



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

SEBASTIANA DOS RAMOS GOMES

**ESTUDOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

REDENÇÃO, CE

2022

SEBASTIANA DOS RAMOS GOMES

**ESTUDO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Artemis Pessoa Guimarães

REDENÇÃO, CE

2022

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Gomes, Sebastiana Dos Ramos.

G633e

Estudos de produção de biogás através de resíduos orgânicos /
Sebastiana Dos Ramos Gomes. - Redenção, 2022.
35f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de
Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da
Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção,
2022.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Artemis Pessoa Guimarães.

1. Biodigestor - Digestão anaeróbica. 2. Biogás. 3. Resíduos
orgânicos. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 665.70724

SEBASTIANA DOS RAMOS GOMES

ESTUDO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira. UNILAB – Campus dos Auroras. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Aprovado em: 29/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Artemis Pessoa Guimarães

.....
Prof.ª Dr.ª Artemis Pessoa Guimarães

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro – Brasileira

Ada Amelia Sanders Lopes

.....
Prof.ª Dr.ª Ada Amelia Sanders Lopes

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro – Brasileira

Rita Karolinny Chaves de Lima

.....
Prof.ª Dr.ª Rita Karolinny Chaves de Lima

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro – Brasileira

Dedico este trabalho ao meu pai e meu herói, Sebastião Manuel do Espírito Santo Gomes, pelo amor, e o apoio que ele tem me dado todos os dias.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida, saúde e por estar sempre comigo em todos os momentos da minha vida mesmo quando eu me mostro ingrata.

Ao meu pai Sebastião Manuel do Espírito Santo Gomes e ao meu irmão Abdu dos Ramos Gomes, pelo apoio e incentivo e por não me deixar desistir mesmo quando tudo parecia estar dando errado.

A minha Orientadora Prof.^a Artemis Pessoa Gimarães, pelo apoio, paciência e o tempo a mim disponibilizado.

Ao meu namorado Batista Dala, pelo incentivo e apoio durante essa jornada.

As minhas amigas, Silvia Carvalho e Hortência Fonseca, pela amizade e companheirismo durante este percurso.

A UNILAB, seu corpo docente, pela oportunidade de fazer parte dessa grande família.

A equipe do IEDS, em especial a secretária, Maria Fabiana, pela disponibilidade em ajudar sempre que possível.

A equipe de funcionários do RU do Campus da Liberdade, pela amizade, ajuda e tempo que disponibilizaram para me ajudar durante a pesquisa.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação aos amigos que tive a oportunidade de fazer durante esse percurso, o meu muito obrigada a todos.

“Superar a pobreza não é um gesto de caridade.
É um ato de justiça. É a proteção de um direito
fundamental, o direito a dignidade e a uma vida
decente”

Nelson Mandela

RESUMO

Diversas pesquisas têm demonstrado que os resíduos alimentares podem ser utilizados como combustível para a produção de energia. A matéria orgânica decomposta produz gases como o biogás que posteriormente podem ser armazenados e convertidos em eletricidade. Este trabalho tem como objetivo propor a implantação de um digestor anaeróbio utilizando como matéria-prima os resíduos alimentares descartados dos Restaurantes Universitários da UNIILAB. Foi desenvolvida uma pesquisa de campo para saber quantos alunos frequentam o restaurante e quanto de resíduos são descartados diariamente, além de verificar qual campus tem maior frequência de alunos. A pesquisa revelou que o Campis da Liberdade é onde há maior fluxo de alunos tanto no almoço quanto no jantar e que, em média, são descartados diariamente 152,68 kg de alimentos, quantidade que pode ser utilizada para alimentar um digestor anaeróbio. A caracterização dos resíduos e seu dimensionamento foram realizados com base em uma revisão de literatura. Com os resultados obtidos, foi possível determinar alguns parâmetros para verificar a quantidade de biogás gerado e o volume necessário para que isso aconteça. Com esta quantidade diária de resíduos orgânicos, podem ser produzidos 15,3m³/dia de biogás, que pode ser aproveitado de diversas formas, inclusive para a geração de energia elétrica, podendo produzir cerca de 33,81kwh. Após a produção do biogás, os biofertilizantes podem ser recuperados do biodigestor para serem utilizados na fazenda da universidade. O biodigestor proposto é o modelo canadense (da marinha), por ser mais econômico de implementar e ter maior taxa de produção de biogás.

Palavras-chave: Biodigestor. Biogás. Digestão anaeróbica. Resíduos orgânicos.

ABSTRACT

Several researches have shown that the leftover of food can be used as fuel for energy production. The decomposed organic matter produces gases that can later be stored and converted into electricity. This work aims to propose the implementation of an anaerobic digester using as feedstock the leftover food discarded from the university restaurants of UNILAB. A field survey was developed to find out how many students attend the restaurant and how much leftovers are discarded daily, in addition to verifying which campus has the most student attendance. The research revealed that the Liberdade campus is where there is a greater flow of students both during lunch and dinner and that, on average, 152.68 kg of food are discarded daily, an amount that can be used to feed an anaerobic digester. The characterization of the waste and its dimensioning were carried out based on a literature review. With the obtained results, it was possible to determine some parameters in order to verify the amount of the generated biogas and the necessary volume for this to happen. With this daily amount of organic waste, 15.3 m³/day of biogas can be produced, which can be used in different ways, including for the generation of electricity, being able to produce about 33.81 kWh. After biogas production, biofertilizers can be recovered from the biodigester to be used on the university farm. The proposed biodigester is the Canadian model (from the navy), as it is more economical to implement and has a higher biogas production rate.

Keywords: Biodigester. Biogas. Anaerobic digestion. Organic Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de formação do biogás	09
Figura 2 - Biodigestor modelo Indiano	11
Figura 3 - Biodigestor modelo chinês	12
Figura 4 - Biodigestor modelo canadense	13

