



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

LARISSA NASCIMENTO DA COSTA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**RECIFE
2020.3**

LARISSA NASCIMENTO DA COSTA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**ELABORAÇÃO DE PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE
BIODIGESTOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Valmir Cristiano Marques Arruda.

**RECIFE
2020.3**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C837e Costa, Larissa Nascimento da
Elaboração de proposta para implantação de biodigestor de resíduos sólidos orgânicos / Larissa Nascimento da Costa. - 2020.
43 f. : il.
- Orientador: Valmir Cristiano Marques Arruda.
Inclui referências e apêndice(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2020.
1. biodigestor. 2. biogás. 3. resíduos sólidos orgânicos. 4. biofertilizante. 5. resíduos alimentares. I. Arruda, Valmir Cristiano Marques, orient. II. Título

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

ELABORAÇÃO DE PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Larissa Nascimento da Costa

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques Arruda - Orientador

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques Arruda - Supervisor

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Valmir Cristiano Marques de Arruda por topar o desafio da elaboração deste trabalho em meio à pandemia, com todas as circunstâncias e desafios que a nova realidade se tornou.

À minha mãe Miriam Souza do Nascimento, mulher responsável por todas as minhas conquistas e vitórias, que sempre acreditou em mim e dedicou sua vida pela minha. Ao meu namorado Hadam Anjo dos Santos, pela paciência, companheirismo e incentivo nos momentos mais difíceis não somente durante a elaboração do trabalho, mas em toda a jornada de aprendizado da Graduação. Ao meu cachorro que virou estrelinha, Spike, por todo seu amor incondicional durante minhas horas mais tristes.

Aos amigos da turma de 2015.2 de Graduação por compartilharem comigo as angústias e vitórias durante essa jornada, todos os momentos bons ou ruins nos fizeram crescer e amadurecer.

As minhas amigas Gilbelly Karen e Katia Botelho, por dividir as alegrias e os perrengues comigo, sem vocês este percurso não teria sido o mesmo.

A todos que acreditaram em mim e me fizeram mais forte, aqueles que de alguma forma me ajudaram a chegar onde cheguei, meu mais sincero agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Biodigestor Modelo Indiano	19
Figura 2- Biodigestor Modelo Chinês	20
Figura 3- Biodigestor Modelo Canadense	21
Figura 4- Etapas da Produção do Biogás	22
Figura 5- Esquema da Disposição do Sistema	33
Figura 6- Esquema dos Filtros para Purificação do Biogás	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição do Biogás	18
Tabela 2- Média diária da produção de restos alimentares em restaurantes comerciais	27
Tabela 3- Análise Gravimétrica	27
Tabela 4- Dados de alguns estudos sobre digestão anaeróbica de resíduos sólidos	28
Tabela 5- Comparação de equivalência de 1m ³ do biogás	29
Tabela 6- Remoção de componentes do biogás dependendo da sua utilização	30
Tabela 7- Tabela de materiais e preços	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRELPE- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

DQO- Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FORSU- Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PNRS- Plano Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. Aspectos Gerais dos Resíduos Sólidos Urbanos	14
3.2. Resíduos Sólidos Orgânicos	15
3.3. Resíduos Alimentares	15
3.4. Biogás	17
3.5. Biofertilizante	18
3.6. Biodigestor	18
3.7. Fatores que afetam na biodigestão	23
4. METODOLOGIA	24
4.1. Etapa 1 – Levantamento de dados da geração dos resíduos alimentares	24
4.2. Etapa 2 – Levantamento das características e diretrizes de projetos de biodigestores de resíduos sólidos orgânicos	24
4.3. Etapa 3 – Avaliação do potencial de geração de metano	25
4.4. Etapa 4 – Proposta de biodigestor acessível para pequenos geradores	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Etapa 1 – Levantamento de dados da geração dos resíduos alimentares	27
5.2. Etapa 2 – Levantamento das características e diretrizes de projetos de biodigestores de resíduos sólidos orgânicos	27
5.3. Etapa 3 – Avaliação do potencial de geração de metano	29
5.4. Etapa 4 – Proposta de biodigestor acessível para pequenos geradores	32
6. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
APÊNDICE A	42

APÊNDICE B	43
------------------	----

1. INTRODUÇÃO

Com a revolução Industrial houve a consolidação do capitalismo, a industrialização, o aumento da capacidade de produção e urbanização, desta forma, o novo cenário provocou a mudança nos hábitos da sociedade, que tornou-se consumista, extraindo recursos naturais em abundância sem a preocupação futura, adotando um modelo de desenvolvimento insustentável. A década de 70 é marcada pelo agravamento dos problemas ambientais, havendo conseqüentemente a maior conscientização mundial desses problemas, após a percepção da contribuição negativa provocada pela sociedade. Com o passar dos anos, mais pessoas optam pela mudança de seus hábitos, empresas optam por melhores gestões ambientais de seus negócios, e a visão ambiental ganha maior espaço e visibilidade. Atrelada a esta realidade, a busca por alternativas que contribuam positivamente para o meio ambiente é de suma importância, sejam elas de grande ou pequena escala, ambas terão sua contribuição gerada.

Estima-se que mais de 50% dos resíduos enviados aos aterros sanitários são orgânicos (CHIABI, 2017). Esta situação demonstra o desperdício do alto potencial que o resíduo orgânico apresenta, além de atingir mais rapidamente a capacidade do aterro sanitário. Além disso, sabe-se que o Brasil possui grande deficiência no saneamento básico do país, o que implica no lançamento incorreto dos resíduos em lixões, provocando a degradação ambiental e produção de vetores e doenças para os moradores nas redondezas.

Uma das alternativas com alto potencial ambiental, foco do atual estudo, é o uso de biodigestores, este sistema consiste em uma câmara fechada hermeticamente, em que através da ação de bactérias anaeróbicas transforma os resíduos orgânicos em biogás e biofertilizante. O biogás é uma energia limpa e renovável, alternativa ao GLP (gás liquefeito de petróleo) e ao gás natural (gás de cozinha), além de ajudar a gerar energia elétrica. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2017) “o biofertilizante orgânico promove a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão e perda de nutrientes e diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais”. Desta forma, o biodigestor permite a redução de resíduos orgânicos enviados aos aterros sanitários, além de proporcionar redução de custos com energia e adubação, através do biogás e biofertilizante gerados.

É importante salientar que não somente o biodigestor, mas também todas as outras alternativas ambientais, possuem situações de aplicabilidade em que são mais favoráveis e viáveis economicamente, devendo-se portanto, investigar o cenário para posterior escolha do melhor método a ser adotado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o potencial de geração do biogás e viabilidade econômica de biodigestores, estudados para a redução de resíduos sólidos orgânicos.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar informações sobre a geração per capita de produção de restos alimentares;
- Estimar a quantificação teórica de biogás de acordo com a produção diária;
- Propor uma configuração aplicável para utilização de biodigestor para pequenos geradores de resíduos sólidos orgânicos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Aspectos Gerais dos Resíduos Sólidos Urbanos

Em meio ao período de emergência ligado à pandemia, com os novos hábitos e medidas da quarentena adotados pela população, estima-se que haja um aumento na geração de resíduos sólidos domiciliares entre 15-25% (ABRELPE, 2020).

Com o atual cenário de intenso consumo provocado pela sociedade contemporânea, o lixo se torna uma das vertentes mais graves e problemáticas ambientais enfrentada. Naturalmente, tende-se a banalizar o lixo doméstico atribuindo-o a nenhum valor econômico, quando na realidade, com a adoção da separação de cada material descartado pode-se encontrar diferentes utilidades e destinos, o que destaca a importância do gerenciamento dos resíduos (CARVALHO, 2008; SILVA, 2008).

Além do consumo crescente encontrado na sociedade atual, também é importante o questionamento da transferência de responsabilidade tanto do Estado quanto do mercado para com os consumidores, que passaram a ser considerados como a maior solução para a melhoria ambiental. Quando na realidade, a responsabilidade deve ser compartilhada entre ambas as vertentes contribuintes, para que se construa uma esfera de ação mais eficiente (Manual de educação, 2005).

Embora o país venha tendo progresso nos últimos vinte anos, a realidade em mais da metade dos municípios brasileiros ainda consiste no descarte inadequado através dos lixões (GOUVEIA, 2012).

A deficiência ainda encontrada principalmente no descarte inadequado pode trazer inúmeros malefícios. Segundo Pereira (2009) “A disposição incorreta dos resíduos tanto orgânicos quanto inorgânicos traz consigo não somente problemas ambientais, como a influência indireta na qualidade de vida do homem”.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2017), a quantidade de resíduos coletados no país, que são encaminhados aos lixões, são de aproximadamente 18% (12.909.320 ton/ano) e o aterro controlado cerca de 23% (16.381.565 ton/ano). A deficiência no manejo de resíduos sólidos urbanos implica na busca de encontrar novas alternativas para que se possa atingir os princípios e objetivos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS.

Um dos objetivos apontados na Lei da PNRS (BRASIL, 2010) é a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (art. 7º inciso II). Para isso, é importante se adaptar e enfrentar a realidade atual do manejo pouco eficiente, além da adoção de tecnologias compatíveis com a realidade de cada população no aspecto financeiro, encontrando novas maneiras de aplicar a

desmaterialização no cotidiano, buscando dar valor aos resíduos e descartando apenas o que de fato não há aproveitamento, como o rejeito.

