



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO**
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTAO AMBIENTAL

SIMONE KARINE SILVA DA PAIXÃO

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS: uma proposta
para um restaurante em Recife-PE**

Recife
2018

SIMONE KARINE SILVA DA PAIXÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS: uma proposta
para um restaurante em Recife-PE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador

Prof.^a Dra. Sofia Suely F. Brandão Rodrigues
Co-Orientador

Recife

2018

P149

Paixão, Simone Karine Silva da.

Produção de biogás a partir de resíduos de alimentos: uma proposta para restaurante em Recife - PE. / Simone Karine Silva da Paixão. – Recife, PE: O autor, 2018.

63 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Sofia Suely F. Brandão Rodrigues .

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2018.

Inclui referências.

1. Biogás. 2. Resíduos Alimentares. 3. Respiração Anaeróbia. 4. Gestão Ambiental. I. Silva, Ronaldo Faustino da (Orientador). II. Rodrigues, Sofia Suely F. Brandão (Co-orientadora). III. Título.

665.7

CDD (22 Ed.)

SIMONE KARINE SILVA DA PAIXÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS: uma proposta
para um restaurante em Recife-PE

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador - IFPE

Prof.^a Dra. Sofia Suely F. Brandão Rodrigues
Coorientadora – IFPE

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva
Examinador Interno - MPGA

Prof.^a Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves
Examinador Externo – UFPE/CAMPUS AGRESTE

APRESENTAÇÃO

Minha formação é em Engenharia Civil com Especialização em Saneamento e Gestão Ambiental.

Desenvolvi trabalhos na área ambiental, mais especificamente na elaboração e acompanhamento de Estudos Ambientais: Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Plano de Controle Ambiental (PCA) e Sumário Executivo para Licenciamento de diversos empreendimentos, bem como na Coordenação de Projetos de Reposição e Compensação Florestal.

Na área de saneamento básico, trabalhei na gestão e elaboração de projetos de infraestrutura (abastecimento de água, esgotamento sanitário, pavimentação e drenagem pluvial), na implantação do modelo de saneamento integrado e fiscalização/ acompanhamento de obras de saneamento básico, na elaboração de termo de referência, especificações técnicas, planilhas orçamentárias. Na área acadêmica, fui tutora em saúde e saneamento ambiental

Atualmente desenvolvo atividade de Consultora em Saneamento pelo Programa de Sustentabilidade Hídrica em Pernambuco – PSHPE junto à Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA no apoio da melhoria à oferta sustentável de água e serviços de saneamento para a população residente na Bacia do rio Capibaribe e na Região Metropolitana do Recife (RMR).

O estudo desenvolvido no mestrado profissional consistiu em desenvolver um protótipo de um biodigestor com tecnologia economicamente viável e capacidade de digerir os resíduos alimentares provenientes do Restaurante da Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco – ASSIFPE resultando a produção do biogás como fonte de energia limpa e o seu reaproveitamento no cozimento das refeições.

Dedicatória

À Deus por ser presente em minha vida em todos momentos e me dar força e coragem para enfrentar as lutas e os desafios do dia-a-dia, à Mainha Socorro Paixão pela paciência e carinho e a minha Irmã Silvane Paixão por estar ao meu lado na construção e finalização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me fortalecer a cada dia e não deixar fraquejar mesmo que obstáculos venham surgir no meu cotidiano.

À minha família por torcer e me acompanhar em cada conquista, em especial à Mainha por ser este exemplo de mãe e mulher guerreira que me ensinou acreditar nos meus sonhos e jamais desistir de alcançá-los.

A minha irmã por ser parceira e mesmo a distância me orientou e acrescentou muito para este trabalho e principalmente no incentivo a escrever cada capítulo mesmo quando o cansaço me tomava depois de uma jornada de trabalho.

Ao meu cunhado, José Miguel Moya por distrechar os cálculos quando a cabeça já não conseguia mas obter resultado, meu muito obrigada por toda atenção e apreço.

Ao meu namorado Rachyd Fuad Facury pelo apoio, por aguentar minhas chatices e pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus queridos amigos, sem citar nomes, meu obrigada por cada palavra de incentivo e por entender a minha ausência, mas para que este sonho do título de mestre possa ser concretizado muitos não foram dados, mas tenho a certeza que me compreenderam.

Ao meu orientador Dr. Ronaldo Faustino, por me aceitar como orientanda e pela confiança depositada para desenvolver este Projeto. Agradeço a paciência, incentivo, apoio e os ensinamentos neste período.

A professora e coordenadora do mestrado Dra. Renata Maria Caminha Carvalho por acreditar que seria capaz concluir esta missão. Aos professores da MPGA pelos ensinamentos nas disciplinas, nas conversas e esclarecimentos de dúvidas ao longo deste estudo.

A professora e coorientadora Dra. Sofia Suely F. Brandão Rodrigues pela paciência e pelas dicas contextuais, desde o período sala de aula, como também pelo acompanhamento nesta fase final para conclusão do mestrado.

Aos nossos queridos funcionários da coordenação do mestrado e do IFPE por serem sempre atenciosos em nos receberem e principalmente na agilidade na resolução das documentações.

Aos amigos do mestrado obrigada por cada palavra de carinho e incentivo. Lutamos juntos para nossa conclusão e tornamo-nos bravos heróis da MPGA.