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABiogás	Associação Brasileira de Biogás
AIE	Agência Internacional de Energia
CH ₄	Metano
C/N	Relação Carbono e Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
GEE	Emissões de Gases de Efeito Estufa
H ₂ O	água
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Kg/dia	Quilograma por dia
Kwh/dia	Quilowatt hora por dia
O ₂	Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
RU	Restaurante Universitário
S	Enxofre
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UNILAB	Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
ρ	Massa específica
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	2
2	OBJETIVO	2
2.1	OBJETIVO GERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
3	REVISÃO DA LITERATURA	3
3.1	BIOMASSA	3
3.2	BIOGÁS	3
3.2.1	Diferença entre gás metano e biogás	3
3.2.2	Fatores que influenciam na produção do biogás	5
3.2.3	Aplicações	6
3.3	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	7
3.3.1	Hidrólise	7
3.3.2	Acidogênese.....	8
3.3.3	Acetogênese.....	8
3.3.4	Metanogênese	8
3.4	BIODIGESTORES	10
3.4.1	Modelo de biodigestores.....	10
3.4.2	Modelo indiano.....	10
3.4.3	Modelo chinês.....	11
3.4.4	Modelo canadense	12
4	ESTADO DA ARTE	13
5	METODOLOGIA	16
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
5.2	OPERAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	16
6	RESULTADO E ANALISE	19
6.1	COLETA DE DADOS	19
6.2	OPERAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	19
7	CONCLUSÃO	21
	REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é composta principalmente por fontes não renováveis e as fontes renováveis representam apenas 14%. (Empresa de pesquisa energética, 2021) Dentro dessa percentagem renovável temos a biomassa com 9,3%. A matriz energética brasileira diferente do mundo tem uma participação maior de fontes renováveis, 46% e com isso a emissão de gases de efeito estufa emitido pelo Brasil é menor em relação a maioria dos outros países. (Empresa de pesquisa energética, 2021). Como uma das fontes renováveis o biogás proveniente da biomassa ganha espaço e cresce consideravelmente. Com o aumento de 23% ao ano no volume do biogás produzido entre 2019 e 2020, e 22% na quantidade de pequenas usinas em operação com aplicação energética (Panorama do biogás no Brasil, 2020).

Segundo a ABiogás, o Brasil tem um potencial quanto a produção de biogás bruto (sem passar por purificação) de 82,58 bilhões de metros cúbicos ao ano, levando em conta os setores sucroenergético, saneamento, produção agrícola e proteína animal. Em comparação com o cenário atual de 1,83 bilhões de metros cúbicos ao ano, podemos constatar que o Brasil só usa 2% do potencial disponível (Panorama do biogás no Brasil, 2020).

A produção e o descarte sem controle dos resíduos se tornaram um problema a ser resolvido, pois a decomposição desses resíduos produz metano um gás altamente poluente e contribui para a Emissão de Gases de Efeitos Estufa (GEE) que prejudica consideravelmente a atmosfera.

Negligencia nesse sentido causou impactos ambientais significativos, por conta disso as autoridades dos países procuraram uma maneira de reaproveitar esses resíduos. A implementação de usinas de biodigestão anaeróbia se tornou a alternativa mais economicamente de lidar com este problema. Biodigestores são tecnologias utilizadas na produção de biogás a partir de resíduos por meio de processos químicos como a hidrólise, fermentação e a metanogênese, esses processos ocorrem num meio sem a presença do oxigênio. (BIODIGESTOR, 2021)

O Brasil tem hoje cerca de 675 usinas de biogás, algumas em operação para fins energéticos, outras em implantação e em reforma. 35% dessas usinas em operação podem encontrar no estado de Minas Gerais (Panorama do biogás no Brasil, 2020).

De acordo com a Organização mundial das nações unidas (ONU) (2019), no mundo cerca de 1/3 de alimento é desperdiçado todo ano, o que equivale a 1,3 bilhão de toneladas de alimento. Frente ao desperdício desmedido de recursos naturais, o biodigestor chega como solução de reaproveitamento desse resíduo alimentar como

matéria prima do biodigestor e conseqüentemente há produção do biogás através da biodigestão anaeróbia.

1.1 JUSTIFICATIVA

A universidade é um lugar de produção e propagação de conhecimento assim como de formação de pessoas que governarão o mundo. Sendo assim a ideia de proteger o nosso planeta apostando em fontes renováveis de energia é abraçada e incentivada por ela. A implementação de biodigestor na nossa universidade se mostra atraente e eficiente, pois além de produzir energia servirá de incentivo par outras instituições de ensino. O aproveitamento dos resíduos gerados, fazem com que essa matéria não seja descartada indevidamente causando impactos ao Meio Ambiente.

Podemos produzir combustível limpo e ao mesmo tempo reutilizar esses mesmos resíduos remanescentes como biofertilizante para as plantas. A proposta deste trabalho consiste em desenvolver um estudo, a fim de demonstrar que, através de um processo simples e de fácil implementação podendo produzir o biogás aproveita-lo como fonte alternativa de energia e não se esquecendo dos fertilizantes naturais que veem junto.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal propor um modelo de implantação de um biodigestor anaeróbico para produção de biogás, tendo como matéria prima os resíduos sólidos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário (RU) do campus do Liberdade, visando o aproveitamento do biogás produzido.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar o levantamento da quantidade de resíduos orgânicos produzidos pelo RU;
- Avaliar o custo benefício da implementação do biodigestor de digestão anaeróbia;
- Propor o melhor modelo de biodigestor a ser implementado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 BIOMASSA

A biomassa se origina dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), animal, vegetal, florestais e industriais. Ela é uma fonte alternativa de energia que ganhou muita visibilidade nesses últimos tempos.

Segundo Cortez et al. (2008), mesmo usando diferentes tecnologias para processamento e conversão de energia, existem duas questões-chave com o uso de biomassa no mundo hoje: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), aproximadamente cerca de 30% da energia total consumida pela humanidade em 20 anos virá das energias renováveis, que hoje representam 14% da produção mundial de energia, das quais 11,4% dessa oferta tem a participação da biomassa (Ministério de Minas e Energia - BEN, 2004). O processo de produção de energia a partir da biomassa, tem pouco impacto no meio ambiente se devidamente controlado. Através de usinas especiais onde ocorre a decomposição da biomassa por meio das bactérias metanogênicas onde a metagênese é o estágio final, ocorre a produção de metano, que por sua vez forma o biogás.

3.2 BIOGÁS

3.2.1 Diferença entre gás metano e biogás

De acordo com Kaelsson et al. (2014), o gás natural é um combustível fóssil, pois resulta da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, composta por plantas e animais mortos encontrados no fundo dos mares e rios. A influência de altas temperaturas das camadas sedimentares das rochas deslocou a matéria orgânica para camada abaixo das rochas, condicionando assim a formação do gás natural devido à alta pressão e temperatura.

O biogás pode ser uma alternativa na substituição do gás natural pois eles têm o mesmo processo de formação, por meio da decomposição da matéria orgânica. A diferença é que a formação do gás natural não se dá pela matéria orgânica presente na superfície terrestre. Quando à queima do gás natural o carbono presente retorna para o seu ciclo na atmosfera, enquanto que, na conversão da matéria orgânica em biogás o carbono que se encontra na matéria prima é aproveitado como potencial de energia armazenada (KAELSSON et al. 2014).

Alguns resíduos descartados diariamente nas propriedades, podem ser reaproveitados como matéria prima no processo de digestão anaeróbia para a geração do biogás.

Por outro lado, biogás é o gás produzido através da decomposição da biomassa e esse processo acontece dentro de um biodigestor. Para a implementação de um biodigestor torna-se importante entender o processo de fermentação anaeróbia, pois é a parte fundamental do tratamento de resíduos orgânicos. A falta de conhecimento da quantidade de biogás produzido é o que impossibilita muitas vezes a viabilidade econômica de um projeto.