O rejeito é definido através da Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) como “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (art. 3º inciso XV). Com o entendimento do que se trata um rejeito, é possível compreender o valor que um resíduo sólido apresenta e as possibilidades de reuso compatíveis, capazes de transformá-los, atribuindo assim, novas funcionalidades em que o descarte final não seja considerado como única opção.

3.2. Resíduos Sólidos Orgânicos

Os resíduos orgânicos são representados pela parcela orgânica dos resíduos sólidos, advindos de origem urbana, industrial, alimentar, agrosilvipastoril ou outra (Caderno Temático, 2018). São materiais que se degradam e realizam a reciclagem dos nutrientes nos processos da natureza, quando retratado num cenário natural equilibrado. Quando comparamos ao ambiente urbano, há uma geração de grandes volumes de resíduos atrelados à disposição e armazenagem inadequada, o que resulta em sérios problemas ambientais como a geração de chorume, emissão de metano e favorecimento na proliferação de vetores e doenças. Neste sentido, destaca-se a importância de uma boa gestão e tratamento dos resíduos para que a matéria orgânica seja estabilizada e exerça seu papel natural (Ministério do Meio Ambiente, 2017).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, os resíduos orgânicos compõem metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no país. E infelizmente em decorrência do desconhecimento da alta potencialidade de aproveitamento que os resíduos orgânicos apresentam, ainda são enterrados ou lançados a céu aberto (ZAGO, 2018; BARROS, 2018).

3.3. Resíduos Alimentares

Os resíduos alimentares equivalem à fração dos resíduos orgânicos provenientes do preparo e consumo de alimentos de consumo humano (CIME et al., 2018).

De acordo com relatório da FAO (2013), cerca de 1,3 bilhão de toneladas de comida são desperdiçadas anualmente. Com a redução do desperdício, este quantitativo seria suficiente para alimentar 2 bilhões de pessoas, o que supera os 870 milhões de pessoas famintas no mundo.

O desperdício alimentar ocorre em toda a cadeia produtiva, a falta de cuidado nas etapas ocasiona perdas na colheita, durante o manuseio, a logística do transporte e o acondicionamento inadequado para os produtos (FERREIRA, 2015). Segundo a FAO (2013), cerca de 33% do que é produzido no mundo vai para o lixo.

No Brasil, o maior desperdício ocorre na cozinha, segundo a EMBRAPA uma família brasileira de classe média desperdiça cerca de 182,5 kg de comida/ano. A partir deste cenário, encontrar medidas de redução do desperdício atreladas à boa gestão dos resíduos gerados reduz o impacto na fome mundial, assim como, no impacto ambiental.

O aproveitamento integral do alimento é uma das alternativas para reuso dos resíduos alimentares, através da elaboração de novos produtos utilizando o que antes era descartado, como cascas, folhas e talos (LEITÃO, 2015; LEITÃO, 2015). A incineração também é uma opção alternativa, quando considerada pelo ponto de vista sanitário é um processo excelente, porém, no âmbito ambiental é considerada desfavorável por ser responsável pela liberação de gases do efeito estufa durante tal processo, assim como, desfavorável para as empresas por ser economicamente inviável (COELHO et al., 2016).

Outra alternativa abordada por (COELHO et al., 2016) é o uso dos aterros sanitários, esta destinação apresenta um custo baixo, mas também traz consigo implicações que devem ser analisadas. Como por exemplo a demanda de área exigida para construção, por se tratar de grandes áreas, se faz necessária a retirada da vegetação natural, causando portanto, impacto ambiental. Além disso, a decomposição deste tipo de resíduo orgânico acontece de maneira predominantemente anaeróbica, tendo como consequência a geração do gás metano. Este gás é encaminhado aos queimadores, porém estima-se que cerca de 64% do que é produzido escape para o solo ou não se oxide na chama, sendo liberado no ambiente. Outra característica a ser considerada é a geração do chorume, ainda que os aterros sanitários possuam impermeabilização do solo, nem sempre pode-se garantir que a qualidade da água subterrânea não seja afetada. Portanto, considerando as implicações que são geradas com o aterro, o ideal seria a diminuição de resíduos encaminhados para este tipo de destinação final, devendo ser usado principalmente para aqueles resíduos que não apresentem outra opção de reuso, diminuindo a demanda por esta destinação e consequentemente tardando a construção de novos aterros.

Segundo Siqueira e Abreu (2016) os resíduos orgânicos não deveriam nunca ser encaminhados aos aterros ou lixões, já que possuem alto potencial de reaproveitamento. A compostagem também se torna outra opção para os resíduos orgânicos, este método consiste na decomposição natural da matéria orgânica na presença do oxigênio, através das condições ideais para que aconteça o processo, como parâmetros da umidade e temperatura, os micro-organismos quebram as moléculas transformando o material em produto estável, rico em matéria orgânica e com alto potencial de adubação.

O uso dos resíduos alimentares como alimentação animal, explicita o valor nutricional deste tipo de resíduo, embora seu uso seja restrito levando em consideração a segurança da saúde animal. De acordo com as legislações acerca do tema, é necessário que para adoção desta prática seja realizado o processo de autoclavagem para que possam ser agregados à dieta do animal (COELHO et al., 2016).

A construção de biodigestores também apresenta-se como alternativa viável aos resíduos alimentares. Esta tecnologia consiste em uma câmara hermeticamente fechada sem a presença de oxigênio, capaz de degradar a matéria orgânica presente nos resíduos, tendo como subprodutos o biofertilizante e o biogás (MALINOWSKY, 2016). A utilização dos biodigestores para a fração orgânica dos resíduos sólidos apresenta-se como uma solução simplificada para o saneamento local, além de demonstrar ser uma alternativa aplicável a diversas situações e viável diante da atual situação de crise energética (ROCHA, 2016). Para Turdera e Yura (2003) o biodigestor pode ser considerado como um poço de petróleo, já que apresenta potencial de lidar com os resíduos normalmente não reaproveitáveis, gerando biofertilizantes e funcionando como uma unidade de saneamento no mesmo equipamento.

3.4. Biogás

A produção do biogás é resultado da ação das bactérias metanogênicas sobre a matéria orgânica, quando submetidas a um ambiente biológico favorável. A criação deste ambiente deve levar em consideração condições químicas e físicas como: temperatura, pH, relação de carbono/nitrogênio (C/N) da biomassa, nível de umidade, presença ou ausência de oxigênio e quantidade de bactérias por volume de biomassa (ARAUJO, 2017).

De acordo com a EMBRAPA o biogás apresenta teores de 55 a 70% de metano (CH_4) e pode ser utilizado das seguintes maneiras: queima direta em fogões e aquecedores de água, iluminação com lâmpadas de camisa, aquecimento de incubadoras, fornalhas, secadores, etc. alimentação de motores de combustão interna, para realização de trabalho mecânico e para geração de eletricidade. Além do metano, faz parte da sua composição 30-40% de dióxido de carbono (CO_2), pequenas quantidades de ácido sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), monóxido de carbono (CO), carboidratos e oxigênio (O_2) (ARAUJO, 2017).

De acordo com a CETESB (2020) a composição do biogás é descrita como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Composição do biogás.

Metano (CH ₄)	50% - 70%
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% - 50%
Hidrogênio (H ₂)	0% - 1%
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0% - 3%
Oxigênio (O ₂)	0% - 2%
Amoníaco (NH ₃)	0% - 1%
Nitrogênio (N ₂)	0% - 7%

Fonte: CETESB (2020)

3.5. Biofertilizante

O subproduto resultado da biomassa após a fermentação é o biofertilizante, que apresenta alto potencial de adubação, com teores médios de 1,5 a 2,0% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K) (JUNQUEIRA, 2014). O biofertilizante se apresenta tanto na sua forma líquida quanto sólida, a sua forma sólida é rica em fibras e utilizada como adubação de fundação por ocasião de plantio e adubação periódica, sua assimilação é lenta (PEREIRA, 2009). Já sua forma líquida apresenta assimilação mais rápida e pode ser utilizada sua aplicação direta nas plantas, através da mistura de 1 litro de biofertilizante para cada 10 litros de água, passando-se a mistura por uma peneira fina para posterior aplicação (OLIVER et al., 2008).

