: $V_{caixa, e} = V_{final} \times 1,2 = h_{caixa, e} \times (L_{caixa, e})^2$

Equação 11: $V_{caixa, s} = 3 \times V_{caixa, e} = h_{caixa, s} \times (L_{caixa, s})^2$

$V_{caixa, e}$ = Volume de caixa de entrada (m³)

V_{final} = Volume de resíduo orgânico diário (m³)

$h_{caixa, e}$ = Altura da caixa de entrada (m);

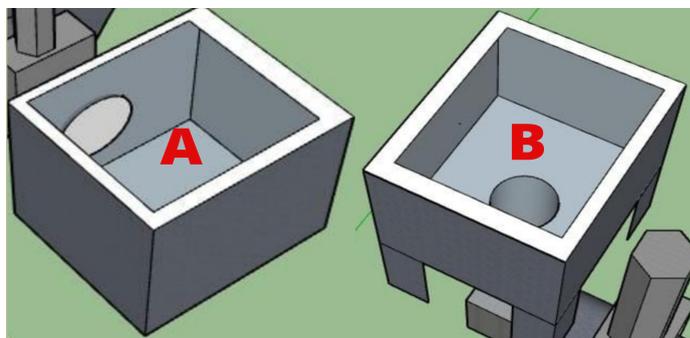
$L_{caixa, e}$ = Comprimento da caixa de entrada (m);

$V_{caixa, s}$ = Volume da caixa de saída (m³)

$h_{caixa, s}$ = Altura da caixa de saída (m);

$L_{caixa, s}$ = Comprimento da caixa de saída (m)

Figura 11: Representação genérica em 3D da caixa de saída (A) e entrada (B).



Fonte: Autoral.

Em relação à instalação da caixa de entrada dos resíduos orgânicos e de saída do mesmo, a organização Diaconia (2015), fez um estudo demonstrando o passo a passo da construção de um Biodigestor, trazendo recomendações de alguns procedimentos que podem ser adotados, por exemplo, em relação à caixa de entrada, o piso da caixa (fundo) deve estar numa altura corresponde a 20 centímetro acima do nível da borda do Biodigestor, o cano de PVC, que vai ser o meio onde os resíduos irão passar até a câmara de digestão, têm o comprimento de 3 metros. Contudo, depende das dimensões do Biodigestor, a altura do cano de PVC, tem que ser de 30 centímetros em relação ao fundo da caixa de entrada. Já em relação à caixa de saída, a organização optou por colocar duas caixas de saída, uma servindo

para receber o biofertilizante vindo do Biodigestor, e a tubulação fica na borda da mesma, e a outra é acoplada na primeira caixa de saída, construída a 15 centímetros abaixo da primeira caixa, servindo de armazenamento de líquidos presente no biofertilizante.

3.1.2 Dimensionamento da lona de impermeabilização do Biodigestor Canadense.

Como foi mencionado anteriormente, o Biodigestor canadense é composto por uma lona de PVC ou PEAD que irá fazer a impermeabilização da câmara de digestão. O dimensionamento do componente citado, será baseado nas medidas da câmara de digestão encontrada anteriormente na **Equação 7, 8 e 9**. Para que se possa obter a área em m² da lona de impermeabilização.

A medida da lateral da lona de impermeabilização e do comprimento é dimensionado através das respectivas equações:

$$\text{Equação 12: } L_{lona,imp} = 1,05 \times (0,5 + k + b + k + 0,5)$$

$$\text{Equação 13: } Cl_{lona,imp} = 1,05 \times (0,5 + h + L + h + 0,5)$$

O valor da incógnita k das equações anteriores é encontrado por meio da **Equação 14**, tendo o ângulo igual a 20°, e o valor de 0,5 m adotado se refere ao excedente que a lona deverá ter em seu comprimento, de maneira que se possa fazer a fixação ou amarração da mesma e o valor de 1,05 é uma medida de segurança trazida por Souza e Precci (2021), para não haver dilatações ou contrações da lona.

$$\text{Equação 14: } \cos 20^\circ = \frac{h}{k}$$

3.1.3 Dimensionamento do Gasômetro

Para dimensionar a metragem da lona que ficará na parte superior da câmara de digestão, servindo como armazenamento do Biogás durante o processo de digestão anaeróbia, é necessário realizar a **Equação 15**, de modo a obter a área do gasômetro (m²).

$$\text{Equação 15: } L_v = (2,5 \times a \times b) + (2,5 \times a) + (2,5 \times b) + 2,5$$

Em que:

L_v = Lona de vedação (m²)

3.2 Produção Teórica de Biogás

Embora o presente trabalho não visa a construção de um protótipo do Biodigestor canadense, é possível estimar a produção teórica do Biogás a partir de algumas relações e fatores que serão discutidos a seguir.

Primeiramente é preciso estabelecer a quantidade de resíduos orgânicos coletados mensalmente em quilogramas. “Caso a quantidade fornecida seja em litros, precisaremos converter em quilograma a partir da densidade dos resíduos sólidos orgânicos”(SOUZA; PRECCI, 2021, p.22). Para isso é necessário utilizar a **Equação 16**.

$$\text{Equação 16: } M_{ro} = Q_{mo} \times 30$$

M_{ro} = Massa de resíduos orgânicos (kg/mês)

Q_{mo} = Quantidade de matéria orgânica coletada

A próxima etapa, após encontrar o resultado da massa de resíduos orgânicos, é verificar a quantidade de sólidos voláteis (SVRO), contidas no M_{ro} (SOUZA; PRECCI, 2021). Com isso o SVRO é obtido pela **Equação 17**.

$$\text{Equação 17: } SVRO = \%SV \times M_{ro}$$

SVRO = Quantidade de sólidos voláteis (kgSV/mês)

SV = Sólidos Voláteis do substrato (%)

Encontrada a quantidade de sólidos voláteis, é possível estabelecer produção teórica de Biogás a partir da **Equação 18**:

$$\text{Equação 18: } P_b = PPB \times SVRO$$

Onde:

P_b = Produção Teórica de Biogás

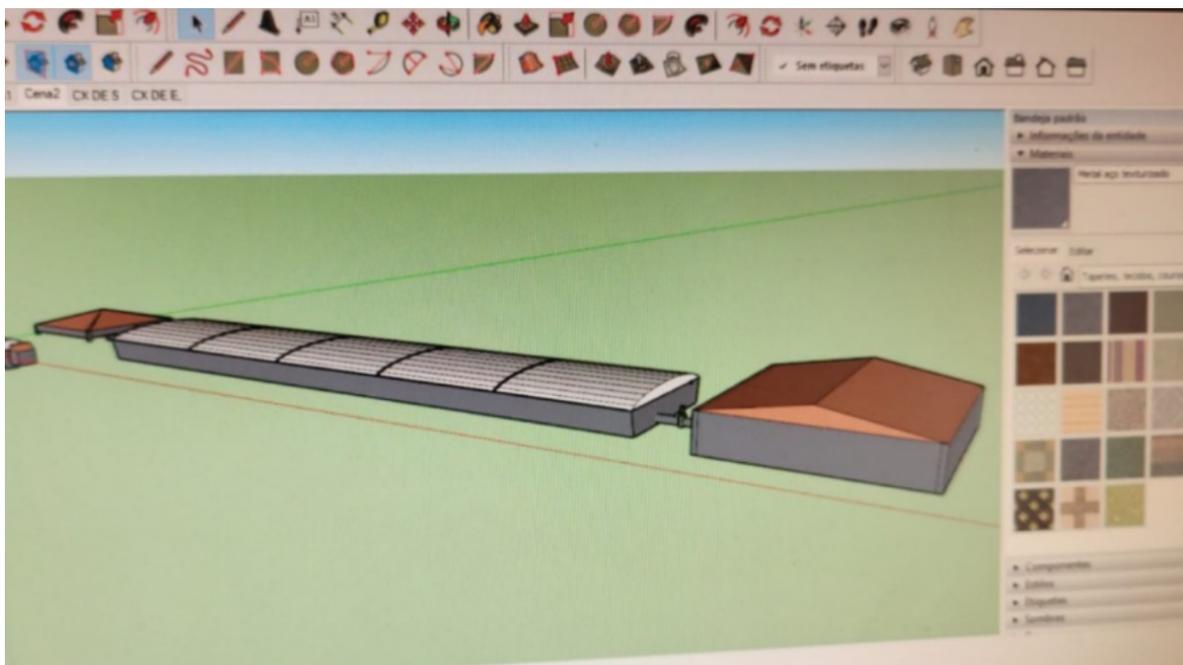
PPB = Potencial de produção de Biogás (Nm³.kgsv)

3.3 Software utilizado para fazer a Projeção em 3D do Biodigestor Canadense

O software SketchUp, representado na **Figura 12** foi o meio escolhido para a construção de um esquema representativo do Biodigestor em 3D, por ser um software de fácil manuseio e acesso. O modelo em 3D do Biodigestor é fundamental para uma apresentação coerente, já que são necessários dados como dimensionamento para ocupação de espaço e capacidade de produção, tendo em vista que foi optado por não construir um protótipo base.

Com o intuito de demonstrar uma imagem, com aspecto mais realista possível ao projeto já modelado, foram pesquisados alguns motores gráficos, sendo muito complicado devido a alguns softwares encontrados não tinham uma versão gratuita, porém foi possível encontrar o Twinmotion, que além de ser gratuito para uso, o seu manuseio é de imensa praticidade, o que facilitou a finalização de renderização do modelo 3D do Biodigestor.

Figura 12: Interface do SketchUp no momento de projeção do Biodigestor.



Fonte: Autoral.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para estimar os dados necessários que aponte a viabilidade do Biodigestor Canadense no município de Santo Amaro-BA, foram pesquisados na literatura projetos com propostas semelhantes, tanto no que abrange o Biodigestor em si, bem como ao local de estudos, mas com adaptações de maneira em que se possa ter a coleta de dados mais próxima possível da realidade vivida pela cidade, por seus habitantes e pelo tratamento dado às matérias orgânicas.

4.1 Caracterização do cenário atual dos resíduos orgânicos de Santo Amaro

Assim como apresentado na **Tabela 3**, a coleta de lixo, direcionada ao aterro da cidade, contém uma elevada porcentagem de matéria orgânica de 52,03% na área urbana e 24,05% no distrito (zona Rural) do município de Santo Amaro- BA. Assim como representado na **Tabela 6**, os valores em kg/d correspondente à essas porcentagens são de 18.552 kg/d e 2.247 kg/d totalizando 20.799 kg/d de matéria orgânica coletada diariamente em todo município, há de ressaltar novamente que não foi detectado nas pesquisas bibliográficas sobre a cidade de estudo, uma separação e identificação dos tipos de resíduos presente nesta matéria orgânica, de maneira que se pudesse traçar uma melhor estratégia de manejo e reaproveitamento para cada tipo de resíduo, que afetará algumas proposições do trabalho, como o potencial de Biogás gerado nos Biodigestores, assunto que será abordado no **Tópico 4.3**.

Tabela 6: Estimativa da composição gravimétrica de RSU no município de Santo Amaro.

Composição gravimétrica(1)		Área Urbana		Área Rural		Município
		%	kg/d	%	kg/d	kg/d
MO	Matéria orgânica	52,03	18.552	24,05	2.247	20.799
	Papel/Papelão	11,8	4.207	11,28	1.054	5.261
	Plástico Molé	7,46	2.660	8,63	806	3.466
	Plástico Duro	6,27	2.236	15,91	1.487	3.722
	Vidro	2,53	902	5,55	510	-
MRS	Multicamadas (“tetra-Pak)	0,87	310	1,39	130	440
	Metais	1,69	603	7,36	688	1290

Composição gravimétrica(1)	Área Urbana		Área Rural		Município	
	%	kg/d	%	kg/d	kg/d	
Total Mat. Reciclável Seco	30,62	10.918	50,12	4.683	15.601	
Rejeitos e outros	Perigosos/ Eletroeletrônicos	0,11	39	10,03	937	-
	Trapos/ Têxteis/ couro	3,3	1.177	3,92	366	1.543
	Resíduos Sanitários/Fralda	13,93	4.967	11,89	1.111	6.078
	Madeira	-	-	-	-	-
	Total Rejeitos e outros	17,34	6.183	25,84	2.414	8.597
Total	100	100	100	35.653	100	

Fonte: Brasilencorp/Brencorp *apud* PLANO, 202?

O valor adotado a respeito da quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente para iniciar os cálculos a partir das equações apresentadas na metodologia, foi de 20.799 kg/d. Entretanto, deve-se considerar alta quantidade de resíduos orgânicos coletados e a falta de algumas informações, como, por exemplo, a caracterização das quantidades e tipos de matérias orgânicas, como sendo potencial empecilho, já que não é possível determinar qual percentual de toda a matéria orgânica, de fato vai ser reaproveitada, pois nos 20.799 kg/d, pode conter, por exemplo, cadáveres de animais. Não sendo a proposta do presente trabalho aproveitamento desse tipo de matéria orgânica, pois do ponto de vista ético e social, julgado pelos autores do presente estudo, o Biodigestor, não é o lugar mais adequado para o depósito desse tipo de matéria orgânica.

Diante das questões apresentadas, e para dar maior viabilidade a proposta em questão, decidiu-se por realizar toda a execução da metodologia, baseada em duas dimensões, a primeira é baseada no reaproveitamento total dos resíduos orgânicos representando 100% da matéria orgânica coletada, de 20.799 kg/dia, e no reaproveitamento parcial dos resíduos orgânicos, considerando a metade do reaproveitamento total, tendo por assim 10.399,5 kg/dia, representando 50% da matéria orgânica coletada. Comumente no decorrer do trabalho, para elucidar essas relações feitas anteriormente, será encontrado expressões como reaproveitamento total ou 100%, e reaproveitamento parcial ou 50%.