O biogás tem uma composição variada de acordo com a matéria prima, ele é composto geralmente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de mistura de outros elementos químicos, de acordo com Dalpaz (2019).

O grande responsável pela geração de energia do biogás é o gás metano, ele é encontrado em maior quantidade e pode variar de 50 a 70% de acordo com o potencial do substrato, a sua combustão libera 208,4 mil calorias. Um gerador de biogás é vantajoso, pois a geração é renovável e limpa, ajuda na redução de odores e insetos, também apresenta facilidade na obtenção de licenças ambientais (Soluções com energia, 2020).

Gonçalves (2013) salienta que, sendo o metano um gás potencialmente gerador de efeito de estufa e sabendo que com a sua queima é possível obter energia e reduzir significativamente a quantidade de GEE emitido para a atmosfera, existe dupla vantagem com o aproveitamento energético desse gás.

Oliver et al, (2008) afirma que o biogás é uma fonte alternativa de energia onde o metano presente apresenta um poder calorífico de 5000 a 7000Kcal/m³. Comparando a relação entre o biogás e outras fontes temos (Tabela 1).

Tabela 1: Relação de 1m³ de biogás com outras fontes de energia

Fontes de energia	Quantidade em Litros
Querosene	0,58
Diesel	0,55
Lenha	1,50
Gasolina	0,61
Gás de cozinha	0,45
Álcool hidratado	0,79

3.2.2 Fatores que influenciam na produção do biogás

Existem alguns fatores que afetam a composição do biogás durante o processo de produção: relação carbono: nitrogênio (C/N), tipo de reator, temperatura, pH, teor de umidade.

Relação C/N

Na relação C/N, o nitrogênio deve ser inferior ao carbono, mas é necessário que essa relação não esteja muito baixa. A liberação de amônia pode afetar o processo em razão da inibição de bactérias. O tipo de substrato e a condição de cada processo é que determinará a proporção de carbono e nitrogênio. Segundo a literatura a relação C/N varia entre 20-30:1 no início do tratamento e entre 10-13:1 no final, em um processo de geração de biogás (KAELSSON et al, 2014).

Tipo de reator

Para Kaelsson et al. (2014), o reator contínuo (UASB) é um reator anaeróbio de fluxo ascendente, que permite que haja fluxo de matéria prima ao longo do dia e assim, constante produção do biogás, o teor dos sólidos no início do processo para materiais como resíduo vegetal e alimentares é entre 20% a 25%. De acordo com a adição do material é possível que o resíduo na entrada do biodigestor seja contínuo o que é vantajoso para os microrganismos. A distribuição uniforme dos materiais durante todo o dia facilita a interação entre os diferentes grupos na cadeia de degradação, e reduz o risco de sobrecarga, no caso de se alimentarem com uma grande quantidade de material de uma única vez.

No reator por batelada é adicionado material todo de uma só vez e isso faz com que o metano produzido não diminua com o tempo. Esse processo é comum em pequenas propriedades, pois algumas vezes pode ser difícil conseguir ter a quantidade de matéria prima necessária para o biodigestor. Algumas vezes pode ser difícil conseguir alta e constante produção de biogás por esse processo, principalmente se o material tem alto teor de sólidos.

Teor de Umidade

O teor de umidade é um fator muito importante ao nível de produção de metano por meio da digestão anaeróbia. Se for adicionada pouca quantidade de água no reator, o seu volume também será pequeno e com isso o custo do investimento será diminuído.

Mas as reações químicas dependem da água, por isso é importante garantir o equilíbrio entre o teor de sólido 30% e o teor da humidade 70%. (GONÇALVES, 2013)

Temperatura

Com as experiências já realizadas foi possível perceber que, na digestão anaeróbica a faixa de temperatura de operação está relacionada à produtividade do processo. Sendo o processo biológico os mecanismos participantes devem ser adaptados ao meio. A faixa de temperatura pode variar de 10°C a 65°C de acordo com o tipo de bactéria. As temperaturas inferiores a 10°C inibem a atividade microbiana, interrompendo assim o processo (CORTEZ, 2008).

pH

Na visão de Cortez (2008), o pH é um fator importante no processo de digestão anaeróbia, pois os mecanismos são seres vivos que precisam de um meio propício para o seu desenvolvimento. Um pH ótimo está na faixa de 7 a 7,2, assim sendo, no processo o PH deve ser mantido entre 6 e 8. O controle do pH no reator é responsabilidade da alcalinidade por causa do acúmulo de bicarbonato, da fração de CO₂ da parte gasosa, da concentração em ácidos voláteis ionizados e da concentração de nitrogênio sob a forma de amônia.

3.2.3 Aplicações

Segundo o Manual básico do biogás (2014) além do aproveitamento energético a produção de biogás também produz adubos.

O uso de biofertilizantes em comparação com o adubo químico é relativamente novo, por conta disso, ainda existe a necessidade de desenvolver tecnologias e pesquisas.

Os biofertilizantes proporcionam rendimentos nas plantas na mesma intensidade que os adubos químicos.

Os biofertilizantes líquidos têm por volta de 7,2% de sólidos, aproximadamente igual a teor de sólidos em suspensão. Se tiver um solo agrícola regado com biofertilizante a plantação naquela região pode chegar a uma altura de 20cm (Manual básico do Biogás, 2014).

Uma das vantagens de boa produção com biofertilizante pode ser explicado pelo fato de o solo transportar os nutrientes no período em que os vegetais possuem a maior necessidade vegetal.

Outra aplicação do biogás bruto é a sua purificação, que consiste na remoção do sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono por meio da dissolução dos gases H_2 , S e CO_2 através da água pressurizada. (Biogás, 2014).

Existe ainda a produção de calor através do biogás, essa é a maneira mais fácil e barata de aproveitar o biogás. Essa produção consiste na queima do biogás em uma caldeira que está ligada a um tanque de armazenamento.

A utilização do biogás na cogeração, normalmente utilizam um motor tipo Otto ou parecido, pois ele é um motor que possui alto rendimento por aproveitar a queima do combustível nos cilindros, ao operar um motor de combustão interna cerca de 30% do biogás é convertido em eletricidade e os outros 70% são em forma de calor. (KAELSSON et al, 2014).

3.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

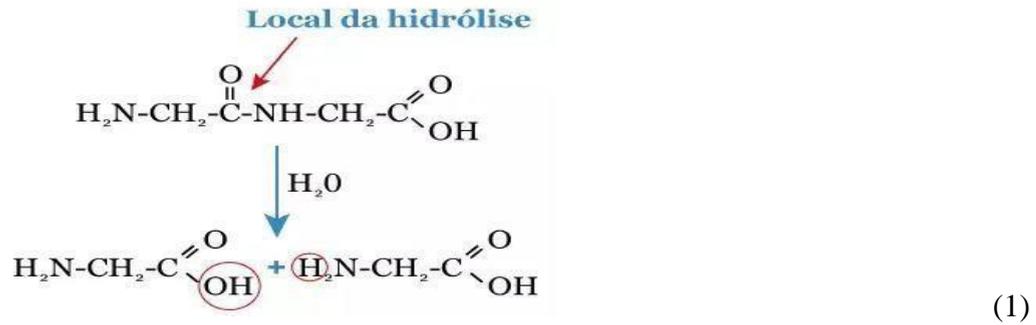
Digestão anaeróbia consiste no processo de decomposição da matéria orgânica com baixa concentração de oxigênio (O_2). Neste processo, como já mencionado anteriormente, gera uma mistura com grande concentração de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e resíduos líquidos que pode ser utilizado como biofertilizante (GONÇALVES, 2013).