3.6. Biodigestor

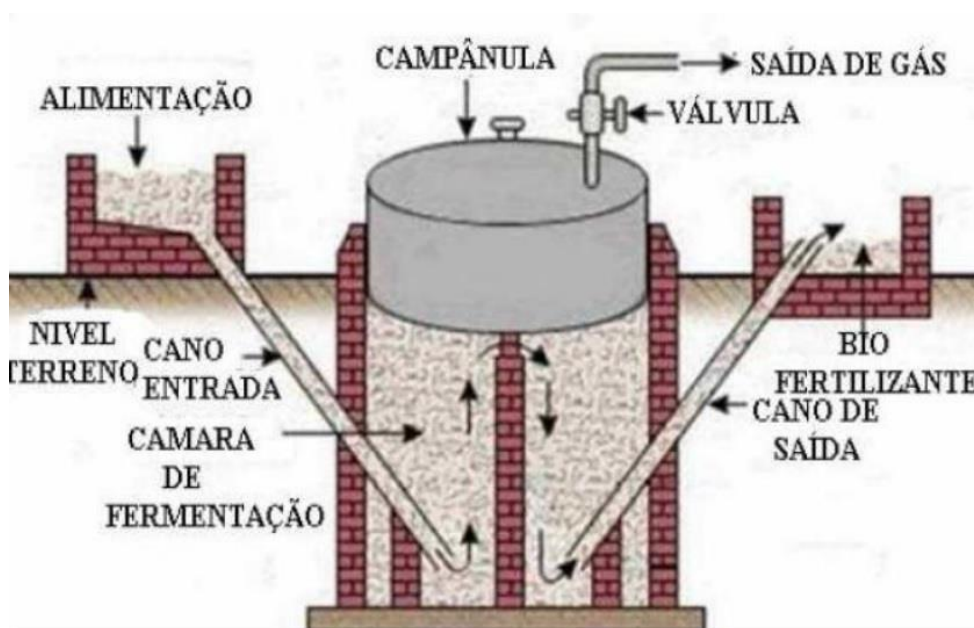
O biodigestor consiste em uma câmara em que é depositado a biomassa para decomposição, hermeticamente fechada, com exceção dos tubos de entrada e saída, criando assim, um ambiente anaeróbico (OLIVER et al., 2008). Além de possuir uma câmara (gasômetro) que armazena o biogás produzido (ARAUJO, 2017). Outra definição de biodigestor de acordo com Deganutti apud Dominiak (2016) é que o sistema consiste em uma câmara fechada em que é depositado o material orgânico juntamente com uma solução aquosa, sofrendo fermentação anaeróbica, tendo como subproduto o biogás, que se acumulará no espaço superior da câmara. Desta maneira, para que o biodigestor consiga operar, é necessário a presença de um substrato ou biomassa que servirá de alimentação do sistema. A biomassa é definida como qualquer material que seja passível de decomposição através da ação de diferentes microrganismos (ARAUJO, 2017). De acordo com a ANEEL a biomassa é a matéria orgânica que pode ser transformada em energia elétrica, térmica ou mecânica, tendo os resíduos urbanos sólidos e líquidos como um dos exemplos.

Existem vários tipos de biodigestores a depender da biomassa que alimentará o sistema, assim como, da forma de abastecimento, podendo ser contínua ou em batelada (LOPES et al., apud CALZA et al., 2015). O biodigestor tipo batelada é

abastecido uma única vez com o material orgânico, e após o término do período efetivo da produção do biogás, a biomassa resultante da biodigestão é retirada manualmente para que o biodigestor esteja pronto para receber uma nova carga orgânica, reiniciando assim, todo o processo (DEGANUTTI et al., 2002). Por não possuir uma produção contínua, este modelo é mais utilizado em propriedades que possuem sazonalidade na produção da biomassa a ser utilizada (JUNQUEIRA, 2014). Já o biodigestor contínuo, como o próprio nome sugere, é alimentado diariamente, fornecendo uma descarga proporcional à entrada da biomassa, sendo utilizado quando o substrato é abundante no local e de fácil degradação (JUNQUEIRA, 2014). Os modelos mais utilizados de biodigestor contínuo são o Indiano, Chinês e Canadense, apresentados a seguir.

O modelo indiano se apresenta de forma cilíndrica vertical, como um poço, construído por tijolos e revestido por cimento para que se torne impermeável, no seu centro há uma parede que o divide em duas câmaras, desta forma, a biomassa irá passar homogeneamente e por toda a câmara de biodigestão obrigatoriamente (NISHIMURA apud CALZA et al., 2015). Além disso, Fonseca et al (2009) cita que este modelo “apresenta uma tampa cônica, a campânula flutuante, que controla a pressão do gás metano e permite a regulagem da emissão do mesmo”. Este modelo apresenta facilidade nos aspectos construtivos, além do processo ocorrer de forma natural sem automação, porém o custo elevado da campânula de metal pode comprometer a viabilidade do mesmo (DOMINIAC et al., 2016). O resíduo que alimentará este sistema deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) até 8%, para que seja facilitada a circulação do resíduo no interior da câmara de biodigestão e evite entupimentos nas canalizações de entrada e saída (DEGANUTTI et al., 2002). A Figura 1 mostra o esquema de um biodigestor modelo indiano.

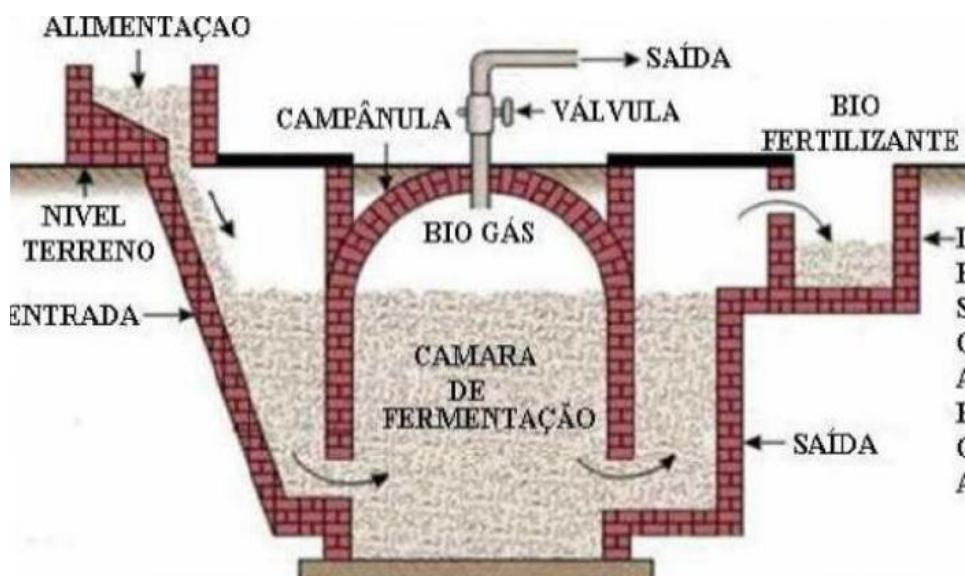
Figura 1. Biodigestor modelo indiano



Fonte:FONSECA et al., 2009

Assim como o modelo indiano, o modelo chinês é construído enterrado de modo que ocupe pouco espaço acima do solo, além de diminuir a influência das variações climáticas (DOMINIÁK et al., 2016). Este sistema apresenta forma cilíndrica de alvenaria com teto abobadado, para armazenamento do biogás produzido, e seu princípio de funcionamento consiste no aumento de pressão gerado pelo acúmulo do biogás, deslocando o efluente da caixa de fermentação até a saída (DEGANUTTI et al., 2002). Apresenta custo baixo de implantação, é mais durável, apresenta-se fixo e sem partes metálicas, porém as oscilações de pressão no gasômetro provocam vazamentos, tornando-o um sistema relativamente complicado (FONSECA et al., 2009). A Figura 2 mostra o esquema de um biodigestor modelo chinês.

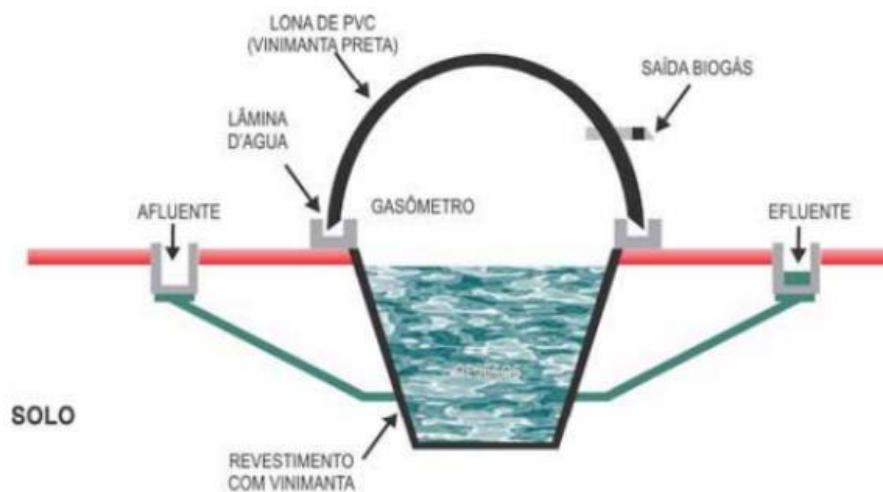
Figura 2. Biodigestor modelo chinês



Fonte: FONSECA et al., 2009

O modelo canadense é um sistema horizontal, dispendo de uma caixa de entrada em alvenaria, em que a profundidade é menor que a largura, para que o substrato esteja mais exposto ao sol e assim, aumente a produção do biogás (JUNQUEIRA, 2014). Sua cúpula em substituição das campânulas metálicas ou de fibras de vidro encontradas nos modelos indiano e chinês respectivamente, são de plástico maleável tipo PVC, que infla a medida em que ocorre a produção do biogás, gerando menores custos e facilidade de implantação, fator este que vem influenciando no crescimento do uso deste sistema (BASSO et al., 2015). A Figura 3 mostra o esquema de um biodigestor modelo canadense.

Figura 3. Biodigestor modelo canadense.



Fonte: (EMBRAPA, 2009)

Alguns benefícios do biodigestor citados por (OLIVER et al., 2008) são: Geração do biogás, caracterizado como energia limpa e renovável, o máximo aproveitamento dos recursos, redução no impacto ambiental que os resíduos causariam em decorrência da deposição sem tratamento, redução dos custos com gás de cozinha, a produção do biofertilizante, além de que, se utilizado o biogás como substituinte da lenha ocorre a redução no impacto à fauna e flora relacionados ao desmatamento.