Aos meus amigos e professores Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves e Eden Cavalcanti de Albuquerque Junior por me nortear nas respostas e soluções aos desafios da área acadêmica e por toda amizade.

Aos Professores e os técnicos do laboratório de engenharia ambiental - LEA da

UFPE/Campus Acadêmico do Agreste pelo acolhimento e em especial à Raquel Barros Pires pela paciência em me passar a metodologia dos parâmetros e no desenvolvimento de cada etapa para a realização das análises e na obtenção dos resultados.

Ao Professor Dr. Eduardo José Alécio de Oliveira e a coordenação do curso de química industrial/IFPE por sedar as instalações para conservação das amostras coletadas.

Ao Sr. Marcos, proprietário do restaurante da ASSIPE por nos permitir realizar estudo no estabelecimento e participar com seus funcionários na fase inicial de separação resíduos na cozinha e na coleta das amostras que me deram subsídios para realização nas análises laboratoriais.

À COMPESA e aos amigos da gerência de projetos de engenharia pelo incentivo, em especial minha coordenadora Luciana Maria Oliveira de Assis por me permitir me ausentar de algumas atividades para poder concretizar as etapas deste estudo, muito obrigada.

Meu amigo, Aramis Macêdo Leite Júnior, meu muito obrigada por dedicar de suas horas de folga para me auxiliar nas correções do meu projeto e por toda atenção.

A todos os amigos da UFPE e do ITEP que, ao passar dos anos, sempre tiveram presente em cada passo acadêmico que dava e sempre cercada de incentivo. Demorou um pouco alcançar o meu objetivo, mas enfim concluo e agradeço a cada um pelo carinho.

À todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente pela minha formação, obrigada por me ajudar a subir mais um degrau de minha vida acadêmica.

“Viver e não ter a vergonha de ser feliz, cantar e cantar e cantar a beleza de ser um eterno aprendiz”.

(Gonzaguinha)

RESUMO

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o aproveitamento dos resíduos alimentares para a produção do biogás como fonte de energia limpa e seu reaproveitamento como combustível e geração de energia. Todo processo de decomposição da matéria orgânica ocorre no ambiente anaeróbio, para o qual são empregados os reatores, também conhecidos como biodigestores. No presente estudo, foi desenvolvido um protótipo com uma tecnologia para tratabilidade de resíduos orgânicos provenientes do descarte de alimentos da cozinha do restaurante da Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco – ASSIFPE. Após a revisão literária, a metodologia constituiu na coleta de amostras dos resíduos alimentares, separação, pesagem e respectiva análise laboratorial qualitativa e quantitativa. Os seguintes parâmetros foram avaliados: pH, alcalinidade total, sólidos totais, demanda química de oxigênio, ácido graxo, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total. Para o dimensionamento do biodigestor proposto, foram realizadas a caracterização da área de estudo (restaurante), e o estudo do volume do biogás que será gerado. A avaliação do potencial de geração de biogás, bem como o dimensionamento do biodigestor foram realizados com base na bibliografia. Como resultado da caracterização dos resíduos, com base nos dados obtidos, foi possível dimensionar o biodigestor com capacidade de digestão de 140Kg de resíduos alimentares produzidos pelo restaurante no período amostral de 5 (cinco) dias e com a produção de diária de 14 m³ de biogás. Com o intuito de trazer ao estudo uma tecnologia mais atual e de menor custo de implantação, foi proposto um protótipo composto por um biodigestor tubular e uma lagoa aeróbica com volume de 9m³, denominado Mini Biodigestor 6000 que apresenta na sua produção de biogás o equivalente a 1 dia com a queima no fogão de 2 horas e 10 minutos para cozimento dos alimentos. Assumindo que em 22 dias úteis de funcionamento mensal do restaurante (segunda à sexta-feira), totalizará aproximadamente 48 h para cozimento, e que o funcionamento para queima seja de 8 h diário (2 horas utilizando biogás e 6 horas utilizando GLP) assim trazendo uma economia para o restaurante e um retorno de investimento em 2 anos e 3 meses.

Palavras-chave: Resíduos Alimentares; Digestão Anaeróbia; Biodigestor; Biogás

ABSTRACT

Several researches have been extended to the use of food waste for the production of biogas as a source of clean energy and its reuse as fuel and energy generation. All organic matter decomposition processes occur in the anaerobic environment, for which reactors are used (aka biodigesters). For the present study, a prototype was proposed with a modern technology for the food waste of the Federal Institute of Pernambuco Employee Association's restaurant – ASSIFPE organic residues treatment. After the literary review, the methodology consisted in the collection of food waste samples, separation, and weighing as well as their respective qualitative and quantitative laboratory analysis. The following parameters were evaluated: pH, total alkalinity, total solids, chemical oxygen demand, fatty acid, ammoniacal nitrogen and total nitrogen. For the sizing of the proposed biodigester, the characterization of the study area (restaurant) was carried out, together with the study of the volume and the biogas generation. The next step was the evaluation of the potential biogas generation and the biodigester sizing. With the results obtained of the food waste residues it was possible to size the biodigester with digestion capacity of 140 kg of food waste produced by the restaurant in the sampling period of 5 (five) days and with the daily production of 14 m³ of biogas. With the purpose of bringing to the study a more current technology and a lower cost of implantation, a prototype composed of a tubular biodigester and an aerobic pond with a volume of 9m³, called Mini Biodigester 6000, was proposed. It presents in its biogas production the equivalent of 1 day on the stove burning of 2 hours and 10 minutes for food cooking. The assumptions were that monthly the restaurant will function for 22 days during the business hours (Monday to Friday) with total of 48 cooking hours which the daily gas consumption is 8 hours (2 hours using biogas and 6 hours using GLP), this will bring savings to the restaurant and return on investment in 2 years and 3 months.