Segundo Araújo (2017), a produção do biogás através da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos ocorre em quatro etapas bacterianas básicas, como, a hidrólise, acidogêneses, acetogênese e a metanogênese, esta última é onde ocorre a geração do biogás na fase final do processo.

3.3.1 Hidrólise

Nesta etapa as moléculas se fragmentam em unidades menores por meio de enzimas em um processo bioquímico, dando origem a compostos orgânicos mais simples como os ácidos graxos açúcares e os aminoácidos através de um grupo de bactérias específicas disponíveis no biodigestor. A fragmentação das moléculas faz com que os microrganismos se aproveitem das pequenas partes do material orgânico e absorvam a energia contida nelas (ARAÚJO, 2017).

De acordo com Luiz (2019) a hidrólise dá condição para a acidogênese, onde os ácidos graxos são transformados pelas bactérias fermentativas.



3.3.2 Acidogênese

Kaelsson et al. (2014), afirma que a maioria dos microrganismos ativos na fase da hidrólise permanecerão ativos nesta fase e novas células são geradas durante o processo da acidogênese. Além disso, os produtos hidrolisados são metabolizados no interior das bactérias em álcoois (etanol, cetonas, aldeídos, dióxido de carbono e hidrogênio).

Durante a geração de ácido, as substâncias produzidas pela hidrólise são convertidas pela fermentação de bactérias em ácido propanoico, ácido butílico, ácido lático e álcoois. A formação de produtos nesta fase depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, afetará negativamente a eficiência da produção de ácido, resultando no acúmulo de ácidos orgânicos. Como resultado, o pH da mistura cai e o processo é quase completamente afetado (MATEUS, 2016).

3.3.3 Acetogênese

Na acidogênese os materiais degradados nas etapas anteriores são convertidos em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono por bactérias acetogênicas. Essa é uma das etapas mais delicadas do processo, pois é necessário manter um equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio produzida seja consumida pelas bactérias archaeas responsáveis pela metanogênese (MATEUS, 2016; BIOGÁS, 2022).

3.3.4 Metanogênese

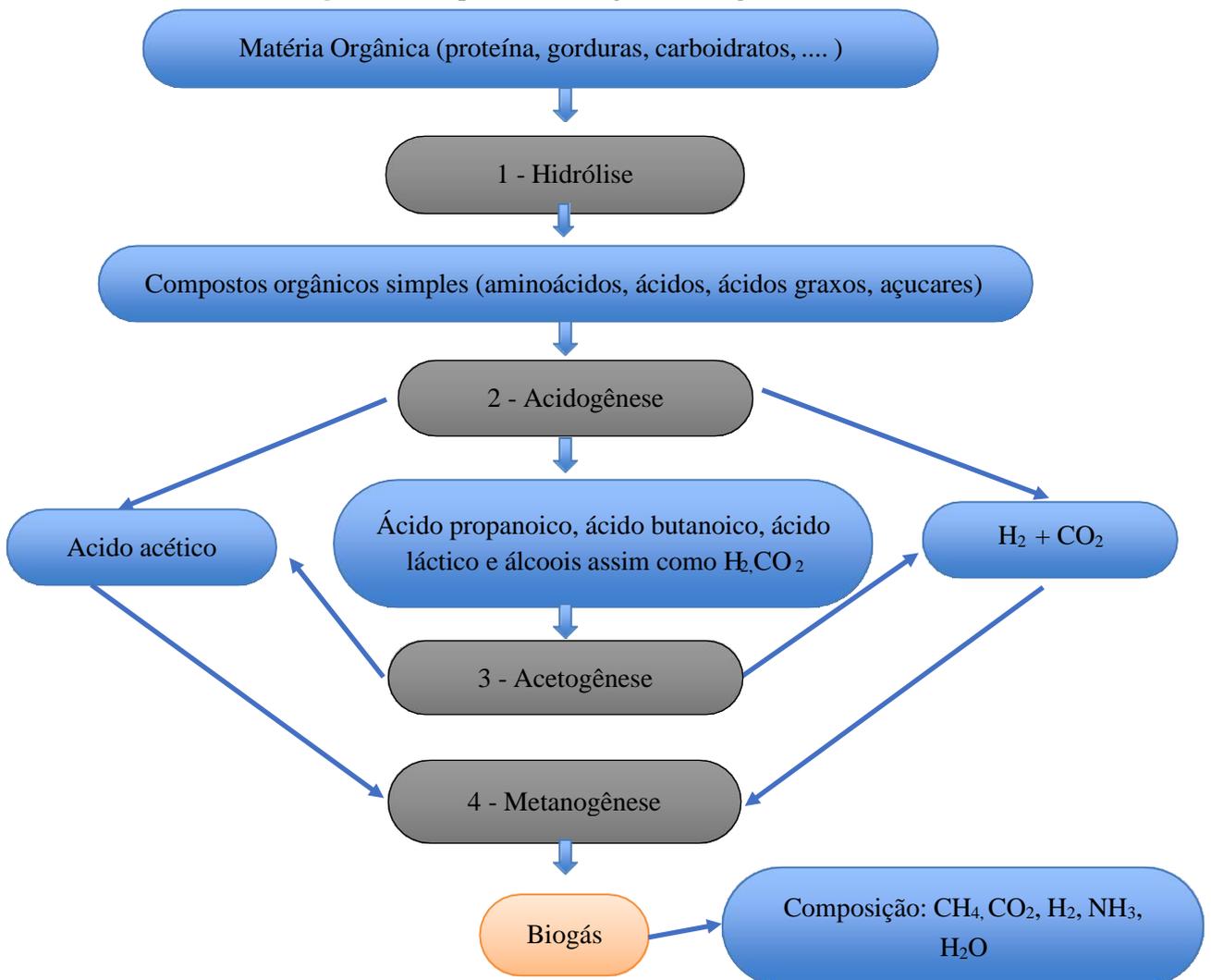
De todas as etapas da biodigestão a metanogênese costuma ser a mais sensível, pois as bactérias metanogênicas são sensíveis às mudanças bruscas de ambiente e com isso a taxa de crescimento da população é baixa. Esta é a fase de formação do metano, sendo o metano o produto da reação que mais nos interessa (KAELSSON et al, 2014).