Para Barbosa e Langer (2011) “A biodigestão trata-se de uma tecnologia capaz de trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais, permitindo a reutilização de um resíduo que anteriormente seria disposto de forma irregular, tendo como consequências a interferência na saúde do solo, da água, do ar, contribuindo inclusive na proliferação de doenças afetando a saúde humana, além disso, a biodigestão permite a geração de energia e o uso de biofertilizantes.”

O processo da biodigestão anaeróbia ocorre em quatro fases: hidrólise (quebra das moléculas de lipídios, carboidratos ou proteínas), acidogênese (fermentação realizada pelas bactérias), acetogênese (formação do substrato para produção do metano) e metanogênese, na qual a produção do biogás ocorre na última etapa (FERNADES apud DOMINIAC et al., 2016).

A etapa da hidrólise é responsável pela degradação de alta massa molecular como: lipídios, polissacarídeos e proteínas, em substâncias orgânicas mais simples (monômeros) e solúveis. A hidrólise é a etapa decisiva da velocidade de digestão anaeróbia, a duração desta etapa está relacionada com o nível de dificuldade de degradação do substrato, sendo de poucas horas para carboidratos e alguns dias para proteínas e lipídios (AMARAL et al., 2019). Este processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois dada a quebra dos polímeros maiores, inicia-se o processo de biodigestão (ARAUJO, 2017).

Na acidogênese, as substâncias resultantes da hidrólise (monômeros) servem de substrato para as bactérias anaeróbicas e facultativas (AMARAL et al., 2019).

Estas bactérias são responsáveis pela transformação dos monômeros em ácidos e álcoois, assim como, hidrogênio e gás carbônico. A formação de produtos nesta fase depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura, quando a concentração de hidrogênio é muito alta, ocorre interferência negativa na eficiência da acidogênese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura é reduzido e o processo é afetado (ARAUJO, 2017).

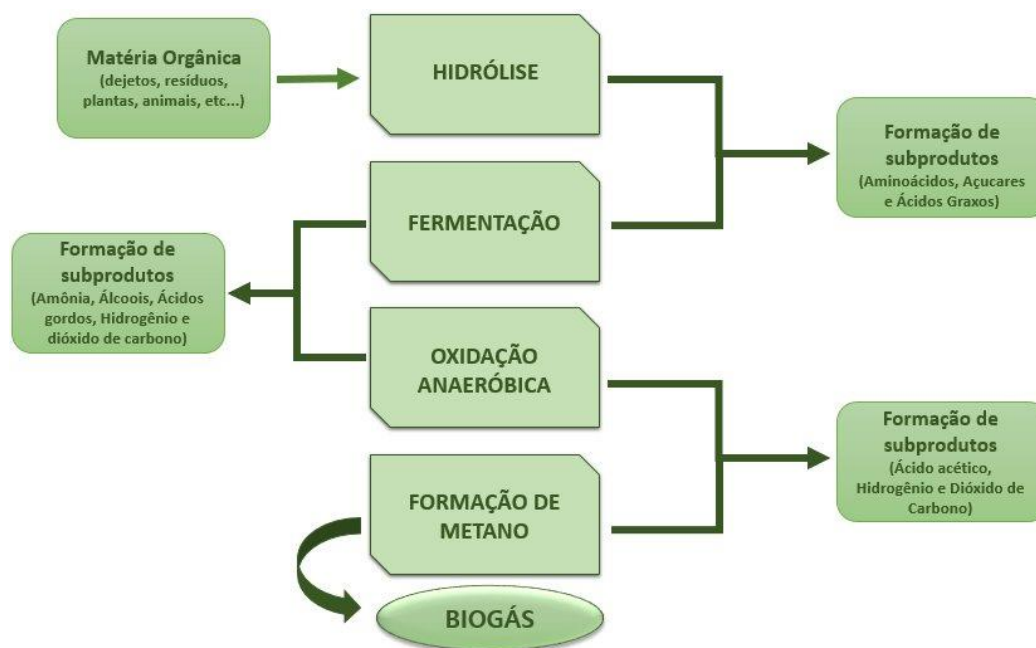
A acetogênese é a fase na qual os materiais resultantes da acidogênese são transformados em ácido etanoico, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas. Essa é uma das fases mais delicadas do processo, considerando que é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias Arqueas responsáveis pela metanogênese (ARAUJO, 2017).

A etapa final, metanogênese, ocorre em condições estritamente anaeróbias. Deste modo, o carbono contido na biomassa é convertido a dióxido de carbono e metano através da ação das Arqueas metanogênicas (AMARAL et al., 2019).

Apesar de parecer complexo, este processo de fermentação ocorre naturalmente e continuamente dentro do biodigestor, desde que o sistema seja manejado corretamente. (OLIVER et al., 2008).

A Figura 4 apresenta o conjunto de etapas que ocorrem no processo de formação do biogás.

Figura 4. Etapas da produção do biogás



Fonte: <<<http://www.infoescola.com>>> Acesso em 10/09/2020

De acordo com informações obtidas pelo projeto do MAPA, a produção de energia a partir do biogás implica em benefícios como: o benefício ambiental através do aproveitamento da parcela energética, redução da emissão de gases do efeito estufa, possibilidade de descentralização do uso de outras fontes de energia e

proximidade aos pontos de carga, autossuficiência energética, além da geração de renda e redução de custos econômicos.

3.7. Fatores que afetam na biodigestão

A produção do biogás está sujeita a fatores responsáveis pela sua eficiência e velocidade, desta forma, é importante entender quais as melhores condições para criação de um ambiente favorável e produtivo. O pH do substrato é um condicionante que interfere na velocidade do processo, e seu ponto ideal depende basicamente do grupo de bactérias que se está lidando (TURDERA, 2003; YURA, 2003). Nas fases da hidrólise e acidogênese o pH ideal está na faixa entre 5,2 a 6,3, já nas fases da acetogênese e metanogênese, o pH ideal está entre 6,5 a 8. Outro fator que influencia na velocidade da atividade microbiana é a concentração de nutrientes, o conhecimento acerca da composição química e o tipo da biomassa utilizada são importantes para que ocorra uma dosagem de nutrientes correta, e para que se constate em caso de insuficiência o déficit para futura supressão (ARAUJO, 2017). A temperatura também interfere na produção do biogás, constatando-se como nível adequado valores que se aproximam de 35°C, valores abaixo dos 15°C provocam a redução da produção. Outro fator limitante é o teor de água, a diluição deve abranger em torno de 1:1 e 1:2 de água para substrato, pois o excesso de água pode comprometer a etapa da hidrólise e a falta de água causar entupimento das canalizações do biodigestor (JUNQUEIRA, 2014). Além disto, deve-se considerar o tempo de detenção hidráulico, que consiste no tempo em que o substrato permanece no interior do biodigestor, o tempo de retenção varia de acordo com as características do substrato, para o substrato composto de resíduos de matéria orgânica o tempo de retenção varia entre 20 a 30 dias, destacando que nos 30 dias a carga orgânica já sofreu grande redução e a produção de biogás tende a decair (ARAUJO, 2017).

4. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida considerando o levantamento e análise de dados secundários, através da revisão bibliográfica sobre o tema e tendo como referência as seguintes etapas:

1. Levantamento de dados da geração dos resíduos alimentares de restaurante comercial durante os processos de pré-preparo e preparo.
2. Levantamento das características e diretrizes de projetos desenvolvidos e estudados de biodigestores de resíduos sólidos orgânicos, considerando os parâmetros usados para o dimensionamento e manutenção.
3. Avaliação do potencial de geração de metano no processo de biodigestão de resíduos sólidos orgânicos.
4. Proposta de biodigestor acessível para pequenos geradores de resíduos sólidos orgânicos.

4.1 Etapa 1 - Levantamento de dados da geração dos resíduos alimentares

O levantamento de dados, tido como base para o desenvolvimento do projeto, constitui-se inicialmente no reconhecimento das características que o local gerador apresenta. Desta forma, pode-se estimar a geração diária de resíduos orgânicos, através do estudo do referencial teórico. A definição das características do local gerador deste estudo, contempla a geração de resíduos alimentares nas etapas de pré-preparo e preparo de alimentos em restaurantes comerciais, tendo como referencial, artigos científicos e demais publicações científicas.

4.2. Etapa 2 - Levantamento das características e diretrizes de projetos de biodigestores de resíduos sólidos orgânicos

Pode-se estimar o tamanho do biodigestor através do volume necessário a suportar a produção da carga diária pelo período de retenção hidráulica necessário para que ocorra a fermentação, a fórmula do cálculo do volume do biodigestor conforme descreve Oliver et al., (2008):

$$VB = VC \times TRH \quad (1)$$

Onde:

VB = Volume do Biodigestor (m^3);

VC = Volume de Carga Diária (matéria orgânica + água) (m^3 /dia);

TRH = Tempo de Retenção Hidráulica (dias).

Para saber o volume da carga diária, é necessário saber a média de geração de resíduos alimentares que o local a ser implantado é responsável, além da quantidade de água a ser utilizada na mistura. Como o foco do trabalho gira em torno da geração de resíduos alimentares de um restaurante comercial durante os processos de pré-preparo e preparo das refeições, deve-se então encontrar valores de geração deste local e a quantidade de água a ser utilizada na mistura.