Keywords: Food Waste; Anaerobic Digestion; Biodigester; Biogas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação esquemática das etapas do processo de digestão	22
Figura 2. Metabolismo da biodigestão	23
Figura 3. Mapa de localização do restaurante da associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.....	31
Figura 4. Vista da entrada e do restaurante da Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.....	32
Figura 5. Esquema dos procedimentos adotados no estudo	32
Figura 6. Coleta, separação e pesagem dos resíduos alimentares produzidos no restaurante ..	33
Figura 7. Resíduos alimentares produzidos no restaurante	34
Figura 8. Método de conservação das amostras	34
Figura 9. (a) Pesagem de 1 kg de cada amostra e (b) Homogeneização das amostras.....	38
Figura 10. (a) Diluição e (b) Trituração das amostras	38
Figura 11. As amostras dispostas em recipientes diferenciados e enumerados para a caracterização química.	39
Figura 12. Aplicação da metodologia para determinação pH.....	40
Figura 13. Método volumétrico para determinação da alcalinidade total - AT (mg/l de CaCO ₃)	41
Figura 14. Processo laboratoriais para determinação sólidos totais	41
Figura 15. Processos laboratoriais para resultados DBO	42
Figura 16. (a) 50 ml das amostras diluídas em 50ml de água. (b) Destilador de nitrogênio a aquece as amostras com tampão borato 25ml.	43
Figura 17. O destilado de cada uma amostra foi colocada em um erlenmeyer de 250 mL, contendo 100 mL da solução de ácido bórico a 2% contendo solução indicadora mista para nitrogênio amoniacal.	43
Figura 18. Recolhido aproximadamente 100 mL de destilado de cada amostra foi titulado com a solução padrão de ácido sulfúrico até a coloração rosa ser obtida.	44
Figura 19. Cozinha do restaurante da associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.	48
Figura 20. Câmera fria para conservação dos alimentos.	48
Figura 21. Botijões residencial 13kg e GLP a granel de 45 kg e P190 kg.	49
Figura 22. Modelo do protótipo do biodigestor residencial	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Porcentagem gerada de metano na digestão anaeróbia.....	21
Tabela 2. Etapas da degradação anaeróbia	22
Tabela 3. Características e composição típicas do biogás	28
Tabela 4. Equivalência energia entre biogás e outros combustíveis.....	28
Tabela 5. Equivalência energia entre biogás e combustíveis diversos	29
Tabela 6. Produção em kg das amostras coletadas	34
Tabela 7. Caracterização física das amostras 01 e 02.....	35
Tabela 8. Caracterização física das amostras 03 e 04.....	36
Tabela 9. Caracterização física das amostras 05.....	37
Tabela 10. Análises, frequência, material e metodologia utilizados em laboratório	39
Tabela 11. Resultado do pH das amostras	50
Tabela 12. Resultado da alcalinidade (mg/l de CaCO ₃)	50
Tabela 13. Resultados dos Sólidos totais (g)	51
Tabela 14. Resultado da demanda química de oxigênio - DQO (mg/L)	52
Tabela 15. Resultado do Ácido graxo voláteis - AGV (mg/l).....	52
Tabela 16. Resultados da Relação AGV/AT	53
Tabela 17. Resultados do nitrogênio amoniacal, (mg/l) e nitrogênio total N (mg/l).....	53
Tabela 18. Comparativo da composição dos resíduos alimentares	54
Tabela 19. Dimensionamento Mini Biodigestor 6000.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Ácido graxo voláteis
ANAEE	Agência Nacional de Energia Elétrica
APHA	American Public Health Association
ASSIFPE	Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco
AT	Alcalinidade Total
atm	Atmosfera
C/N	Relação Carbono e Nitrogênio
DAFA	Digestores anaeróbico de fluxo ascendente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
g	Gramas
g/l	Gramas/Litro
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ha	Hectares
H ⁺	Caracteriza substâncias ácidas
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IPEM	Instituto de Peso e Medidas de Pernambuco
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
Kg	Kilo
Kg/hab/dia	Kilo/habitante/dia
kJ/m ³	Kilojoules/metro ³
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
m ³	Metro cúbico
m ³	Metro cúbico por hora
mg/l	Miligramas/Litro
MJ/Nm ³	Megajoule/Newton metro ³
N	Nitrogênio total
NTK	Método Kjeldahl
°C	Graus Celcius
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
ppm	Partes por milhão
RAFA	Digestores anaeróbico de fluxo ascendente
RAFAAL	Reatores anaeróbico de fluxo ascendente através de leito de lodo
RALF	Reatores anaeróbico de leito fluidificado
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
SV	Sólidos Volatéis
t/dia	Toneladas/dia
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico

UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
vol	Volume
VT	Volume Total
W/m ³	Watt/ metro ³

LISTA DE SIMBOLOS

CaCo3	Carbonato de Cálcio
CH4	Metano
C	Carbono
θ	Diâmetro
CO ₂	Dióxido de Carbono (Gás Carbônico)
Fe	Ferro
H ₂	Fórmula molecular do hidrogênio molecular ou gás hidrogênio
H ₂ S	Ácido Sulfídrico ou Sulfeto de Hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₂ O	Água
H ₂ CO ₃	Ácido carbônico
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
Ni	Níquel
NH ₃	Amônia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES.....	20
2.2. BIOQUÍMICA DA DIGESTÃO	21
2.3. BIODIGESTORES E OS MODELOS DE REATORES DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	25
2.4 BIOGÁS	27
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DO ESTUDO	31
3.2. PROCEDIMENTOS ADOTADOS	32
3.2.1. Determinação potenciométrica do pH.....	40
3.2.2. Determinação alcalinidade total - AT (mg/l de CaCO ₃).....	40
3.2.3. Determinação sólidos totais (g/l)	41
3.2.4. Determinação demanda química de oxigênio - DQO (mg/l).....	42
3.2.5. Determinação ácido graxo - AGV (mg/l).....	42
3.2.6. Determinação nitrogênio amoniacal (mg/l) e nitrogênio total - N (mg/l)	43
3.3. PRODUÇÃO DE BIOGÁS E O DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO	49
4.3. DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	54
4.4. PROJETO DO BIODIGESTOR.....	56
5. CONCLUSÃO.....	59
6. RECOMENDAÇÕES.....	60
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a humanidade tem a prática de descartar os resíduos produzidos a céu aberto, destinando-os aos cursos da água ou utilizando alternativas caseiras, como enterrar ou queima-los. Entretanto, em meados do século XIX, com a revolução industrial a sociedade criou uma nova ordem social apresentado a preocupação do descarte adequado dos resíduos sólidos, dentro do contexto ambiental. (PEREIRA, 2012; PHILIPPI JR, 1979).

O crescimento e o desenvolvimento das cidades brasileiras proporcionam a geração de resíduos sólidos, que em grande parte são destinados a céu aberto e/ou lixões, tratando-se de uma disposição inadequada e desordenada, sem o uso de técnicas que visem à preservação da qualidade dos compartimentos ambientais, que ocasionam grandes impactos socioambientais e econômicos.

Dados do ABRELPE (2015) indicam que o Brasil em 2015 gerou um montante de 72,5 milhões de toneladas, o que resulta em um índice de 90,8% de cobertura de coleta. Destes cerca de 42,6 milhões foram destinados a aterros sanitários representando 58,7% de todo resíduo sólido coletado. Os remanescentes 31,3% foram dispostos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações. Por outro lado cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos (10%) não possuem coleta, e conseqüentemente, com destino impróprio.

Com relação a geração dos resíduos urbanos na região nordeste, o estado de Pernambuco em 2015 ocupa o 3º lugar totalizando produção de 8.986 t/dia, destes 43,8% são destinados a aterro sanitário (3.392 t/dia), 28,9% aos aterros controlados (2.240 t/dia) e 27,3% sem nenhuma forma de tratamento destinado aos lixões (2.113 t/dia) (ABRELPE, 2015).

Visando o gerenciamento mais eficiente dos resíduos sólidos, foi instituída pela Lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tem como principais objetivos:

A redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Também visa a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (BRASIL, 2010).

A PNRS marca o início da integração da União, dos Estados e Municípios, com o setor produtivo e a sociedade apresentando instrumentos como redução na geração de resíduos, aumento da reciclagem, reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente

adequada dos rejeitos para enfrentamento dos problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (MAIA, 2014; VENTURA, 2010).

Metade (51,4 %) dos resíduos urbanos gerados no Brasil são representados por resíduos orgânicos. Tais resíduos, quando em ambientes naturais equilibrados, são espontaneamente degradados reciclando os nutrientes nos ciclos biogeoquímicos. (BRASIL, 2010).

Segundo descrito em Reis (2012), são apresentados dois processos mais utilizados no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos: a) compostagem como um processo biológico aeróbio que transforma os resíduos orgânicos em estabilizados com as propriedades diferentes do material de origem sendo este muito aplicado na agricultura; e b) biodigestão (processo anaeróbio) que, “embora apresente uma taxa de bioestabilização da matéria orgânica mais lenta, figura-se como uma das alternativas que mais tem crescido nos últimos tempos, haja vista seu potencial de reaproveitamento energético”(REIS, 2012).

A degradação dos compostos orgânicos pelas bactérias anaeróbias resulta a produção de biogás e na sua composição tem em sua maior parte formada por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

Outro ponto que chama atenção sobre a biodigestão é que se trata de um processo que gera energia mais limpa com a produção do biogás reduzindo os impactos ambientais sobre o meio ambiente. Além de ser uma produção limpa, através do reaproveitamento e a redução dos resíduos, também se trata de processo econômico, cujo produto (biogás) pode ser utilizado para produção de energia elétrica e/ou como combustível.