A metanogênese ocorre através de bactérias archaeas por duas reações distintas, na primeira (acetoclásticas) ocorre a geração do metano e gás carbônico derivados do ácido acético e na segunda (hidrogenotróficas) o hidrogênio e o gás carbônico dão origem ao metano e a água. A quantidade de gás carbônico do biogás gerado pela primeira reação é reduzida.

Tecnologias mais modernas exploram essa característica para gerar biogás com um percentual cada vez maior do metano (ARAÚJO, 2017).



Figura 1: Etapas de formação do biogás



Fonte: Adaptado do Kaelsson et al., (2014)

3.4 BIODIGESTORES

Para Araújo (2017) biodigestores são equipamentos impermeáveis onde ocorre a decomposição dos resíduos, por um determinado tempo de retenção sem a presença do oxigênio. Para a produção do biogás é necessário um meio apropriado, para que as bactérias metanogênicas, atuem sobre o resíduo orgânico e produzam o combustível por rota biológica.

A produção do combustível (biogás) é determinada por certas faixas de temperatura, pH e relação carbono/hidrogênio(C/N) da matéria prima. Esta produção leva em conta as condições físicas e químicas necessárias ao desenvolvimento dessas bactérias dentro do biodigestor.

No biodigestor existe o reservatório que armazena o resíduo por um tempo determinado, e o gasômetro, onde se armazena o biogás produzido. Após a obtenção do biogás ele pode ser canalizado e utilizado em diversas aplicações. O biodigestor pode ser classificado como, batelada ou contínuo. No processo por batelada existem períodos específicos de funcionamento, coloca -se toda matéria orgânica e em seguida o sistema é fechado. Passados 40 a 60 dias, tempo suficiente para a decomposição da matéria prima, são retirados o resto da matéria decomposta e uma nova recarga é feita e reinicia o processo. No processo contínuo, o abastecimento é diário através de dutos de alimentação.

O biogás é removido por meio de tubulações e o biofertilizante por canos de saída. Na implementação de biodigestores o tratamento de resíduos pode ajudar na limpeza das cidades, rios, atmosfera além de gerar emprego e estimular o desenvolvimento sustentável do local onde for aplicado (ARAÚJO, 2017).

3.4.1 Modelo de biodigestores

A classificação dos biodigestores foi abordada acima, agora abordaremos os modelos mais comuns do tipo contínuo: modelo indiano, modelo canadense e modelo chinês.

3.4.2 Modelo indiano

O biodigestor indiano é composto por uma câmara de digestão e de um depósito de gás móvel. É caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, que pode estar

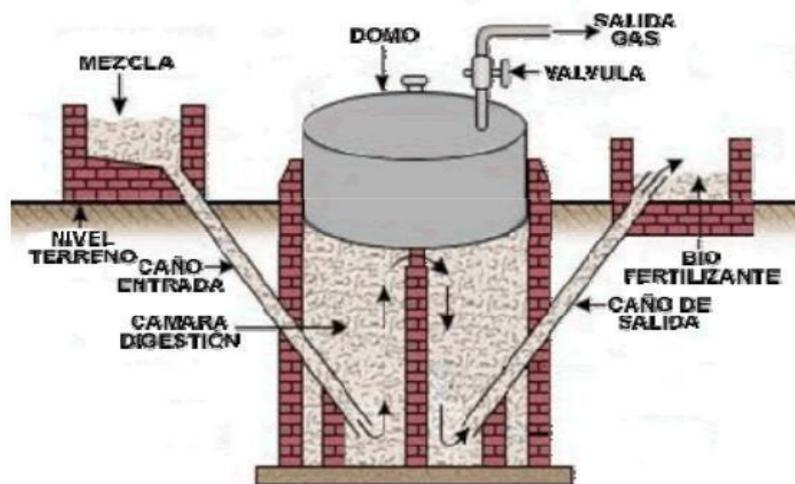
mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo externo de água. Possui uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras.

Pelo fato de o gasômetro estar sobre o substrato ou em selo hídrico, reduz as perdas durante o processo de produção do gás. A parede divisória faz com que a matéria circule por toda câmara de fermentação. Neste modelo não é recomendado a utilização de resíduo vegetal para a produção do biogás (BARROS, 2021).

A biomassa utilizada para alimentar o biodigestor não deverá ter uma concentração de sólidos totais superior a 8%, pois assim, evita entupimentos dos canos de entrada e da saída do resíduo, além de facilitar a circulação no interior da câmara.

O biodigestor indiano pode operar de forma contínua com descarga automática, dispensando o tanque de compensação (DEGANUTTI et al, 2002; LUIZ, 2017).

Figura 2: Biodigestor modelo Indiano



Fonte: Oliver et al., (2008)

3.4.3 Modelo chinês

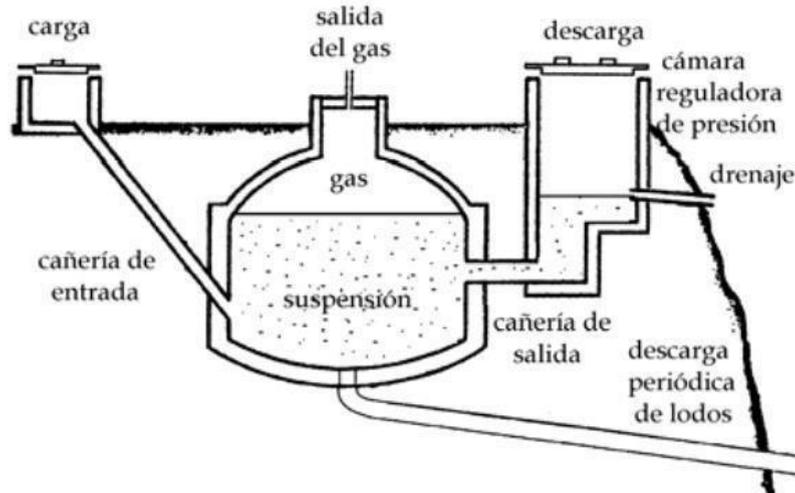
O biodigestor de modelo chinês é recomendado para instalação de pequeno porte, pois uma grande quantidade de gás formado é liberada na atmosfera, reduzindo assim a pressão interna do biodigestor. Em comparação com o modelo indiano ele apresenta menor custo uma vez que é construído quase todo de alvenaria, inclusive o gasômetro, e é enterrado no solo.

O teto da câmara cilíndrica deve ser impermeável e bem vedado impedindo assim que ocorra rachaduras em sua cápsula e conseqüentemente a perda do gás produzido.

O seu funcionamento é baseado no princípio de prensa hidráulica, onde o aumento da pressão em seu interior resultante do acúmulo do gás resultará na deslocação dos efluentes

da câmara de fermentação para a caixa de saída e em sentido contrário quando há descompressão. Assim como no modelo indiano a concentração de sólido total do substrato não deve ultrapassar 8% pelos mesmos motivos (BARROS, 2021; ARAÚJO, 2017).