4.2 Dimensionamento do Biodigestor canadense adequado a Santo Amaro

O teor de SV%, equivalente a 58,8%, foi adotado considerando a média calculada a partir dos resíduos orgânicos que chegam aos aterros reportados na **Tabela 4**, sendo assim o primeiro passo a se fazer é identificar a massa de sólidos totais do substrato diário (Msd). Para isso é preciso substituir as incógnitas da **Equação 2**.

$$Msd = \frac{20.799 \times 58,8}{100} = 12.229,812 \text{ kg/dia}$$

$$Msd (50\%) = \frac{10.399,5 \times 58,8}{100} = 6.114,906 \text{ kg/dia}$$

Com isso, a massa de sólidos totais do substrato encontrado é de 12.229,812 kg/dia para o reaproveitamento de 100% da matéria orgânica e de 6.114,906 kg/dia, representando 50% da matéria orgânica coletada.

A solução final, a massa total de alimentação diária (Mt) em quilograma por dia (kg/dia), para que a concentração de sólidos totais seja de 2% (ST *final*), será estabelecido a partir do resultado referente à massa dos sólidos totais. Tendo como base a **Equação 3**, utilizando os resultados para Msd e o Msd 50%.

$$Mt = \frac{12.229,812 \times 100}{2} = 611.490,6 \text{ kg/dia}$$

$$Mt(50\%) = \frac{6.114,906 \times 100}{2} = 305.745,3 \text{ kg/dia}$$

Após encontrar a quantidade de resíduos que devem ser adicionados no Biodigestor diariamente, tendo em vista que a densidade da água é de 1 kg/l (BRIGUIET, 2022), o volume diário de água necessário para que a matéria orgânica tenha a concentração desejada é de 611.490,6 l/dia, considerando o reaproveitamento total e de 305.745,3 l/dia para o reaproveitamento de 50% da matéria orgânica, com isso para estabelecer a volume final diário, é necessário converter a quantidade de matéria orgânica (Qmo/kg) em litros, considerando a densidade (D) do resíduo de 1.213 kg/m³ reportada por Luz (2019), após isso é somado o Mt e o Qmo em litro. Para converter a massa (m) em volume (V), é necessário fazer a **Equação 19** que é de conhecimento público e considerar que 1 (um) metro cúbico equivale a 1.000 (mil) litros.

$$\text{Equação 19: } D = \frac{m}{V}$$

$$1.213(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{20.799(\text{kg})}{V} = V = 17,147(\text{m}^3) = V = 17.147(\text{l})$$

$$1.213(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{10.399,5(\text{kg})}{V(50\%)} = V(50\%) = 8,573(\text{m}^3) = V(50\%) = 8.573(\text{l})$$

$$V_{\text{final}} = \text{peso da água} = 611.490,6 + 17.147 = 628.637,6 \text{ l/dia}$$

$$V_{\text{final}}(50\%) = \text{peso da água} = 305.745,3 + 8.573 = 314.318,3 \text{ l/dia}$$

Co isso o volume de água necessário, que vai ser direcionado ao Biodigestor para um reaproveitamento total da matéria orgânica, é de 628.637,6 l/dia, e para um reaproveitamento parcial da matéria orgânica é de 314.318,3 l/dia. Assim, os respectivos litros de água necessários, equivalem em aproximados 628,64 m³ e 314,32 m³ de água. Após encontrar o volume de água com dejetos necessário, se faz o cálculo para achar o volume total do Biodigestor como apresentado na **Equação 1**.

$$V_{\text{tb}} = 628,64 \times 30 = 18.859,2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tb}}(50\%) = 314,32 \times 30 = 9.429,6 \text{ m}^3$$

V_{tb} = Volume do Biodigestor (m³);

V_{final} = Volume final (m³)

TC = Tempo de carregamento (dia).

O volume total da câmara do Biodigestor será calculado pela **Equação 5**.

$$V_{\text{gb}} = 1,3 \times 18.859,2 = 24.516,96 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{gb}}(50\%) = 1,3 \times 9.429,6 \text{ m}^3 = 12.258,48 \text{ m}^3$$

A partir dos resultados do volume geométrico da câmara do Biodigestor, que foram 24.516,96 m³, considerando, 100% dos resíduos, e 12.258,48 m³, considerando, 50% dos resíduos, é necessário realizar as substituições dos correspondentes valores nas **Equações 7**,

8 e 9, para se determinar a comprimento do Biodigestor (L), a largura da base maior do trapézio (a), a largura da base menor do trapézio (b).

$$b = \frac{-5,459 \times 4,5^2 + \sqrt{29,80 \times 4,5^2 - 26,49 \times 4,5^3 + 20 \times 4,5 \times 24.516,96}}{10 \times 4,5} = 30,540m$$

$$b(50\%) = \frac{-5,459 \times 4,5^2 + \sqrt{29,80 \times 4,5^2 - 26,49 \times 4,5^3 + 20 \times 4,5 \times 12.258,48}}{10 \times 4,5} = 20,866m$$