Diante do exposto, o presente projeto de pesquisa objetiva avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de biodigestão para produção de biogás, através dos resíduos alimentares provenientes do Restaurante da Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco – ASSIFPE.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de biodigestor para tratamento de resíduos orgânicos alimentares em um restaurante com aproveitamento de biogás.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Caracterizar os resíduos orgânicos gerados no restaurante;
- b. Avaliar o potencial da geração de biogás para suprir o consumo da cozinha do restaurante;
- c. Dimensionar um biodigestor a partir de dados levantados na bibliografia e dos resultados obtidos nas análises.
- d. Propor a gestão de resíduos alimentares no restaurante.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES

A geração dos resíduos sólidos está diretamente influenciada por fatores culturais, níveis econômico e social, clima, hábitos de consumo, renda e padrões de vida da população. Assim, a origem dos resíduos está diretamente vinculada às atividades básicas do ser humano (BIONE, 1999). De acordo com a PNRS, define-se:

“Resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Os resíduos alimentares são facilmente biodegradáveis e sua origem resulta da geração de resíduos sólidos residenciais, comerciais e feiras livres (ABNT, 2004).

Benítez (2016) discute que em 2013, de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), anualmente, um terço dos alimentos produzidos no âmbito mundial é desperdiçado, o que equivale a 1,3 bilhão de toneladas por ano, cuja a perda econômica anual é equivalente a 940 bilhões. Neste estudo estima-se que a América Latina e o Caribe é causadora de 6% dessas perdas alimentares. Em Hanson e Mitchell (2017), relatório da FAO de 2011, indicaram que a perda ou desperdício alimentar na América Latina ocorre em todas etapas: 27% na produção, 22 % na estocagem, 6% no processamento, 17% na distribuição e 28% no consumo.

Segundo a Ong Banco de Alimentos (2016), no contexto brasileiro, o desperdício é de 10% na produção, 50% no manuseio e transporte, 30% na comercialização e abastecimento e 10% no varejo e consumo. O desperdício por dia é de 41 mil toneladas de alimentos, mesmo tendo 3,4 milhões de brasileiros que passem fome e 52 milhões em situação de insegurança alimentar. A quantidade de alimentos desperdiçado poderia alimentar 25 milhões de pessoas por dia (o equivalente a 13% da população brasileira).

Muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos a nível nacional e/ou internacional na área de biodigestão para produção de biogás com a utilização de resíduos orgânicos domiciliares provenientes de cozinhas, cantinas escolares e restaurantes com aproveitamento do biogás

como alternativa de energia renovável como combustível e energia elétrica, a exemplo de Reis (2012) que refere-se a tratabilidade de resíduos sólidos provenientes da cozinha de um restaurante universitário no município de Caruaru, no Estado de Pernambuco, através de um biodigestor anaeróbio:

Foi construído um reator anaeróbio, com volume de 500 L, o qual foi monitorado por um período aproximado de 600 dias, sendo avaliada a eficiência do processo de remoção de matéria orgânica e produção de biogás (metano e dióxido de carbono). O biodigestor apresentou acidificação, logo após a partida, demonstrando a necessidade de suplementação de alcalinidade. Após recuperação o sistema apresentou eficiência média de remoção de 70% para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e de 82% para Teor de Sólidos Totais Voláteis – STV. (REIS, 2012)

Já Cifuentes (2015), que avaliou a produção de energia renovável através de biogás proveniente de resíduos alimentares produzidos nos restaurantes, cantina e quiosques instalados na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, obteve como resultado final um cenário de maior viabilidade econômica com produção de energia elétrica a ser utilizada em pontos da própria universidade.

Na Tabela 1, são demonstrados vários tipos substratos utilizados na alimentação da digestão anaeróbia e a geração de metano.

Tabela 1. Porcentagem gerada de metano na digestão anaeróbia

Substrato Utilizado na Alimentação	% de CH₄ Obtida	Referência
Frutas e Vegetais	50-65	Bouallagui et al. (2003)
Frutas e Vegetais	54-65	Bouallagui et al. (2004a)
Frutas e Vegetais	69-71	Bouallagui et al. (2004b)
Frutas e Vegetais e Resíduos Agropecuários	63-71	Misi e Foster (2001)
Frutas e Vegetais e Carnes	63,8-69,2	Misi e Foster, (2002)
Resíduos Alimentares	65	Riuji (2009)
Resíduos Alimentares	63-67	Corti e Lombardi (2007)
Resíduos Alimentares e Lodo	37-62	Agdag e Sponza (2005)