Figura 3: Biodigestor modelo chinês

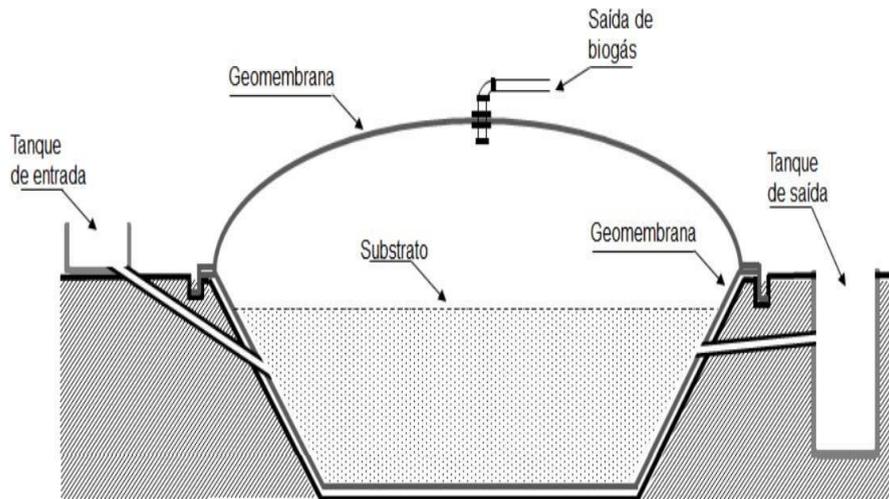


Fonte: Oliver et al., (2008)

3.4.4 Modelo canadense

No modelo canadense ou da marinha como é conhecido, a produção de biogás é maior pois a sua largura é maior que a profundidade e a área de exposição ao sol é maior. A sua construção é simples apesar de apresentar uma tecnologia mais moderna, o material da sua cúpula é plástico maleável, tipo PVC, que inflama à medida que o biogás é produzido e acumulado. O biogás pode ser enviado ao gasômetro para se ter um maior controle operacional (ARAÚJO,2017).

A sua facilidade de implementação e o custo reduzido faz com que ele esteja ganhando maior espaço em relação aos outros modelos. A sua cúpula pode ser removida facilitando assim a sua limpeza, a vantagem desse modelo está na constante produção do biogás que está relacionada a carga diária de sólidos voláteis (MOURA et al, 2012).

Figura 4: Biodigestor modelo canadense

Fonte: Nogueira, 2016

4 ESTADO DA ARTE

Inoue (2008) analisou o processo de digestão anaeróbia de águas residuárias de feculariade mandioca visando a produção do biogás e a caracterização de aplicação do biofertilizante gerado. O substrato utilizado na análise foi a água residual de fecularia de mandioca. Na análise foram utilizados 9 biodigestores operando em batelada, a casca da mandioca foi adicionada ao afluente para atingir as 3 concentrações de sólidos totais desejada. Foram realizadas análises de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) do afluente e do efluente gerado no processo. Verificou-se que a maior redução de ST e SV foram observadas nas concentrações de 4,5 dag/L de ST. O maior potencial de produção de biogás foi observado na concentração de 8 dag/L de ST.

Na parte do aproveitamento do biofertilizante, utilizou-se o milho cultivado em vasos plásticos. A adubação foi feita de acordo com as recomendações para esta cultura e o biofertilizante foi aplicado quando as plantas atingiram aproximadamente 10cm de altura, a aplicação do biofertilizante associado à dose menor não alterou a concentração dos elementos químicos avaliados. Não houve alteração nas variáveis avaliadas na planta.

Nascimento (2014) avaliou a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário com a adição de óleo de cozinha usado e efluentes domésticos bruto e sintético. Para possibilitar a redução dos custos de transporte, tratamento ou destinação final para os geradores com aproveitamento in loco na geração de energia, foi avaliada a produção do biogás em reatores simples associados

a gasômetros de cúpula móvel em escala laboratorial. Utilizou-se diferentes concentrações de óleo para cada reator. Os experimentos realizados aconteceram em 3 etapas com montagem diferentes, sendo a primeira só com resíduos orgânicos e óleo de cozinha, a segunda com resíduos orgânicos, efluente sintético e óleo de cozinha e a terceira com resíduos orgânicos, efluentes brutos e óleo de cozinha. Obteve-se uma produtividade de biogás de 2,96 ml/g de sólidos voláteis, média de 156 ml/g de sólidos voláteis. Na análise qualitativa do biogás da segunda etapa obteve-se 72,36% de presença de metano. Foi destacada a influência do PH do meio para a atividade metanogênica permanecer ativa. A análise do tempo de retorno mostrou que o tempo de retorno do projeto seria de 18 anos em escala real, tornando assim inviável a sua aplicação.

Rocha (2016) verificou a potencialidade da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos alimentares provenientes do restaurante universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora através dos métodos de estimativa do potencial de geração de gás metano a partir do percentual de sólidos voláteis (SV) que compõe o substrato e pelo método estabelecido pelo (IPCC, 2006). A produção média de geração de resíduos alimentares foi de 112 K/dia. A fração de sólidos voláteis desse montante foi considerada como sendo 23% e a produção de gás metano estimada foi de 10,4m³/dia. Esse gás pode gerar 25,74 kWh/dia, o que possibilitaria suprir a demanda energética de cerca de 3 residências ou ser utilizado para manter um fogão aceso por aproximadamente 23h/dia.

A segunda metodologia estimou a produção diária de 0,13m³. Com esta diferença nos resultados foi possível verificar que o uso dessa metodologia deve ser utilizado com cautela levando em conta a realidade de cada local. Apesar da primeira metodologia se mostrar eficiente, é preferível que os resíduos sejam utilizados como alimentação para população em estado de fome e alimentação dos animais. A metanização desses resíduos contribuem para o aumento da vida útil dos aterros sanitários existentes que surge como uma alternativa para o suprimento local de energia elétrica contribuindo para a diversificação da matriz energética.

Carrere (2016) realizou uma revisão das estratégias de pré-tratamento de matéria-prima para digestão anaeróbica aprimorada: da pesquisa em escala de laboratório à aplicação em escala real e constatou que os pré-tratamentos quando projetados adequadamente podem aumentar o potencial do metano e a taxa de digestão anaeróbica de matéria-prima particuladas. Foi implementado em escala real o pré-tratamento de lodo de esgoto, o pré-

tratamento térmico com explosão de vapor que aumenta o potencial de metano e a taxa de digestão. A saponificação frente aos resíduos gordurosos é preferida pelo facto de ela aumentar a sua solubilização e biodisponibilidade, o que pode ser otimizado para esterilizar subprodutos animais.

A biomassa lignocelulósica tem a primeira deslignificação seguida de hemicelulose e hidrólise da celulose, sendo os pré-tratamentos biológicos ou alcalinos mais promissores. A técnica mais promissora até então para as microalgas é o pré-tratamento térmico.