$$a = 0,7279 \times 4,5 + 30,540 = 33,816m$$

$$a(50\%) = 0,7279 \times 4,5 + 20,866 = 24,142 m$$

$$L = 3,6395 \times 4,5 + 5 \times 30,540 = 169,078m$$

$$L(50\%) = 3,6395 \times 4,5 + 5 \times 20,866 = 120,708m$$

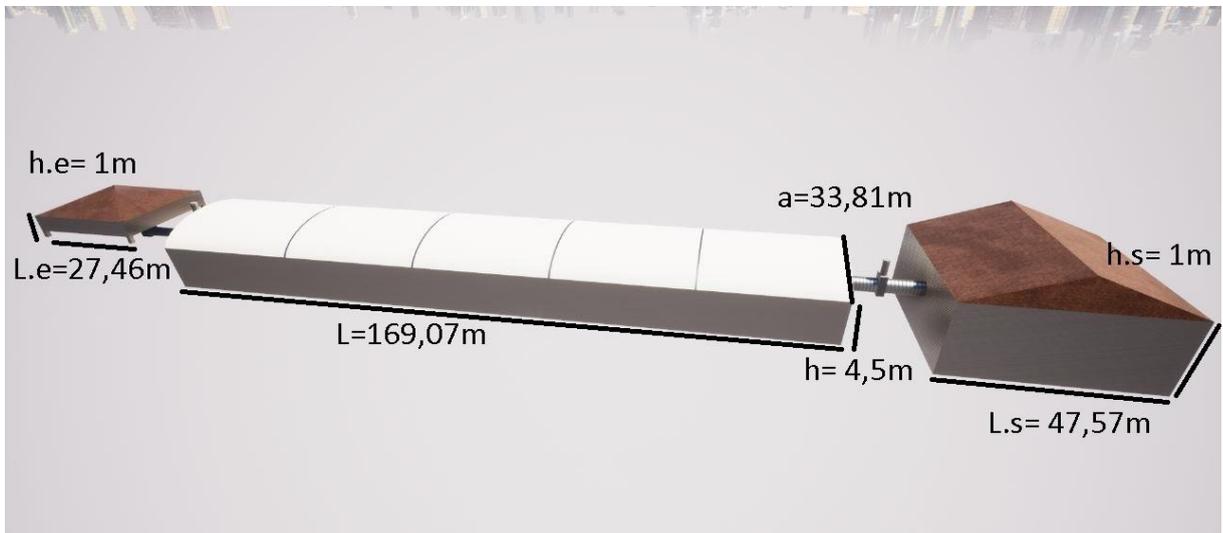
Diante dos resultados encontrados, tem-se para o Biodigestor com 100% de reaproveitamento dos resíduos, as seguintes dimensões, 30,540m para a base menor, 33,816m para a base maior e o comprimento de 169,078m, já para o Biodigestor de 50%, tem-se para as respectivas dimensões, às metragens de 20,866m; 24,142 m e 120,708m.

4.2.1 Determinação das dimensões referente às caixas de entrada e saída do Biodigestor canadense

A caixa de entrada terá o volume de 754,368 m³ e considerando a altura para ambas as caixas como sinalizado **Tópico 3.1.1**, deve ter a medidas de seus lados iguais a aproximados 27,466 m, e a caixa de saída deve ter o volume de 2.263,104 m³ e os seus respectivos lados iguais a aproximados 47,572m, com o reaproveitamento total de 100% dos resíduos orgânicos direcionados ao Biodigestor e com o reaproveitamento parcial de 50% dos resíduos orgânico encaminhado para o mesmo, a caixa de entrada terá o volume de 377,184 m³, com os respectivos lados iguais a 19,421m, e a caixa de saída terá o volume de 1.131,552 m³, com os respectivos lados iguais a 33,639m.

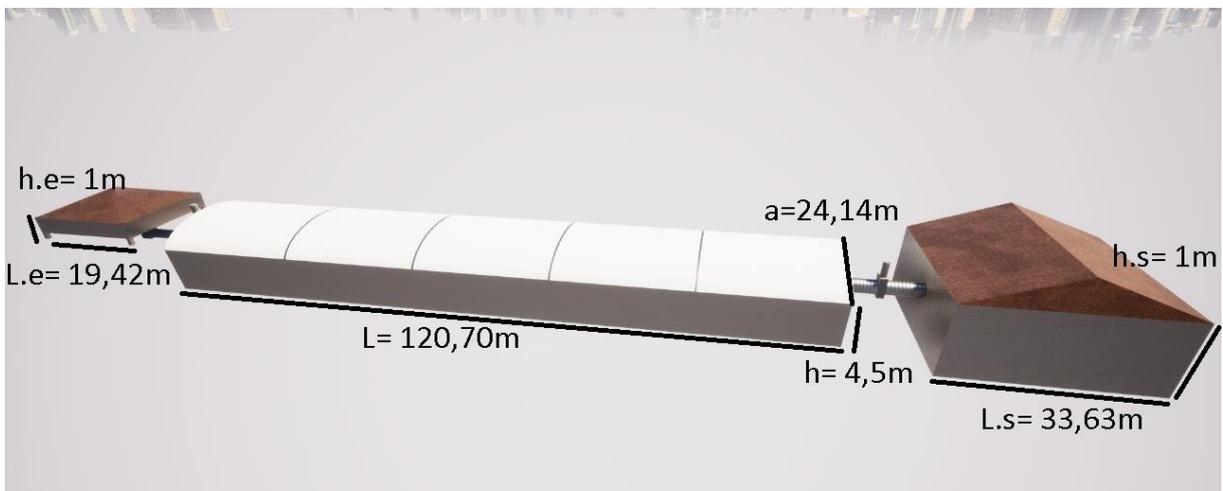
Essas dimensões realizadas podem ser observadas na **Figura 13** e **Figura 14**, representando respectivamente 100% do reaproveitamento total e 50% do reaproveitamento parcial.

Figura 13: Dimensionamento para o Biodigestor com reaproveitamento total da matéria orgânica.



Fonte: Autoral.

Figura 14: Dimensionamento para o Biodigestor com reaproveitamento parcial da matéria orgânica.



Fonte: Autoral.

4.2.2 Determinação das dimensões da lona de impermeabilização do Biodigestor canadense.

Para determinar a dimensão da lona de impermeabilização, tanto em relação ao reaproveitamento total dos resíduos orgânicos, bem como o reaproveitamento parcial de 50%

dos resíduos orgânicos, é necessário utilizar as **Equações 12, 13 e 14**, fazendo as substituições das incógnitas correspondentes.

$$\cos(20^\circ) = \frac{4,5}{k} = 4,79$$

$$L_{lona,imp} = 1,05 \times (0,5 + 4,79 + 30,540 + 4,79 + 0,5) = 43,176 \text{ m}$$

$$C_{lona,imp} = 1,05 \times (0,5 + 4,5 + 169,078 + 4,5 + 0,5) = 188,032 \text{ m}$$

$$L_{lona,imp(50\%)} = 1,05 \times (0,5 + 4,79 + 20,866 + 4,79 + 0,5) = 33,018 \text{ m}$$

$$C_{lona,imp(50\%)} = 1,05 \times (0,5 + 4,5 + 120,708 + 4,5 + 0,5) = 137,243 \text{ m}$$

Baseado nos cálculos acima, a lona de impermeabilização terá as seguintes dimensões, largura é de 43,176m e o comprimento de 188,032m, já a lona de impermeabilização para o reaproveitamento parcial dos resíduos orgânicos, terá a largura de 33,018 m e o comprimento de 137,243m.

4.2.3 Dimensionamento estimado do Gasômetro

Para realizar o dimensionamento do gasômetro são considerados, os resultados obtidos nas **Equações 7 e 8**, e a substituição das incógnitas correlacionadas da **Equação 15**.

$$LV = (2,5 \times 33,816 \times 30,540) + (2,5 \times 33,816) + (2,5 \times 30,540) + 2,5 = 2.745,242 \text{ m}^2$$

$$LV 50\% = (2,5 \times 24,142 \times 20,866) + (2,5 \times 24,142) + (2,5 \times 20,866) + 2,5 = 1.374,387 \text{ m}^2$$

Após a realização dos cálculos foi possível determinar a área (m²) do gasômetro, que para um aproveitamento de 100% (reaproveitamento total) da matéria orgânica tem-se um gasômetro com área de 2.745,242 m², e o gasômetro com 50% da matéria orgânica tem-se 1.374,387 m².