Encontrado o valor médio diário da geração do substrato, deve-se definir sua respectiva densidade para cálculo da Equação 1. A Tabela 3 demonstra valores apresentados por ARAUJO et al., (2015) que por meio de experimentos encontraram valores de densidade aparente dos resíduos alimentares de restaurante. Encontrados os valores da massa e densidade dos resíduos alimentares, pode-se então calcular seu volume. Este cálculo pode ser feito através da equação descoberta pelo matemático grego, Arquimedes, demonstrada abaixo:

$$Volume (m^3) = \frac{massa (kg)}{densidade \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad (2)$$

Outro fator a se atentar é o teor de água da mistura. De acordo com Junqueira (2014), o teor de água deve respeitar uma margem de proporção entre 1:1 e 1:2 de água para substrato, desta maneira, vamos admitir uma proporção de 1:1.

O tempo de retenção hidráulica também depende do tipo de substrato a ser utilizado, devendo-se portanto, levar em consideração todas as características específicas do local de implantação para melhor escolha dos parâmetros. A partir das informações abordadas na Tabela 4, e considerando a utilização de resíduos orgânicos provenientes das etapas de pré-preparo e preparo de alimentos sem adição de inóculo, admitiremos um tempo de detenção de 15 dias.

4.3. Etapa 3 - Avaliação do potencial de geração de metano

Para estimar o potencial de geração de metano, é necessário utilizar o valor encontrado do volume de resíduos gerados diariamente, estimado anteriormente, para que possa se estimar a quantidade de biogás que tal volume é capaz de gerar. De acordo com Muniz (2017) “como a digestão anaeróbica da matéria necessita de oxigênio é imprescindível calcular a demanda de oxigênio do material orgânico” para isso, utilizaremos a equação 3 utilizada por (BRONDANI, 2010 apud MUNIZ, 2017), que leva em consideração a quantidade de resíduos gerados diariamente:

$$DQO = Vdd \times 0,33 \quad (3)$$

Onde:

DQO= Demanda química de oxigênio (kg. L⁻¹)

Vdd= Média de carga diária do biodigestor (kg)

0,33= Demanda química de oxigênio por quilo

A partir da obtenção do valor da DQO necessária, é possível calcular a quantidade de metano gerado no sistema, pois para (BRONDANI, 2010 apud MUNIZ, 2017) “para cada 1 kg de DQO será produzido 0,35 m³ de metano”.

$$CH_4 = DQO \times 0,35 \quad (4)$$

É importante estar ciente de que além de estimar a capacidade máxima do potencial do biodigestor, sistemas de adaptação de aproveitamento do biogás para utilização na cozinha podem gerar perdas e conseqüentemente, reduzir a eficiência máxima do que é produzido até que chegue ao destino de utilização. Desta forma, devemos considerar a eficiência do biodigestor apresentada na Tabela 4, como o trabalho se refere aos processos de pré-preparo e preparo de refeições a maior parte dos resíduos serão frutas e verduras, o que implica na eficiência apresentada por Pavan et al., (1999) de 67-84%, na média temos uma eficiência de 75,5%.

4.4. Etapa 4 - Proposta de biodigestor acessível para pequenos geradores

A partir dos parâmetros definidos e valores de dimensionamento encontrados através das etapas anteriores, propõe-se configurar um biodigestor cujo sistema teve como base a metodologia aplicada por Dominiak et al., (2016), que utiliza materiais simples e de fácil aquisição, mas que apresentam a funcionalidade e capacidade adequada quanto ao dimensionamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapa 1 - Levantamento de dados da geração dos resíduos alimentares

Como a primeira etapa a ser realizada para o dimensionamento do biodigestor, consiste no levantamento de dados de geração diária de resíduos alimentares de restaurantes comerciais, buscou-se a média diária de geração destes resíduos, considerando os valores encontrados por alguns autores. Verificou-se uma média diária de geração de aproximadamente 17,28kg/dia proveniente de uma média de 125 refeições diárias, como mostra a Tabela 2 composta por dados de estudos avaliados.

Tabela 2. Média diária da produção de restos alimentares em restaurantes comerciais

Fonte	Média diária da produção de restos alimentares no Pré-preparo e preparo das refeições(kg/dia)
JUNIOR, 2012	16,84
RIBEIRO et al., 2014	17,57
BORGES et al., 2016	17,43
Média = 17,28 kg/dia	

Fonte: Adaptado pelo autor

5.2 Etapa 2 - Levantamento das características e diretrizes de projetos de biodigestores de resíduos sólidos orgânicos

Para que seja possível o cálculo do volume do biodigestor, objetivo desta etapa, será necessário o cálculo de outros valores que servirão como base para o objetivo final. Inicialmente deve-se calcular o volume de carga diária, expressado pela equação 2. Para que isto seja possível, deve-se obter dados referentes à densidade que este tipo de resíduo apresenta. A Tabela 3 demonstra valores apresentados por ARAUJO et al., (2015) que por meio de experimentos encontraram valores de densidade aparente dos resíduos alimentares de restaurante.

Tabela 3. Análise Gravimétrica

Massa (resíduo + recipiente) (Kg)	Massa (resíduo) (Kg)	Volume (L)	Densidade Aparente (kg/m ³)
Ensaio 1	5,008	4	1.132
Ensaio 2	7,630	6	1.190
Ensaio 3	9,264	8	1.098

Ensaio 4	11,231	10	1.075
Média da Densidade Aparente = 1123,75 kg/m³ ou 1,12375 g/cm³			

Fonte: Adaptado de ARAUJO et al., (2015)

Desta forma, podemos aplicar na Equação 2 os dados já encontrados, conforme visto abaixo:

$$Volume (m^3) = \frac{17,28 (kg)}{1123,75 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 0,01538 m^3$$

O volume encontrado refere-se ao volume de resíduo que é gerado diariamente, porém, ao inserir a carga no biodigestor deve-se realizar uma mistura de resíduo + água. O teor de água adotado no projeto e já citado anteriormente foi numa proporção de 1:1, o que implica que como o volume de resíduo alimentar é de 0,01538 m³, o de água também será. Portanto o volume de carga diária será:

$$VC = 0,01538 (matéria orgânica) + 0,01538 (água) = 0,03076 m^3$$

Além do volume de carga diária, outro fator importante para o cálculo de dimensionamento do biodigestor, é o tempo de retenção hidráulica do substrato. Na Tabela 4 adaptada por Barcelos (2009) há informações reunidas de diversos autores a respeito do tempo de detenção, que varia se utilizado inóculo ou não, além de dar informações a respeito da eficiência e temperatura ideal do sistema.

Tabela 4. Dados de alguns estudos sobre digestão anaeróbica de resíduos sólidos

Referência	Resíduo	Inóculo	Sólidos Totais (%)	Temperatura (°C)	Tempo de Detenção (dias)	Eficiência (%)
Mtz. Viturtia et al. (1995)	Frutas e verduras	Esterco bovino e suíno	6	35	4,5 - 18	27-72 (STV)
Cechi et al. (1993)	FORSU		20	37-55	13,5 - 14,5	24-34 (STV)
Pavan et al. (1999a)	Frutas e verduras		8	35-56	11 - 12	67-84 (STV)
Pavan et al. (1999b)	FORSU		10-25	55-56	11 - 12	37-82 (STV)
Hartmann e Ahring (2005)	FORSU	Esterco bovino	25	55	14 - 18	69-74 (STV)

Fonte: Adaptado de BARCELOS (2009)

Com base nas características dos resíduos utilizados neste estudo, e já definido anteriormente, o tempo de retenção hidráulico adotado será de 15 dias. Logo, o volume do biodigestor pode ser definido pela equação 1.

$$VB = 0,03076 \times 15 = 0,4614 \text{ m}^3$$

5.3 Etapa 3 - Avaliação do potencial de geração de metano

Para estimativa de geração de metano do sistema, deve-se solucionar equação 3, disposta a seguir, que calcula a demanda química de oxigênio utilizada por Brondani (2010). Como a geração de resíduos/dia é de 17,28 kg e a demanda química de oxigênio é de 0,33/kg, tem-se:

$$DQO = 17,28 \text{ (kg)} \times 0,33$$

$$DQO = 5,7024 \text{ (kg/L)}$$

A partir disto, pode-se calcular a quantidade de metano produzida, dada pela equação 4:

$$CH_4 = 5,7024 \times 0,35$$

$$CH_4 = 1,99584 \text{ (m}^3\text{)}$$

Como descrito na literatura, o sistema possui uma eficiência que pode variar de acordo com o tipo de resíduo aproveitado e qual seu aproveitamento no processo anaeróbico. A eficiência adotada pelo trabalho através da consulta à literatura, já descrita anteriormente é de 75,5%, o que resulta em uma produção de biogás diária de 1,5066m³.