5 METODOLOGIA

Por ser uma pesquisa voltada mais para análises literária, utilizaremos algumas metodologias de pesquisadores que realizaram o mesmo estudo, com o diferencial de que eles realizaram a análise laboratorial, utilizaremos os seus parâmetros para determinarmos o resultado que pretendemos atingir com esta pesquisa.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo teve como objeto, os resíduos orgânicos coletados do Restaurante Universitário da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), concretamente no campus de Liberdade que está situado na cidade de Redenção no estado do Ceará. O campus de Liberdade foi o selecionado pois segundo a administração do restaurante é o campus com maior fluxo de alunos, em média são 650 alunos no horário do almoço e 800 no jantar. Os dados de quantificação das sobras foram coletados diariamente durante três semanas, sendo dos dias 02 a 24 de junho do ano de 2022, excluindo os finais de semana.

5.2 OPERAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Para determinar a quantidade diária de sólidos voláteis e totais adotaremos a média das porcentagens de sólidos voláteis 23% e sólidos totais de 25%, como descrito na bibliografia.

Utilizando a metodologia descrita por Paixão (2018) temos que:

$$SV_{diário} = Pd \times SV_{médio} \quad (4)$$

Onde: $SV_{diário}$ = quantidade diária de sólidos voláteis, Kg/dia;

Pd = produção diária de resíduos correspondente ao quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$SV_{médio}$ = média das porcentagens dos sólidos voláteis adotado;

Resíduos orgânicos provenientes de restaurantes onde houve uma segregação da fonte indica o uso de um biodigestor de digestão úmida e contínua segundo Rocha (2016),

mas para a utilização dessa tecnologia, o substrato deve passar por uma umidificação resultando em 15% de sólidos totais.

A carga de sólidos totais a serem adicionados no biodigestor é calculada pela equação:

$$C_s = \frac{Pd \times ST_i}{100} \quad (5)$$

Onde: C_s = Carga de sólidos totais adicionada diariamente no biodigestor, em Kg/dia;

Pd = produção diária de resíduos correspondente ao quantitativo gerado na coleta do período amostral;

ST_i = fração sólida do substrato inicial, atribuída pela média das porcentagens sólidos totais, adotado;

A massa total de alimentação diária de acordo com a equação:

$$M_t = \frac{C_{st} \times 100}{ST_f} \quad (6)$$

Onde: M_t = Massa total de alimentação diária, Kg/dia;

C_{st} = Carga de sólidos totais adicionada diariamente no biodigestor;

ST_f = Fração sólida do substrato final, adotado de 15% para digestão úmida;

O volume da água final a ser adicionada ao tanque digestor em L(litros) foi determinado pela equação;

$$V_{\text{água}} = (M_t - Pd) \times \rho_{\text{água}} \quad (7)$$

Onde: $V_{\text{água}}$ = volume de água final a ser adicionado ao tanque digestor;

M_t = massa total de alimentação diária;

Pd = produção diária de resíduos correspondente ao quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$\rho_{\text{água}}$ = densidade da água 1Kg/m³.

De acordo com Paixão (2017) o TDH médio é de 30 dias para biodigestão de resíduos alimentares vindos de restaurantes e cozinhas, segundo o experimento realizado por Cifuentes (2015).

O Volume do tanque do digestor é dado pela equação:

$$V_{\text{digestor}} = [(Pd \times \rho_{\text{resíduo}}) + V_{\text{água}}] \times TDH \quad (8)$$

Onde: $V_{\text{resíduos}}$ = Volume do digestor, em m^3 ;

P_d = produção diária de resíduo equivalente a 152,68Kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$\rho_{\text{resíduos}}$ = massa específica do resíduo alimentar, adotado 430 Kg/m^3 ;

$V_{\text{água}}$ = volume de água final a ser adicionada no tanque digestor 101,79 L (litros) equivalente 0,101 m^3 ;

TDH = tempo de detenção hidráulica, em dias.

Na avaliação da produção diária de biogás a metodologia aplicada foi de Nazaro e Nogueira (2016) que em seu trabalho relataram que 1kg de resíduo é capaz de gerar 0,1 m^3 de biogás:

$$G = P_d \times 0,1 \quad (9)$$

Onde: G = produção diária de biogás, em m^3 /dia;

P_d = produção diária de resíduo em kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral.

6 RESULTADO E ANALISE

6.1 COLETA DE DADOS

O alimento não é produzido no espaço onde foi feita a colheita. A ideia dessa pesquisa é que no futuro caso queiram confeccionar o alimento ali mesmo no local, se poderia usar os resíduos produzidos ali para alimentar um biodigestor e reaproveitar o biogás produzido.

Os resíduos são produzidos majoritariamente na hora do jantar, pois é quando há um maior fluxo de alunos no campus, sendo a cidade que abriga a maior parte dos estudantes da UNILAB, e também a mais movimentada durante a noite.

Foram coletados no tempo de três (03) semana os dados utilizados nesse trabalho, diariamente a coleta era feita após o fechamento do RU, os resíduos já eram separados pelos funcionários e devidamente separados em baldes de 0,5Kg (papel, palito num lugar e o resto de comida em outro).

A pesagem era feita pelo pesquisador com a ajuda dos funcionários da cozinha, foi utilizada uma balança eletrônica comercial com plataforma disponibilizada pela administração do RU. Foram coletados uma média de 152,68Kg diário de resíduos. Atualmente esses resíduos são doados para fazenda que têm criação de animais.

Para uma análise mais detalhada, um estudo laboratorial se faz necessário, pois a determinação do pH, análise de alcalinidade total, o cálculo da demanda química de oxigênio, assim como a quantidade de ácidos graxos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total existentes na mistura são importantes para saber a qualidade de resíduo que se tem.

6.2 OPERAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Tabela 2. Parâmetros calculados para o dimensionamento do biodigestor

Parâmetros	SV _{diário} (kg/dia)	C _{st} (kg/dia)	M _t (kg/dia)	V _{água} (L)	V _{biodigestor} (m ³)	G(m ³ /dia)
Valores	35,1	0,38	254,47	101,78	1969,57	15,3

Fonte: próprio autor

Para a quantidade de substrato obtido diariamente o valor de sólidos voláteis é de 35,1Kg/dia, conforme a tabela a cima.

A carga de sólidos totais obtida a ser adicionada no biodigestor diariamente levando em conta um substrato de 15% de sólido total recomendado para digestão úmida é de 0,38Kg/dia. A sua massa total de alimentação diária é de 254, 47Kg/dia, de acordo com a equação 6.

Assim sendo, a massa de resíduos orgânicos diária é de 152,68 Kg/dia e para atingir 254,47 Kg/dia, o adicional será de água.

O volume de água final a ser adicionado no tanque de digestão para mistura será de 101,78 L, fazendo assim com que o substrato entre no biodigestor com 15% de sólidos totais considerando a densidade da água de 1Kg/dia como descrito na equação 8.