4.3 Produção Teórica de Biogás

Como foi apresentado na **Tabela 4**, a concentração média de SV identificados em alguns aterros é de 58,8%. Como mencionado no **Tópico 4.1**, a falta de informação a respeito da caracterização da matéria orgânica, afeta a realização da produção teórica de Biogás de maneira em que se possa ser prevista a produção mais adequada aos resíduos orgânicos gerados pelos habitantes da cidade de Santo Amaro-BA, pois o potencial de produção de Biogás, difere para alguns grupos de resíduos orgânicos, por isso se faz necessário a

separação, identificação e caracterização da massa orgânica, para se obter na literatura o potencial de produção de Biogás para cada tipo de resíduos orgânicos, que somado entre si, obtém-se o potencial de produção de Biogás “ideal”, considerando todos os resíduos coletado.

Para contornar estes percalços decidiu-se considerar o potencial de produção do Biogás de alimento. Segundo Probiogás (2015) o potencial de produção de Biogás de alimento, em grandes geradores de alimentícios, como mercado e feiras livres é de 0,850 Nm³.kgSV⁻¹(SOUZA, PRECCI, 2021). A escolha deste potencial se deve ao fato de Santo Amaro possuir forte influência desses grandes geradores, principalmente a feira livre na cidade.

Primeiramente é necessário encontrar a quantidade de resíduos orgânicos, gerados mensalmente (Mro), através da **Equação 16**.

$$Mro = 20.799 \times 30 = 623.970(\text{kg/mês})$$

$$Mro\ 50\% = 10.399,5 \times 30 = 311.985\ (\text{kg/mês})$$

A quantidade de resíduos orgânicos, prevista para serem coletados mensalmente, é igual a 623.970(kg/mês), com 100% dos resíduos coletados, e 311.985(kg/mês), com 50% dos resíduos orgânicos coletados. Para encontrar a quantidade teórica de sólidos voláteis presente em toda essa massa de resíduos, tem as substituições das incógnitas da **Equação 17**.

$$SVRO = 58,8\% \times 623.970 = 366.894,36\ (\text{kgSV/mês})$$

$$SVRO\ 50\% = 58,8\% \times 311.985 = 183.447,18\ (\text{kgSV/mês})$$

Encontrando assim a quantidade de sólidos voláteis, é possível estabelecer produção de Biogás a partir da **Equação 18**.

$$Pb = 0,850 \times 366.894,36 = 311.860,2\text{Nm}^3/\text{mês}$$

$$Pb(50\%) = 0,850 \times 183.447,18 = 155.930,1\ \text{Nm}^3/\text{mês}$$

A produção teórica de Biogás para o presente trabalho e considerando as adaptações realizadas, foram de 311.860,2Nm³/mês, para um reaproveitamento total de 100% dos

resíduos orgânicos, e 155.930,1 Nm³/mês, para o reaproveitamento parcial de 50% dos resíduos orgânicos.

Considerando que, a unidade a Normal Metro Cúbico (Nm³/mês), como uma unidade padrão para um gás, em que se mantêm as condições “normais” de temperatura, pressão e umidade relativa de: 0 °C, 1 atm e 0%, respectivamente, de modo a não influenciar o volume do mesmo, o volume do Biogás em m³ adotando esses parâmetros é equivalente ao volume em Nm³ (GOLDENERGY, 202?).

Com o intuito de estimar a eficiência energética do Biogás gerado pela cidade de Santo Amaro, foi considerado a relação entre a equivalência de 1 m³ de Biogás com outras fontes de energéticas, sendo a gasolina, a eletricidade e o gás de cozinha, como é possível ver na **Tabela 7**, onde os resultados obtidos na **Tabela 7**, foram a partir da **Equação 20**, relacionando Pb e a equivalência de cada fonte energética (EFE), em que é obtido o potencial energético do Biogás em relação à fonte Energética (PEB) (SILVA, *et al*, 2019).

$$\text{Equação 20: } PEB = Pb \times EFE$$

Tabela 7: Equivalência energética mensal de 1 m³ de Biogás produzido em Santo Amaro, em relação às outras fontes energéticas.

Fonte Energética	Equivalência energética (EFE)	Potencial energético do Biogás de Santo Amaro (PEB)/mês	Potencial energético do Biogás de Santo Amaro (PEB50%) /mês
Eletricidade	1,43 kWh	445.960,086 (kWh)	222.980,043 (kWh)
Gasolina	0,52 a	162.167,304 (l) a	81.083,652 (l) a
	0,6 l	190.234,722 (l)	95.117,361 (l)
Gás de Cozinha	1,5 m ³	467.790,3 (m ³)	233.895,15 (m ³)

Fonte: Adaptado de SILVA, *et al*, (2019) e RITTER; SANTOS; CURTI, (2014)

Para efeito de comparação teórica e com o intuito de demonstrar a viabilidade do projeto, evidenciando o grande potencial energético e econômico que a cidade de Santo Amaro poderia estar aproveitando com a instalação do Biodigestor canadense, considerou-se a equivalência da quantidade teórica de Biogás produzido por mês em relação ao botijão de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou gás de cozinha de 13 kg, massa essa que é comumente utilizada no ambiente doméstico.

Segundo a Ultragaz (2022), a densidade média GLP é 2,50 kg/m³ e para cada 1 m³ de GLP tem-se 2,50 (kg). Considerando essa indicação expressa pela Ultragaz (2022), para encontrar o volume em m³ do botijão de gás VGLP, é necessário realizar a **Equação 21**, relacionando a densidade de referência do GLP de 2,50 kg/m³ com a massa de 13 kg do GLP.

$$\text{Equação 21: } V_{GLP} = \frac{13kg}{2,50kg/m^3} = 5,2 \text{ m}^3$$

O resultado encontrado, demonstra que para um botijão de gás com 13 kg, o volume é de 5,2 m³.

Para fazer a previsão, no campo teórico, da economia que o município pode gerar para a sua população, em relação à economia de botijão de gás (Eun), foi considerado que para cada botijão gás de 13 kg tem-se 5,2 m³ de volume. Já em relação à economia monetária (Em) de botijão de gás, foi adotado o preço mais atualizado, de produção dos produtores do GLP, no estado da Bahia, de R\$ 53,56, trazida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (ANP, 2022). Há de salientar que este preço envolve custo de produção dos produtores, custos estes que não foram possíveis traçar para o presente trabalho na produção de Biogás, por se tratar de um trabalho de cunho teórico, onde essas informações só seriam possíveis, após a construção e operação do Biodigestor, logo o valor adotado é para fins de elucidação da viabilidade que poderia ser gerado na cidade, sem considerar os custos de produção.