De acordo com (OLIVER et al., 2018) “o biogás possui uma queima limpa e renovável, e seu poder calorífico varia de 5000 a 7000Kcal/m³. A Tabela 5 apresenta o comparativo de equivalência de 1m³ de biogás

Tabela 5. Comparação de equivalência

1m ³ de biogás	0,45 litro gás de cozinha
	1,50 quilo de lenha
	0,79 litro e álcool hidratado
	0,61 litro de gasolina

	0,58 litro de querosene
	0,55 litro de óleo diesel

Fonte: Adaptado de Oliver et al, 2008

O botijão de cozinha mais utilizado P-13, possui 13kg e uma capacidade de volume líquido de 31,5L. Considerando a equivalência abordada na Tabela 5, a produção de 1,5066m³ de biogás equivale a 0,678 litros de gás de cozinha, cerca de 2,15% de um botijão de gás de uso doméstico. De acordo com Ash (2017) uma boca grande de um fogão doméstico com uma chama média, consome cerca de 0,225kg/hora, já o forno nestas mesmas condições consome cerca de 0,300kg/hora. Em fogões industriais, o consumo para queimador simples é de 0,300kg/hora. Desta forma, podemos realizar uma regra de três simples, capaz de fornecer a potencialidade de aproveitamento do biogás.

$$\begin{array}{l} 13kg - 31,5L \\ x - 0,678L \end{array}$$

O resultado desta regra de três demonstra um aproveitamento de 0,2798kg. Sendo assim, a geração de biogás é capaz de suprir cerca do consumo de 1 hora de uma boca grande de um fogão doméstico, em chama média, por dia.

Um fator importante a que deve-se estar atento, é a adoção de medidas que retirem substâncias que podem comprometer a aplicação do biogás, tais como: a umidade, o dióxido de carbono e o ácido sulfídrico. Medidas de purificação do gás, permitem torna-lo mais eficiente, já que a água e o dióxido de carbono são responsáveis pela diminuição da eficiência no processo de queima, uma vez que absorvem parte da energia gerada, além do ácido sulfídrico, que provoca perda de potência, combustão incompleta e falha de alimentação do sistema (LIMA, 2012; PASSAMANI, 2012). A remoção dos compostos varia de acordo com o sistema de aproveitamento do biogás a ser utilizado, a Tabela 6 apresenta um resumo das principais substâncias que devem ser removidas a depender da utilização do biogás.

Tabela 6. Remoção de componentes do biogás dependendo da sua utilização

Aplicação	H₂S	CO₂	H₂O
Microturbinas	Sim	Não	Sim
Motores Combustão Interna	Sim	Não	Sim
Caldeiras	<1000ppm	Não	Não
Fogões	Sim	Não	Não

Combustível veicular	Sim	Recomendável	Sim
Rede de gás natural	Sim	Sim	Sim

Fonte: Lima e Passamani (2012)

A escolha pelo hidróxido de cálcio é justificada pela literatura, apresentando como destaque a alta taxa de purificação, reduzindo o CO₂ entre 0,5 e 1% em volume e a absorção completa do gás sulfídrico (ZHAO et al., 2010 apud CANEVER, 2017). O hidróxido de carbono possui custos de implantação relativamente baixos e é um composto de fácil acesso (NAS, 1997 apud FREDDO, 2017). Motivo pelo qual torna-se uma escolha viável para o projeto.

Como a escolha do sistema irá realizar o aproveitamento através da utilização em fogões, deve-se encontrar mecanismos que consigam remover o gás sulfídrico (H₂S) do sistema. A absorção química deste gás pode ser feita através de soluções aquosas de aminas como: mono-, di-, ou tri-etanolamina ou soluções aquosas de sais alcalinos como hidróxidos de cálcio, potássio ou sódio. Através de estudos realizados por (MEL et al., 2014 apud FREDDO, 2017) foram analisadas diferentes concentrações do hidróxido de cálcio a fim de analisar a eficiência na purificação do biogás, desta forma, constatou-se que houve um aumento na redução dos teores de CO₂ a medida em que aumentava-se a concentração do Ca(OH)₂, tendo a concentração de 0,063 mol.L⁻¹ uma eficiência de 71% na remoção do CO₂.

Se considerarmos a concentração de 0,063 mol.L⁻¹, citada pelos estudos de (MEL et al., 2014 apud FREDDO, 2017), para cada colher de sopa rasa (20g) de hidróxido de cálcio, tem-se 4,28 litros de água. Esta proporção se obtém através da Equação 5, que descreve a fórmula da molaridade:

$$M = \frac{M1}{MM \cdot v} \quad (5)$$

$$0,063(\text{mol/L}) = \frac{20(\text{g})}{74,093(\text{g/mol}) \cdot v(\text{L})}$$

Onde:

M= Concentração da solução (mol.L⁻¹)

M1= Massa do soluto (g)

MM= Massa molar (g/mol)

v= Volume da solução (L)

Outra opção viável, é a utilização de palha de aço no processo de remoção do gás sulfídrico (DIAS, 2014; SOUZA, 2014).

5.4 Etapa 4 - Proposta de biodigestor acessível para pequenos geradores

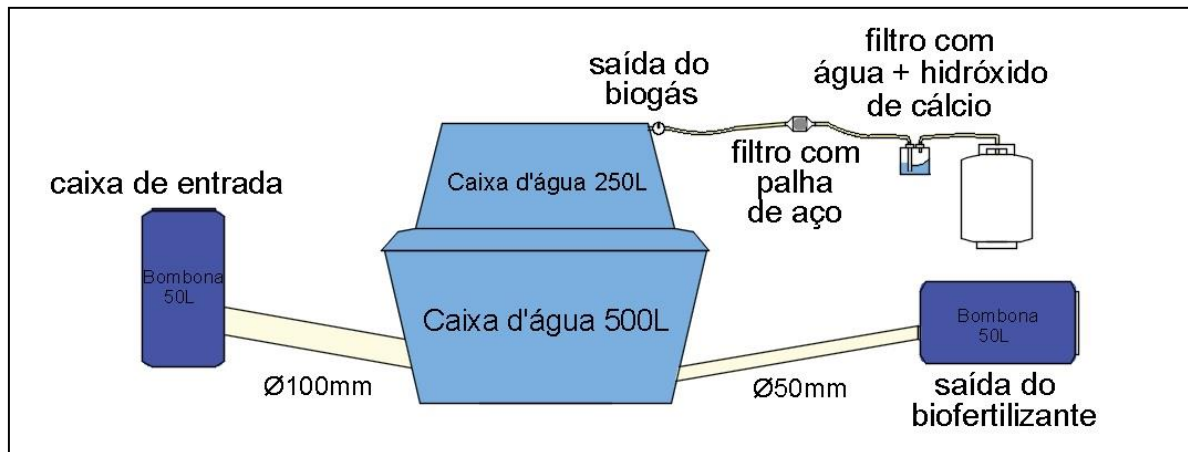
Para fins de avaliação teórica e visando uma realidade prática acessível, optou-se por utilizar uma caixa d'água de 500L, como o biodigestor. Este material é capaz de suportar a capacidade de substrato gerado diariamente, além de ter custos baixos e fácil acesso no mercado. A caixa de entrada deve possuir uma capacidade de recebimento no mesmo volume que a carga de geração diária mais o volume de água, como a carga é de $0,03076\text{m}^3$, optou-se pela escolha de uma bombona de 50 litros capaz de suportar a carga diária, assim como, uma carga diária maior atípica. Nela, será conectada uma tubulação de PVC (100 mm) para que não haja riscos de entupimento do sistema, o ideal é que a mistura de resíduos mais água seja triturada antes da descarga para que a mistura se torne a mais homogênea possível, facilitando a velocidade de degradação da matéria orgânica.

A partir da descarga na caixa de entrada, a tubulação localizada em seu fundo estará conectada no fundo da caixa d'água de 500 litros que funcionará no sistema como o biodigestor, é neste recipiente que os resíduos permanecerão durante o tempo de retenção hidráulica, sofrendo ação das bactérias anaeróbicas, transformando o material em biofertilizante e biogás, como já foi visto no referencial teórico.

Para o gasômetro, foi escolhida uma caixa d'água de 250 litros que se posicionará de forma invertida sobre a primeira caixa, funcionando como um aprisionamento do gás gerado. Para sua confecção deve-se cortar na tampa da caixa de 500 litros um diâmetro equivalente à caixa de 250 litros, para posterior encaixe, é importante que nesta etapa não haja espaços no encaixe permitindo a entrada de ar, que comprometerão o funcionamento do sistema. Para saída do biofertilizante será conectada no lado oposto ao da entrada, uma tubulação de 50 mm responsável pelo transporte do biofertilizante até outra bombona de 50 litros que armazenará o subproduto, tida como caixa de saída. Para que a descarga diária não passe diretamente para a tubulação da caixa de saída, será implantada no centro do biodigestor uma tubulação de 300 mm cortada, servindo como receptor da carga diária. A Figura 5 mostra um esquema da disposição de todo o sistema proposto.

Para evitar riscos de explosão no início da operação, é importante que a produção inicial de biogás seja liberada, e não queimada, pois pode apresentar o risco do biogás estar misturado com oxigênio. Além disso, é importante se atentar a qualquer vazamento e consertá-lo assim que detectado (OLIVER et al., 2008).