Com a produção de 152,68Kg de resíduo diariamente e a massa específica de 430m³, temos 0,36m³ de resíduo alimentar.

Para essa quantidade de resíduos alimentares, o biodigestor deverá ter um volume de aproximadamente 10 mil litros, pois a produção de biogás estimado foi de 15,3 m³ por dia.

Utilizando a equivalência de 1m³ de biogás para 2,21kWh de eletricidade temos que, para 152,68Kg de resíduo temos aproximadamente 33,81kWh de eletricidade gerada.

7 CONCLUSÃO

A quantidade média de resíduo produzido pelo RU diariamente, é de 152,68kg, com esse valor adicionado a uma certa quantidade de água pode-se obter a mistura, a ser utilizada para a alimentação do biodigestor. O biodigestor é uma tecnologia alternativa que nos permite produzir biogás e biofertilizante através de resíduos alimentares advindos do RU.

De acordo com o estudo feito, durante a elaboração desse trabalho o biodigestor que mais se adequa é um biodigestor de modelo canadense (da marinha), pois trata-se de um modelo de fácil implementação e monitoramento.

O material utilizado na sua construção é de fácil acesso e baixo custo, e sobretudo é o modelo com maior produção de biogás devido a sua estrutura e a exposição ao sol.

Apesar desse modelo apresentar uma facilidade na obtenção e montagem um estudo bem detalhado deve ser feito antes do projeto ser implementado. O projeto pode ser desenvolvido numa primeira fase com experimentos a nível laboratorial e depois disso passar para uma escala maior.

Por ser uma universidade com cursos voltados a aproveitamento de resíduos (produção de biofertilizantes a serem usados na fazenda da universidade) bem como a produção de energia, por fontes alternativas a implementação de um biodigestor anaeróbio em um dos campus ou mesmo em todos eles, aparenta ser um projeto promissor. O biodigestor poderá ser utilizado para mostrar a comunidade acadêmica, assim como alunos externos que visitam a universidade, a possibilidade de transformação dos resíduos alimentares em biogás e posteriormente em energia.

Em trabalhos futuros, uma alternativa seria um estudo detalhado sobre os parâmetros de produção do biogás juntamente com a fase experimental.

Outra possibilidade de trabalho seria um estudo de viabilidade econômica da implementação do biodigestor, utilizando alguma ferramenta de engenharia.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**, 2017. 42f. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

ALMEIDA, C. **Importância do pH no equilíbrio química de biodigestores anaeróbios**. 2020. 61f. Monografia (Graduação em Química Industrial). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2020.

BARROS, T. Indiano. **Embrapa: Agroenergia**. 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/indiano> >

BIODIGESTOR: para que serve, tipos, vantagens, desvantagens, VGR, 2021. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/biodigestor/> . Acesso em jul. 2022.

BIOGÁS. **ENERMAC soluções em energia**. 2020. Disponível em <<https://enermac.com.br/o-que-e-biogas>>. Acessado em jul. 2022.

CORTEZ, L.A.B. et al., Biomassa para engenharia. Campinas. Unicamp,2008.

CRUZ, Hugo Maciel da.; BARROS, Regina Mambeli.; SANTOS, Ivan Felipe Silva dos.; FILHO, Geraldo Lucio T. Estudo do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás de digestão anaeróbia de resíduos alimentares. **Rec. Soc. Dev.**, 2019.

DALPAZ, R. **Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica**. 2019.91f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Ambientais Sustentáveis) Universidade do Vale, Lajeado, 2019. Disponível em <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2517/1/2019RicardoDalpaz.pdf>>

DEGANUTTI, Roberto et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

DUARTE, R. **Viabilidade econômica da implantação de um biodigestor para geração de energia a partir de resíduos sólidos orgânicos**. 2017. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

FERREIRA, B. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vista ao aproveitamento energético do biogás**. 2015. 124f. Dissertação (Pós- Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2015.

GOMES, J. **Potencial de produção de energia a partir da biometanização de resíduos orgânicos do campus Pampulha da UFMG**. 2014. 113f. Dissertação (Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014.

GONZALEZ, R. et al., **Panorama do biogás no brasil 2020**, Nota Técnica: N° 001/2021, Foz do Iguaçu, mar. 2021. Disponível em https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1_1.pdf> Acesso em: 2022.

GONÇALVES, I. **Estudo da produção de biogás a partir de resíduos alimentares**. 2013.243f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Energias Renováveis) Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, 2013.

INOUE, K. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. 2008.92f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG,2008.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 5: Waste. 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>>. Acesso em: jul. 2022.

KARLSSON, O. et al., **Manual básico de biogás**. 1ed. Lajeado. Univates. 2014.

LUIZ, C. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UNIPAMPA- CAMPUS BAGÉ**. 2019. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia de energia) Universidade Federal do PAMPA, Bagé, 2019.

MATIAS, K. C. **Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação em aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural**. 2022. 38f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia de petróleo) Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, RN, 2022.

MEYER, B. et al., **Análise de viabilidade técnica de um sistema de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de dejetos suínos**. 2017. 83f. Trabalho de conclusão de curso II (Bacharel em Engenharia Química) Universidade tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16540/1/PG_COENQ_2017_2_07.pdf> Acesso em: jul. 2022.

NASCIMENTO, R. **Biogás de resíduos orgânicos do restaurante universitário com adição de efluente doméstico e óleo de cozinha**. 2014. 43f. Trabalho de conclusão de

curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

NEVES, J. **Hidrólise**. Educa+ Brasil. 2020. Disponível em <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/hidrolise>>. Acesso em: jun. 2022.

NOGUEIRA, Â. SILVA, E. CAVALCANTI, M. SILVA, J. **Projeto de unidade de bioenergia e tratamento de resíduos de abatedouros de aves de corte**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2016/TRABALHO_EV058_MD1_SA79_ID2490_17052016231057.pdf>. Acesso em: jun. 2022

OLIVER, A. de P. M. et al., Manual de treinamento em biodigestão. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

PAIXÃO, S. **Produção de biogás a partir de resíduos de alimentos**: Uma proposta para um restaurante em Recife-PE. 2018. 65f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão ambiental) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE, 2018.

ROCHA, C. **Proposta de implementação de um biodigestor anaeróbico de resíduos alimentares**. 2016. 61f. Trabalho final do curso (Graduação em engenharia ambiental e sanitária) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA-DID, Circular técnica n 4, 1981.

TORRES, Aline.; PEDROSA, João Felipe.; MOURA, Johnson Pontes de.; Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais, **Educação Ambiental em Ação**, Nº40, 2012. Disponível em < <https://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=1248>>, acesso em jun. 2022.

UGGETTI, E. Passos, F., Solé, M. et ai. **Realizações recentes na produção de biogás a partir de microalgas**. Valor de biomassa de resíduos 8, 129-139 (2017). Disponível em < <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9604-3> > Acesso em: jun. 2022.