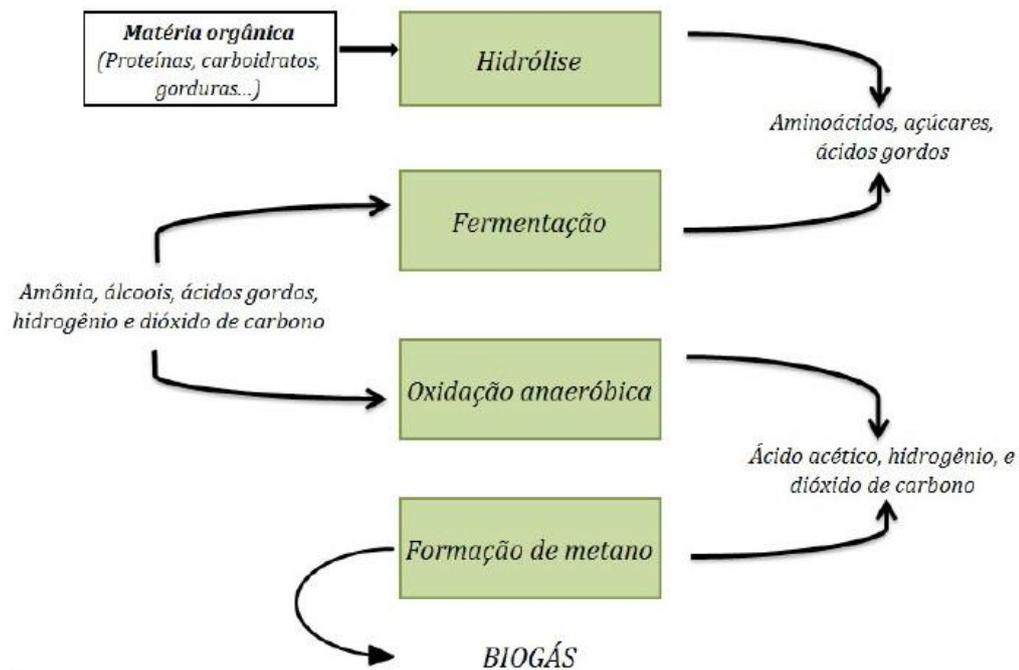
Fonte: Reis (2012, p27). Adaptado de Santos et al. (2010).

2.2 BIOQUÍMICA DA DIGESTÃO

A degradação da matéria orgânica, nas palavras de Mata-Alvarez (2003), envolve fases complexas, constituindo-se de reações tendo como produto final a síntese do metano.

Karlsson (2014) ilustra o esquema etapas do processo de digestão anaeróbia (conversão da matéria orgânica em gases) na Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática das etapas do processo de digestão



Fonte: Karlsson et al. (2014)

Os recentes estudos de Sakuma (2013), Karlsson (2014) e Rocha (2016), citam Lastella (2002) e Novak (1975) em relação a degradação anaeróbia que envolve quatro etapas: a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Tabela 2). A Figura 2 apresenta as rotas bioquímicas no metabolismo da biodigestão.

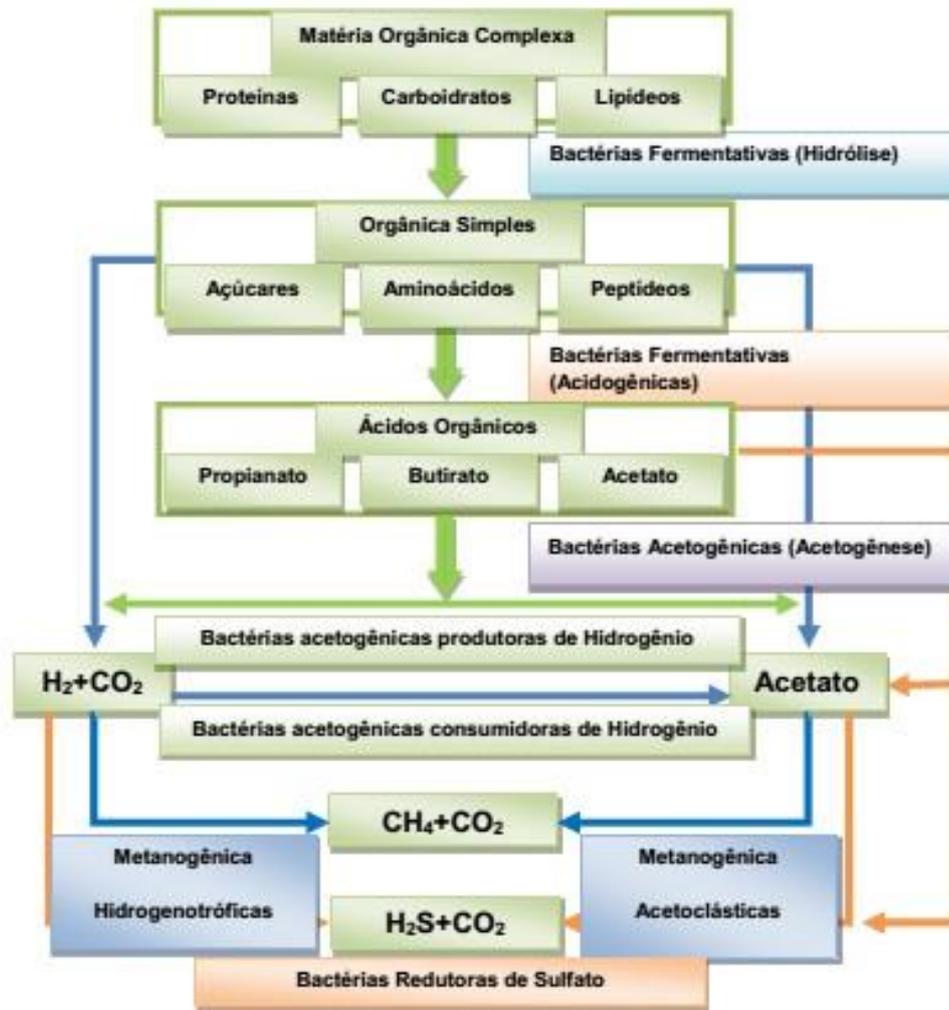
Tabela 2. Etapas da degradação anaeróbia