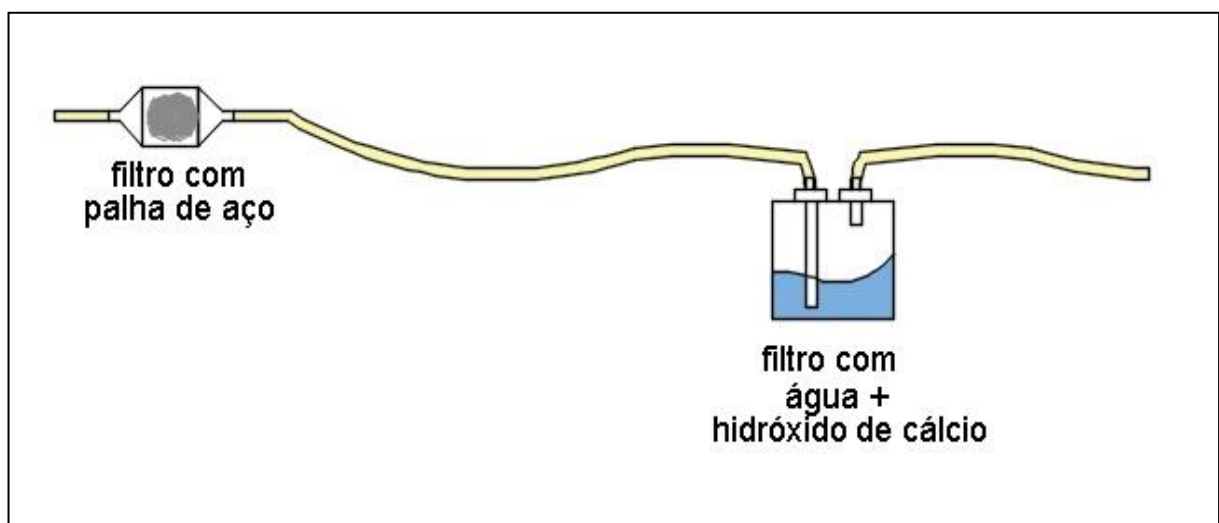
Figura 5. Esquema da disposição do sistema



Fonte: Autor (2020)

Acoplada no lado superior do gasômetro, estará conectada uma válvula para gás juntamente com a mangueira, que realizará o transporte do biogás até o local de seu aproveitamento. Durante o percurso da mangueira, estará conectada uma tubulação de 50mm com palha de aço em seu interior, funcionando como uma espécie de filtro, responsável por parte da purificação do biogás, como abordado na literatura. Após a passagem do biogás pelo 1º sistema de filtro com palha de aço, também haverá uma conexão posterior da mangueira em um recipiente com uma solução de hidróxido de cálcio, também responsável pela purificação do biogás. Este recipiente deve ser adaptado de forma que a mangueira se conecte a tampa do recipiente, com uma tubulação de entrada conectada à tampa e longa o suficiente para se aproximar do fundo do recipiente, fazendo com que o biogás entre em contato com a solução, já a tubulação de saída do biogás, para que o percurso continue, deve estar na metade do recipiente. Após a purificação, o biogás é encaminhado então a um botijão de gás vazio responsável por seu armazenamento. A Figura 6 mostra o esquema dos filtros para purificação do biogás.

Figura 6. Esquema dos filtros para purificação do biogás



Fonte: Autor (2020)

Outro aspecto a ser considerado no sistema de captação do biogás, é o acúmulo de vapor d'água que se deposita nos pontos mais baixos, ao longo do percurso da tubulação de captação. De acordo com Oliver et al., (2008) juntamente com o biogás há sempre vapor d'água, que acaba por se depositar nos pontos mais baixos, e com o tempo provocam o impedimento da passagem do biogás, devendo portanto, ser instalados drenos feitos com conexão T, esta conexão fará a junção de uma tubulação mergulhada em um recipiente com água com a tubulação de transporte do biogás.

Para Junqueira (2014), é importante se atentar a alguns fatores ao escolhermos a localização do biodigestor, como: estudar a facilidade de transporte da biomassa do ponto gerador ao biodigestor diariamente, além da facilidade de remoção e transporte do biofertilizante, e a distância da geração do biogás até sua utilização.

A Tabela 7 apresenta os equipamentos necessários para confecção do sistema, assim como, um levantamento da média de preços dos respectivos materiais.

Tabela 7. Tabela de materiais e preços

Material	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Sistema de Entrada e Biodigestão do Biodigestor			
Caixa d'água de Polietileno 500L	1	241,10	241,10
Caixa d'água de Polietileno 250L	1	178,20	178,20
Bombona 50L	1	143,16	143,16
Tubulação PVC 100mm, 2m	1	11,43/m	22,86
Tubulação PVC 300mm, 1m	1	107,72/m	107,72/m
Joelho PVC 100mm 45°	2	7,20	14,40
Lixa massa P100	1	1,31	1,31

Silicone Alta Temperatura Cinza PU30 300g	1	28,35	28,35
Total			737,10

Sistema de Coleta e Armazenamento do Biofertilizante

Bombona 50L	1	143,16	143,16
Tubulação PVC 50mm, 1m	1	7,73/m	7,73/m
Joelho PVC 50mm Esgoto 45°	2	3,60	7,20
Total			158,09

Sistema de Coleta do Biogás

Luva de PVC 3/4" x 1/2"	1	3,16	3,16
Bucha de Redução Bronze 3/4x1/2" rosca 30	1	10,87	10,87
Válvula Bronze para gás com 2m de mangueira	1	163,29	163,29
Luva soldável com rosca tigre 50mm x 1 1/2	2	18,20	36,40
Tubulação PVC 50mm, 1m	1	7,73/m	7,73/m
Lã de aço	1	1,62	1,62
Adaptador de mangueira	2	3,45	6,90
Tubulação PVC 25 mm	1	3,03/m	3,03
Recipiente transparente de 10 litros	1	26,90	26,90

	Total	259,90
--	-------	--------

Fonte: Autor (2020)

6. CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da realidade atual, não somente no aspecto ambiental mas também econômico, a procura por tecnologias que tragam benefícios para ambas as vertentes, é sem dúvida, importante e necessária. Desta forma, o estudo e abordagem sobre o uso do biodigestor destaca-se como imprescindível, assim como, o estudo de outras tecnologias que sejam capazes de suprir a demanda energética e diminuir danos ambientais causados diariamente.

A estimativa de produção de biogás obtida através dos cálculos desenvolvidos neste trabalho, tornou-se satisfatória, assim como, a produção de biofertilizante. Tendo em vista que no cotidiano destas empresas os resíduos orgânicos seriam descartados sem nenhum tipo de utilização, a adoção deste sistema permite que algo antes visto como inútil, não somente contribui ambientalmente, como, agrega ao aspecto econômico diminuindo despesas com gás de cozinha, produto inclusive muito utilizado por restaurantes. Além da geração de biofertilizante, que abre uma nova possibilidade de uso, como a melhoria da paisagem no entorno do empreendimento, ou criação de jardim, que se converterá numa estratégia de marketing para maior captação de clientes.

Desta forma, o estudo demonstrou a relevância do biodigestor, seus inúmeros benefícios, assim como, suas peculiaridades e fatores que o fazem ser viável dependendo da situação. E é por esta razão, que a diversidade de tecnologias é necessária, pois cada situação configura-se em características diferentes, com propósitos diferentes, resultando em possibilidades diferentes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2017.

Amaral, A.C.; STEINMETZ, R.L.R.; KUNZ, A. **O processo de biodigestão**. Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197604/1/final9154.pdf>>. Acesso em: 29 Ago. 2020.

ARAUJO, A.C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

ASH, C. **Calculadora de consumo de gás**. 2017. Disponível em: <[BARBOSA, G.; LANGER, M. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental**. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.](https://cristianoash.wordpress.com/2017/06/04/calculadora-de-consumo-de-gas/#:~:text=Pelos%20estudos%20que%20fiz%2C%20a,ser%20de%200%2C300%20Kg%2Fh.>>. Acesso em: 25 Set. 2020.</p></div><div data-bbox=)

BARCELOS, B.R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. Universidade de Brasília, Brasília - DF, fev., 2009.

BASSO, R.A.; FERREIRA, A.H.; OLIVEIRA, S.V.W.B. **Implantação de biodigestores para tratamento e geração de energia em biotério de criação de animais**. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 02 Set. 2020.

CALZA, L.F. ET AL. **Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás**. Revista engenharia agrícola, Jaboticabal, v.35, n.6, p.990-997, nov./dez. 2015.

CANEVER, V.B. **Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavél – PR, mar., 2017.

CARVALHO, E.M.A.; SILVA, I.A.F. **Análise Diagnóstica sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos: um Estudo de Caso no Aterro Sanitário de Cuiabá – Mt**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET), 2008.

CHIABI, L. **Principais problemas do lixo orgânico ir para o aterro**. jun, 2017. Disponível em: <<http://blog.cicloorganico.com.br/sustentabilidade/principais-problemas-do-lixo-organico-ir-para-o-aterro/#comments>>. Acesso em: 25 Set. 2020.

CIME L.E.M.R. et al. **Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade**. Campina Grande, 2018.

COELHO, D.C.J. et al. **Resíduos alimentares - Impactos, possíveis usos e legislação**. Revista Espacios, vol. 37 (Nº 16) pag. 12, 2016. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a16v37n16/16371612.html>>. Acesso em: 29 Ago. 2020.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 1ª ed. 160 p. 2005.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. 2002. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em: 01 Set. 2020.

DOMINIAK, A.L.; TONELLO, J.P.C.; SILVA, W.A. **Projeto e implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Rural de BIOENERGIA**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/487359/sistema-rural-de-bioenergia>>. Acesso em: 28 Ago. 2020.

FAO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Desperdício de Alimentos**. Convenção Abras, São Paulo, 2017.

FONSECA, F.S.T.; ARAÚJO, A.R.A.; HENDGES, T.G. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas - MA: um estudo de caso**. Universidade Estadual do Maranhão, Balsas - MA, 2009. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/12517842/analise-de-viabilidade-economica-de-biodigestores-na-sober>>. Acesso em: 16 Set. 2020.