Foi optado por realizar a **Equações 22**, para encontrar a economia de botijão de gás, relacionando apenas o volume mensal de Biogás Pb e a **Equação 23**, para encontrar a economia de botijão de gás, considerando a equivalência energética de cada m³, PEB, encontrado na **Tabela 7**. Para fazer a estimativa da economia monetária, resultante das equações anteriores, é realizada a **Equação 24**.

$$\text{Equação 22: } E_{un} = \frac{Pb}{VGLP}$$

$$\text{Equação 23: } E_{un} = \frac{PEB}{VGLP}$$

$$\text{Equação 24: } E_m = E_{un} \times 53,56R\$$$

Primeiramente é realizado o equacionamento baseado na **Equação 22**, substituindo as respectivas incógnitas, obtendo assim a economia do reaproveitamento total E_{un} , e do reaproveitamento parcial $E_{un}(50\%)$.

$$E_{un} = \frac{311.860,2m^3}{5,2m^3} = 59.973,12$$

$$E_{un}(50\%) = \frac{155.930,1m^3}{5,2m^3} = 29.986,56$$

Para estimar a economia de botijão de gás, considerando a equivalência energética do gás de cozinha, encontrada na **Tabela 7**, é realizado as substituições das incógnitas da **Equação 23**, obtendo o reaproveitamento E_{un} , nos mesmos moldes da equação anterior.

$$E_{un} = \frac{467.790,3 m^3}{5,2m^3} = 89.959,67$$

$$E_{un}(50\%) = \frac{233.895,15 m^3}{5,2m^3} = 44.979,84$$

Para determinar a economia monetária, de cada E_{un} , é necessário realizar a **Equação 24**, substituindo as incógnitas correspondentes, para encontrar economia monetária.

$$E_m = 59.973,12 \times R\$ 53,56 = R\$ 3.212.160,31$$

$$E_m(50\%) = 29.986,56 \times R\$ 53,56 = R\$ 1.606.080,16$$

Economia monetária, considerando a equivalência energética:

$$E_m = 89.959,67 \times R\$ 53,56 = R\$ 4.818.239,92$$

$$E_m(50\%) = 44.979,84 \times R\$ 53,56 = R\$ 2.409.120,23$$

Considerando a produção mensal de Biogás volumétrica, com o reaproveitamento de 100% e a produção mensal de Biogás com o reaproveitamento de 50%, ambos resultaria numa economia de botijão de gás e do valor monetário, de respectivamente, aproximados 59.973,12, unidades de botijão de 13 kg por mês, gerando uma economia monetária de R\$ 3.212.160,31, por mês e para um reaproveitamento de 50%, seria aproximadamente 29.986,56 unidade de botijão de 13 kg por mês, com uma economia monetária de R\$ 1.606.080,16 por mês. Considerando os equacionamentos a respeito da economia de botijão de gás e a economia monetária, com a equivalência energética, os valores encontrados para o reaproveitamento de total e para o reaproveitamento de 50%, foram, respectivamente, 89.959,67 botijões economizados com uma economia de R\$ 4.818.239,92 e para 50% foram 44.979,84 botijões economizados, com a economia de R\$ 2.409.120,23.

Estas economias poderiam ser repassadas para a população Santamareense, por iniciativas como projetos de distribuição energética, no caso o Biogás, para a população de baixa renda.

Há de ressaltar que as estimativas realizadas anteriormente, foram de cunho teórico, tendo em vista que podem ocorrer variações, como os custos de operações, as condições de operação que resultará na formação do Biogás, a exemplo tem-se a temperatura, a pressão, a eficiência energética de cada resíduo orgânico presente no montante da matéria orgânica coletada diariamente na cidade, equivalência energética, influenciando o aproveitamento do Biogás e que todo o Biogás teve a viabilidade destinada às cozinhas, substituindo o GLP, existindo uma gama possibilidade de aproveitamento do Biogás. Todavia, a viabilidade do projeto para tais fins é um avanço muito grande que a cidade terá, e principalmente aos seus habitantes.

4.4 Projeção do Biodigestor Canadense, que atenderá a população Santamareense.

A **Figura 15** é uma das ilustrações realizadas nos softwares, demonstrando a importância na utilização do SketchUp e do Twinmotion para fazer a modelação em 3D do Biodigestor canadense, como visto no decorrer do trabalho com as ilustrações autorais.

Figura 15: Biodigestor canadense projetado e renderizado.



Fonte: Autoral.

Nenhum dos integrantes tinha as habilidades necessárias para realizar a construção do modelo 3D o que dificultou muito esse processo, porém a construção da projeção era essencial para explicar os fundamentos do trabalho e também para dar uma perspectiva de realidade ao trabalho, já que optamos por não construir um protótipo.

4.5 Panorama Geral do dimensionamento Realizado.

Após realizar o dimensionamento do Biodigestor, foi possível notar que a utilização de apenas um Biodigestor para aproveitar todos os resíduos orgânicos coletados na cidade, as medidas e proporções ficaram extensas. Contudo, para contornar esta situação é possível a utilização de mais Biodigestores, como, por exemplo, um sistema de quatro Biodigestores canadense que atenderá a população de Santo Amaro, fracionando a quantidade de resíduos orgânicos coletados entre os quatro Biodigestores, ou mais Biodigestores a depender do projeto, de maneira em que cada um receba uma quantidade, em kg, de resíduos coletados. Para que seja possível determinar as dimensões de todos os Biodigestores, baseado na metodologia do presente trabalho, com as adaptações sinalizadas ao decorrer do mesmo.

É importante destacar que a quantidade de Biodigestores que será utilizado dependerá do projeto construtivo, pois é importante fazer uma análise da viabilidade econômica do projeto.

Na **Tabela 8** é possível observar um resumo das dimensões encontradas para o Biodigestor que irá atender a população de Santo Amaro.

Tabela 8: Resultado geral dos dimensionamentos realizados

Dimensões/Viabilidade (teórica)	Biodigestor para 100% da matéria orgânica.	Biodigestor para 50% da matéria orgânica.
Volume de água/dia (m ³)	628,64	314,32
Volume da câmara do Biodigestor (m ³)	24.516,96	12.258,48
Largura da base menor do trapézio (<i>m</i>)	30,540	20,866
Largura da base maior do trapézio (<i>m</i>)	33,816	24,142
Comprimento (<i>m</i>)	169,078	120,708
Lado da caixa de entrada (<i>m</i>)	27,466	19,421
Volume da caixa de entrada(m ³)	754,368	377,184
Lado da caixa de saída (<i>m</i>)	47,572	33,639
Volume da caixa de saída (m ³)	2.263,104	1.131,552
Lona de Vedação: Largura e Comprimento (<i>m</i>)	43,176 e 188,032	33,018 e 137,243
Área do Gasômetro (m ²)	2.745,242	1.374,387
Produção de Biogás (Nm ³ /mês)	311.860,2	155.930,1
Economia de botijão de gás/mês	59.973,12	29.986,56
Economia monetária (R\$)/mês	6.896.908,8	3.448.454,4
Economia de botijão de gás/mês (potencial energético).	89.959,67	44.979,84
Potencial economia monetária (R\$), mensal com a equivalência energética.	10.345.362,05	5.172.585