Etapas da digestão Anaeróbia	Definição	Mecanismo
-------------------------------------	------------------	------------------

1º Etapa: Digestão	Hidrólise	Os polímeros, materiais particulados complexos são degradados em moléculas menores pela ação das bactérias fermentativas hidrolíticas	Ocorre dentro do biodigestor a segregação das bactérias hidrolíticas com rompimento das moléculas de proteína e as transformam em aminoácidos, hidratos de carbono em açúcares simples e álcoois e graxas em ácidos graxos.
2º Etapa Fermentação	Acidogênese	Os componentes menores derivados da ruptura de moléculas grandes na hidrólise continuam a ser quebrados em moléculas sempre menores.	Os ácidos são formados por meio das reações e dividem-se em ácidos orgânicos, álcoois e amoníaco, além de hidrogênio e dióxido de carbono.
3º Etapa Oxidação anaeróbia	Acetogênese	As bactérias acetogênicas convertem o material degradado nas etapas anteriores em moléculas ainda menores.	As bactérias acetogênicas produzem substratos para a metanogênese, ou seja para formação de gás metano.
4º Etapa Formação metano	Metanogênese	A fase de formação de metano formado pelos microrganismos metanogênicos.	As bactérias são divididas em dois grupos principais: as metanogênicas acetoclásticas, capazes de produzir metano a partir do acetato (sendo responsáveis por cerca de 60 a 70% da produção de metano) e as bactérias metanogênicas hidrogênotróficas, que são capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono.

Fonte: Lastella (2002); Novak et al. (1975) apud Sakuma (2013); Rocha (2016) e Karlsson et al. (2014)

Figura 2. Metabolismo da biodigestão



Fonte: Lastella (2002) Adaptado de Gujer e Zehnder (1983 apud AQUINO, 2005).

Chernicharo (2007), Cortez (2008), Gonçalves (2013), Cifuentes (2015) e Rocha (2016) concordam que os fatores que afetam o processo de digestão anaeróbica são a temperatura, o potencial hidrogeniônico - pH, os nutrientes, o teor de umidade, o tipo do reator, a concentração do resíduo, as substâncias tóxicas e a agitação.

- a) **Temperatura** - responsável pelo crescimento de microrganismos e um dos parâmetros mais importantes com a correlação entre a produtividade do processo de biodigestão. São considerados a faixa de operação nas três gamas de temperaturas: *criofílicas* ou *psicrofílicas* entre 10° C a 20°C, a *mesófilas* entre 20° C a 45°C e a *termofílica* entre 45° C a 60°C. As temperaturas mais elevadas aceleram a velocidade das reações tornando o processo mais eficaz e proporcionalmente diminuem o tempo de retenção. A temperatura ideal associada com a digestão anaeróbica entre 30° C a 35°C, podendo ocorrer também entre 50° C a 55° C.

- b) **pH** - para o desenvolvimento dos microrganismos deve apresentar acidez e a alcalinidade com a concentração do pH entre 6 a 8, sendo ideal 7 e 7,2.
- c) **Nutrientes** - necessários para reprodução dos microrganismos na digestão anaeróbia, de um lado os macronutrientes: o carbono, azoto, fósforo e o enxofre; por outro lado, os micronutrientes: alguns metais como ferro (Fe), Carbono (C) e Níquel (Ni) englobados na biomassa.
- d) **Teor de água** - dentro do biodigestor o teor de água deve variar de 60% (biodigestores com alto teor de sólidos totais) a 90% (biodigestores com baixo teor de sólidos totais) do peso do conteúdo total.
- e) **Concentração do resíduo** - quanto maior o teor de sólidos voláteis e a disponibilidade de nitratos, fosfatos e sulfatos, maior será o potencial de geração de biogás.
- f) **Substâncias tóxicas** - o cloro, encontrado nos desinfetantes e amônia (NH₃) encontrado na cama de frango, suínos e detergentes são substâncias tóxicas responsáveis por inibir o processo de biodigestão.
- g) **Agitação** - normalmente é recomendada para reatores com volume acima de 100 m³ e pode ser feita com eixos equipados com pás ou hélices, ou com orbulhamento do biogás.

2.3 BIODIGESTORES E OS MODELOS DE REATORES DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Gaspar (2003 apud SAKUMA, 2013) define que o digestor anaeróbio é uma câmara hermética, em que é inserido o efluente, ocorre à metabolização dos compostos orgânicos no seu interior por bactérias anaeróbias. A eficiência na remoção da carga poluente pode chegar a 87%. Reis (2012) complementa dizendo que neste sistema fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, geralmente conta com um sistema de entrada de matéria orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo para retirada de subprodutos.

A literatura mostra que os primeiros modelos de reatores utilizados foram o modelo indiano e o modelo chinês, os quais foram amplamente difundidos.

O biodigestor indiano possui pressão constante e a campânula tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume e mantendo a pressão constante. Este sistema foi

desenvolvido para trabalhar com alta concentração de sólidos totais de até 8%. (DEGANUTTI, 2002 apud SAKUMA, 2013)

No modelo chinês, conforme Lastella (2002), a funcionalidade do reator é baseada no princípio de prensa hidráulica, acarretando o aumentando a pressão em seu interior acumulando biogás.