FREDDO, A. **Estudo da remoção de dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio de biogás utilizando soluções absorvedoras**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Universidade de São

Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/#>>. Acesso em: 01 Set. 2020.

JUNQUEIRA, S.L.C.D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

LEITÃO, B.R.G.S.; LEITÃO, C.S.S. **Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento de resíduo alimentar**. Revista de Produção Acadêmico-Científica, Manaus, v.2, n.º 2, 2015.

LIMA, A.C.G.; PASSAMANI, F.C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

MALINOWSKY, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de Resíduos Orgânicos**. 2017. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADuos-org%C3%A2nicos.html>>. Acesso em: 25 Set. 2020.

OLIVER, A.P.M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. fev, 2008. Disponível em: <https://www.academia.edu/6686420/MANUAL_DE_TREINAMENTO_EM_BIODIGEST%C3%83O>. Acesso em: 06 Set. 2020.

PEREIRA, G. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais**. Ijuí, 2009.

PLANSAB. PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. **Caderno Temático 4: Valorização de Resíduos Orgânicos**. 43 p. 2018.

ROCHA, C.M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SANTOS et al., S.J. **Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar**. Alagoas, v.11, n.3, p.290-297, mar, 2017.

SIQUEIRA, T.M.O.; ABREU, M.J. **Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana**. Cienc. Cult. vol.68, nº.4, São

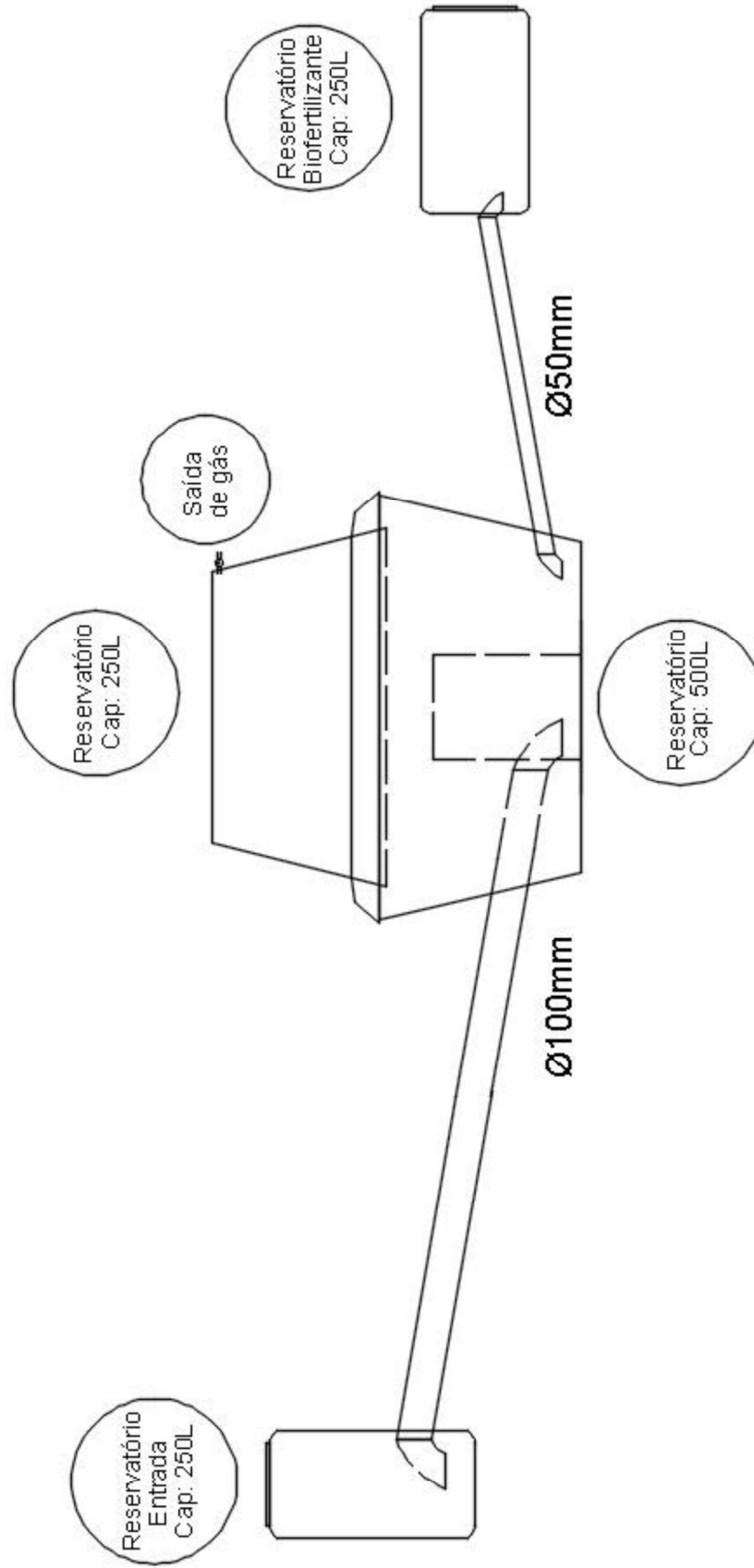
Paulo, out./dez., 2016. Disponível em:
<http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252016000400013&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: 12 Set. 2020.

TURDERA, M.V.; YURA, D. **Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados**. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, MS, 2003.

ZAGO, V.C.P.; BARROS, R.T.V. **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018. Disponível em:
<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200219>. Acesso em: 29 Ago. 2020.

APÊNDICE A

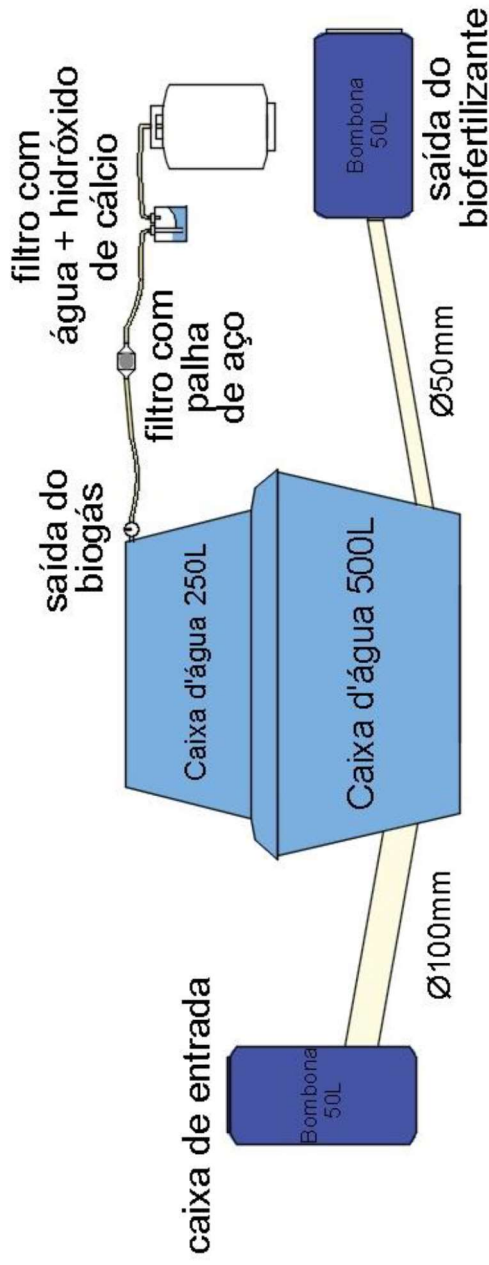
Sistema de implantação de biodigestor



ESCALA 1/20

Manual de Instruções Biodigestor

1. Descarte a produção inicial do biogás, não utilizando-o para queima, desta forma, evita-se que ocorram riscos de explosões caso ainda haja oxigênio no sistema.
2. Lembre-se de misturar a proporção de 1:1 de água e resíduo, sempre que alimentar a caixa de entrada.
3. Alimente diariamente o biodigestor com a mistura de resíduo + água. Tente deixar a mistura mais homogênea, triturando-a caso seja possível.
4. Observe a velocidade de enchimento do reservatório de biofertilizante, para que não atinja sua capacidade máxima de armazenamento.
5. Quando detectado o enchimento do reservatório de saída do biofertilizante utilizá-lo, para que a capacidade do sistema seja liberada.
6. O biofertilizante quando produzido já poderá ser utilizado.



APÊNDICE B

9. Observar periodicamente as condições da palha de aço e a quantidade de solução dentro do filtro, para que a purificação do biogás permaneça funcionando.
 10. Assim como, observar periodicamente todo o sistema para evitar presença de vazamentos, ou se há necessidade de troca de peças por desgaste.
 11. A solução de hidróxido de cálcio + água deve ser feita na seguinte proporção: para cada colher de sopa rasa (20g) de hidróxido de cálcio colocar 4,28 litros de água.
7. Para utilização do biofertilizante líquido, utilizar 1 litro de biofertilizante para 10 litros de água, passando a mistura em uma peneira antes da aplicação.
 8. Para utilização do biofertilizante sólido, utilizá-lo como adubo.
 9. Assim como o biofertilizante, após detectada a produção de biogás já pode-se utilizá-lo.
 10. Lembre-se de realizar a primeira descarga do sistema, para posteriormente utilizá-lo normalmente na queima.