Fonte: Autoral

Com a produção deste trabalho, foi notada a possibilidade de construção real do Biodigestor canadense, adequado a cidade de Santo Amaro-BA, em condições necessárias, tanto de espaço para instalar o Biodigestor e armazenamento do produto, quanto o financeiro para a compra dos materiais para construí-lo.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

Através das pesquisas, foi possível determinar o modelo de Biodigestor canadense como o apropriado para ser implementado na cidade de Santo Amaro. A partir dos estudos realizados no presente trabalho foram apresentados os dimensionamentos necessários para o manejo correto dos resíduos sólidos orgânicos gerados pela população de Santo Amaro- BA, para a utilização de Biogás e biofertilizantes. Foram definidas as quantidades de resíduos sólidos orgânicos produzidos diariamente pela população, o que tornou possível calcular as dimensões do Biodigestor, bem como a produção teórica do Biogás.

No âmbito da viabilidade do projeto em questão, foi previsto que as dimensões possuem uma metragem significativa, com isso se faz necessário um estudo de viabilidade econômica para construção real do Biodigestor canadense em Santo Amaro-BA, contudo foi possível demonstrar, do ponto de vista teórico, o grande potencial econômico que este Biodigestor projetado pode gerar para a população da cidade.

Com base nos resultados obtidos, houve uma conscientização por parte dos autores, que o trabalho, tem ampla possibilidade de ser introduzido no município de estudo, tendo uma vasta aplicação ambiental, econômica e social, principalmente para os moradores de baixa renda, com a possibilidade de distribuição de Biogás, destinado à utilização em cozinhas ou na geração de energia elétrica, além dos biofertilizantes, contribuindo para a feira livre da cidade, através da distribuição aos agricultores da região.

Investir em um projeto como este é uma forma de benefícios em vários âmbitos, pois além de ser uma maneira de produção de energia de baixo custo, não agride o meio ambiente, evitando a emissão de gases poluentes e redirecionando os resíduos orgânicos, descartados de maneira indevida.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao concluir e observar o trabalho apresentado alguns pontos foram vistos que se melhorados podem agregar nos resultados e alguns quesitos que não foram abordados, assim poderiam ser temas possíveis para trabalhos futuros. Sendo assim, recomendam-se as seguintes considerações:

- Viabilidade da construção de um protótipo;
- Viabilidade da utilização do biofertilizante para adubamento de uma horta comunitária;
- Análise de custo para a construção real do Biodigestor;
- Aplicação do Biogás para geração de energia elétrica e térmica.
- Caracterização dos tipos resíduos orgânicos direcionados ao aterro sanitário de Santo Amaro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÓCER, Juan Carlos Alvarado, *et al.* **Uso do Biodigestor na Suinocultura: Uma alternativa a Sustentabilidade Ambiental na Região do Maciço de Baturité.** Ceará, Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental, estudo de caso, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/6411/5232. Acesso em: 12/05/2022.

ALVES, Anelisiane Maria. **Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de Biodigestores tipo tubular.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-Pa, 2017.

ANDRADE, Michelle Pellizer. **Eficiência de Biodigestores Canadenses no tratamento de dejetos de suínos em diferentes fases de produção.** Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica-Brasília: ANEEL, 1º Edição, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Evolução dos preços de GLP (R\$ / botijão de 13 kg).** Superintendência de Defesa da Concorrência - SDC, 2022.

ARRUDA, Mariliz H. et al. **Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa.** Revista científica de agronomia da Faculdade de Agronomia e engenharia florestal, Garça, ano I. no 2, dez. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (ABNT), NBR-8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento.** Rio de Janeiro, 1992.

ALBUQUERQUE, Bento. **Despacho do presidente da república.** Diário Oficial da União, órgão Presidência da república. Ministério de Minas e Energia, edição: 209, seção: 1, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-357327735>. Acesso em 22/07/2022.

BARCA, Stefania. **Observatório sobre crises e alternativas.** Centro de Estudos sociais da universidade de Coimbra, 2020. Disponível em:

https://www.ces.uc.pt/observatorios/crisalt/index.php?id=6522&id_lingua=1&pag=7725.

Acesso em 27/12/22.

BRIGUIET, Gabriel. **Densidade**. Química - Manual do Enem, Quero Bolsa, 2022. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/quimica/densidade>. Acesso em 11/11/2022.

FILHO, José Anibal Comastri. **Biogás, independência energética do Pantanal Matogrossense**. EMBRAPA. UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 9. Corumbá, MS. 1981.

CHAVES, Davina Camelo, *et al.* **Sistema de biodigestão: um modelo de economia e sustentabilidade para a comunidade rural**. Brazilian Journal of development. Curitiba, 2021.

DEGANUTTI, Roberto. *et al.* **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Departamento de artes e representação gráfica. FAAC- Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP- Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. 2002

DIACONIA, *et al.* **12 passos para construir um Biodigestor**. Cartilha. Biodigestor: Uma tecnologia social no programa nacional de habitação rural. Fundo Socioambiental CAIXA, 2015.

Disponível:

https://issuu.com/diaconia_web/docs/cartilha_-_12_passos_para_construir/38. Acesso em: 7/10/2022.

DONGALA, Abrão Marcandi. **Projeto de Biodigestor para a geração de bioenergia em sistema de produção de suínos: um estudo de caso da região de Icolo e Bengo-Angola**. Dissertação para o título de mestre, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciência, faculdade de engenharia, Rio de Janeiro, 2010.

EPIC Games. **Visualization Made Easy**. Twinmotion, 2022, disponível em: <https://www.twinmotion.com/en-US>, Acesso em: 23/08/2022.

FEIDEN, Armim, *et al.* **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel – PR, 2004.

GASPAR, Rita Maria Bedran 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. 2003. 106 f.** Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GENRO, Cicero, **Memorial Descritivo de Biodigestor para composteira**, Xanxerê, 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/422835058/Memorial-Descritivo-Biodigestor>. Acesso em 06/06/2022

GOLDEMBERG, José. **Atualidades e Perspectivas no uso de Biomassa para a Geração de Energia**. Universidade de São Paulo, Revista virtual de Química, Instituto de Energia e Ambiente, Butantã, São Paulo- SP 2016.

GONÇALVES, Guilherme Lopes Fratteezi. **Biodigestores: Uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto**. Trabalho de conclusão de curso-curso de especialização em atenção básica em saúde da família- Universidade Federal de Minas Gerais- Araçuaí-MG- 2012.

HASAN, Camila, *et al.* **Produção de Biogás a partir de Resíduos Agroindustriais: análise dos teores de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras pré e pós-digestão anaeróbia**. Pós-Graduação em meio ambiente e desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Revista Brasileira de Energias Renováveis, Vale do Taquari, 2019.

IBGE, **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/santo-amaro.html> Acesso em: 15/04/2022

JEFFERSON. **Válvulas de alívio de pressão, saiba mais**. Jefferson Engenharia de Processos Industriais, 2022. Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvulas-de-alivio-de-pressao-saiba-mais.html>, Acesso em: 17/10/2022

JERÔNIMO, **Impactos Ambientais e a saúde do lixão da cidade de Santo Amaro**. Projeto um outro Céu, 2021. Disponível em:

<https://umoutroceu.ufba.br/conflitos/impactos-ambientais-e-a-saude-do-lixao-da-cidade-de-santo-amaro/> Acesso em: 14/04/2022

JUNQUEIRA, Sérgio Luiz Coelho Diniz. **Geração de Energia Através de Biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda Aterrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, departamento de engenharia mecânica, DEM/POLI/UFRJ, 2014.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sobera. Embrapa Suínos e Aves, 2019.

LUZ, Gelson. **Densidade de Resíduos Sólidos. Materiais por Gelson Luz, [s. I]**, 2019. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2019/04/densidade-de-residuos-solidos.html> Acesso em: 21/08/2022

Metro cúbico normal (Nm³), Gold Energy, 202?. Disponível em:

<https://goldenergy.pt/glossario/metro-cubico-normal-nm3/>, Acesso em: 07/10/2022

METZ, Hugo Leonardo. **Construção de um Biodigestor Caseiro Para Demonstração de Produção de Biogás e Biofertilizante em Escolas Situadas em Meios Urbanos.** Monografia do curso de Pós-Graduação, Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia- Universidade Federal de Lavras- MG, 2013.

NASCIMENTO, Luciano. **Governo publica metas de redução de emissão de gases de efeito estufa, metas valem para comercialização de combustíveis.** Agência Brasil. Brasília, 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-11/governo-publica-metas-de-reducao-de-emissao-de-gases-de-efeito-estufa#>. Acesso em: 22/07/2022.

NAZARO, Mariane Scheffer. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016.

OLIVEIRA, Agda da Luz. **Estudo da variação do teor de umidade e sólidos totais voláteis dos resíduos sólidos urbanos, com a precipitação pluviométrica e suas implicações na geração de lixiviado no aterro sanitário integrado de Cruz das Almas-Ba.** Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Curso de Ciências em Engenharia Civil e Ambiental- Feira de Santana, 2011.

OLIVEIRA, Jordan Florio. **Cop 26: O que muda em relação ao petróleo e energias renováveis?.** Click Petróleo e Gás (CPG), 2021. Disponível em: <https://clickpetroleogas.com.br/cop-26-o-que-muda-em-relacao-ao-petroleo-e-energias-renovaveis/>. Acesso em: 24/04/2022.

OTENIO, Marcelo Henrique, *et al.* **Como montar e usar a fossa séptica modelo Embrapa.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Gado de Leite. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa, Brasília-DF,2014.

PALHARES, Julio Cesar Pascale. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro.** 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm. Acesso em: 18/07/2022.

PALOMINO, Carolina Fofonka. **Comparativo entre Geomembrana PEAD x Argila em Sistemas Impermeabilizantes**. Engenheira de Aplicações - Plásticos e Geossintéticos. LinkedIn, 2017. Disponível em:
<https://www.linkedin.com/pulse/comparativo-entre-geomembrana-pead-x-argila-em-fofonka-palomino/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 29/10/22

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS, Baía de Todos-os Santos- Grupo A, **Diagnósticos dos Resíduos Sólidos e Caracterização Socioeconômica e Ambiental -Situação Atual da Gestão de Resíduos Sólidos Santo Amaro, 202?**.

PRATI, Lisandro. **Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás Gerado por Biodigestores. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica**. Monografia de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2010.

PROBIOGÁS. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso do biogás**. Coletânea de publicações do PROBIOGÁS Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás. 1ª Edição, Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

RITTER, Cíntia Maria; SANTOS, Francielle Rocha; CURTI, Suzana. **Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina**. Revista Tópos, UTFPR - Campo Mourão. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/view/2691>. Acesso em: 9/11/2022.

ROCHA, Camila Marçal. **Proposta de implantação de um Biodigestor Anaeróbio de resíduos alimentares**. Trabalho final de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2016.

RECOLAST AMBIENTAL. **Manual Biodigestores**, 201?. Disponível em: https://www.recolastambiental.com.br/fichas/130_Manual_Biodigestor.pdf. Acesso em: 13/07/2022.

SAINOS, Chrys. **Biodigestor ;Qué es?**, 2018, disponível em: <https://sainoslopez.wixsite.com/sainosrealty/post/biodigestor-qu%C3%A9-es>. Acesso em 13/06/2022

SILVA, Antônio Jackson M. **Estudo da Viabilidade para implantação de um Biodigestor para produção de energia elétrica em uma granja suína a ser construída na fazenda Bom Jesus- Município de sítio Novo do Tocantins Palmas, To.** Trabalho de conclusão de curso (tecnologia em sistemas elétricos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, TO, 2016.

SILVA, Leonardo França, *et al.* **Biogás e água residuária de suinocultura: Potencial de produção energética.** Energia na Agricultura, Botucatu, v. 34, n. 3. Universidade Estadual Paulista –Unesp. Faculdade de Tecnologia de Botucatu – Fatec, 2019. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/3617/2577>. Acesso em: 9/11/2022.

SILVA, Felipe Pinheiro. **Eficiência energética de uma unidade de microgeração de energia elétrica a partir do biogás da suinocultura.** Trabalho de dissertação. Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel, 2015.

SOUSA, Márcia Cristina, *et al.* **Processos de tratamento do chorume e reaproveitamento: uma revisão.** Blucher Chemistry Proceedings. vol. 3 num. 1. 5º Encontro Regional de Química & Blucher Chemistry Proceedings & 4º Encontro Nacional de Química, 2015.

SOUZA, Letícia Bartolomeu; PECCI, Lorene. **Projeto de Implantação de um Biodigestor Modelo Fluxo Tubular para a Produção de Biogás a partir de Resíduos Sólidos Orgânicos do Restaurante Universitário da UTFPR- Campus Ponta Grossa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

STUCHI, Julia Franco. **Biofertilizante Um adubo líquido de qualidade que você pode fazer.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Amapá. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015.

TRIMBLE, **SketchUP**, 2022, disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>, Acesso em: 28/08/2022.

ULTRAGAZ, **O que você precisa saber sobre o botijão de gás**, ultragaz.com.br, 2022, disponível em: <https://www.ultragaz.com.br/o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-botijao-de-gas/>

VAZ, Luciano Mendes Souza, *et al.* **Diagnóstico dos resíduos sólidos produzidos em uma feira livre: o caso da Feira do Tomba.** Sitientibus, Feira de Santana, n.28, p.145-159, jan./jun. 2003.