De de forma mais atual, Sakuma (2013) cita o surgimento de mais modelos: o da Marinha Brasileira e o Reator de fluxo ascendente e manta de lodo - UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), também são denominados como: DAFA (Digestores anaeróbio de fluxo ascendente), RAFA (Reatores anaeróbio de fluxo ascendente), RALF (Reatores anaeróbio de leito fluidificado) e RAFAALL (Reatores anaeróbio de fluxo ascendente através de leito de lodo).

Barrera (2003) afirma que o modelo da marinha brasileira possui maior facilidade de instalação, quando confrontado com o design de modelos mais antigos, como o Indiano e o Chinês.

Podemos entender então que a implementação dos UASB, representa um grande avanço na tecnologia da digestão anaeróbia: primeiramente foram utilizados no tratamento de biomassa residual da agroindústria e depois no tratamento de esgotos em regiões de clima quente e em muitos países em processo de desenvolvimento, a exemplo do Brasil, Colômbia, México, Egito e Índia. No presente, reatores UASB constituem cerca de 75% dos sistemas de tratamento anaeróbio no mundo. (SAKUMA, 2013)

Diversos autores como Sasse (1998), Farias e Alves Junior (2009), Nazaro e Nogueira (2016) e Pistorello (2015), explicam que no dimensionamento dos biodigestores algumas características complementares precisam ser consideradas, entre as quais:

- *Impermeabilidade* - ser impermeável tanto na fase líquida quanto na fase gasosa garantido assim a estanqueidade para evitar fissuras nas paredes do reator e perdas de fluído pelas singularidades;
- *Qualidade do material* - considerar o material a ser empregado no processo construtivo;
- *Custos* - Os custos de instalação e manutenção devem ser baixos;
- *Funcionamento* - Esse critério abrange o modo como o biodigestor funciona, se é abastecido diariamente ou em períodos determinados;
- *Tamanho da estrutura* - verificar o local de sua instalação e o seu formato, afim de diminuir as forças externas e internas que atuem sobre o mesmo;
- *Operação* - Pondera a facilidade de operação do biodigestor;

- *Segurança* - Fator importante uma vez que os biodigestores estão sujeitos a altas pressões e o biogás é altamente inflamável;
- *Eficiência* - Considera a eficiência na produção de biogás.

2.4 BIOGÁS

Segundo alguns estudiosos a descoberta do biogás, ou “gás dos pântanos” seria datada em 1667, após um século posterior o reconhecimento da presença de metano no gás dos pântanos. Nogueira (1986) explica que meados ao século XIX, o aluno de Louis Pasteur, Ulysse Grayon realizou experimento com a fermentação anaeróbia com mistura de estrume e água, a 35°C, obtendo 100 litros de gás por metro cúbico de matéria que posteriormente foi considerado esta fermentação como fonte de aquecimento e energia.

O primeiro estudo da utilização de biogás ocorreu na Inglaterra, 1895 com aproveitamento de uma pequena planta, uso de estrume e outros materiais em uma estação de tratamento de esgotos. A cada década o processo anaeróbio vem evoluindo e expandindo nos tratamentos dos resíduos industriais e agrícolas.

No século XIX passou a utilizar gás metano produzido pela digestão da matéria orgânica em fonte de energia como a iluminação. Somente em 1960 a digestão passou ser pesquisada em caráter científico permitindo mais detalhes do processo e desenvolvimento de biodigestores e equipamentos auxiliares (PECORA, 2006).

De acordo Karlsson (2014), historicamente acreditava-se que o biogás ocorria apenas pela quebra da matéria orgânica em ambientes anóxicos no fundo do mar. Entretanto, em meados do século XIX e início do século XX considerando os inúmeros avanços tecnológicos e conquistas da civilização, desenvolveram-se técnicas em busca da exploração com a utilização do gás produzido a partir do processo de digestão anaeróbia (sem oxigênio). A China e a Índia foram os primeiros países a produzir biogás e a utilizá-lo como fonte de energia oriunda de resíduos alimentares e dejetos em geral, sendo o biogás produzido aproveitado para iluminação e cozimento.

A Crise energética dos anos 70 despertou a retomada da produção do gás metano em digestores anaeróbios nos países europeus, tendo como principal vantagem a fonte de energia limpa renovável (ANDREOLI; FERREIRA; CHERNICHARO, 2003).

Tolmasquim (2012) alertava, ainda no ano de 2012, que a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira era bastante considerável e que contaria com uma predominância ainda maior dentro de um prazo de dez anos, ou seja, em 2022.

Holm-Nielsen (2009) descreve que o biogás tem como sua principal composição o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e uma quantidade reduzida de ácido sulfídrico (H₂S).

Segundo Karlsson (2014), a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, composta por plantas e animais mortos, contidas por milhões de anos no fundo de lagos e mares é considerado um combustível fóssil definido como gás natural. O biogás e o gás natural formam-se por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, a diferença entre eles é determinada quanto a queima do gás natural, o carbono retorna para atmosfera através de seu ciclo natural, e quando a matéria orgânica é convertida em biogás, não ocorre a liberação de dióxido de carbono e sim aproveitamento de energia.

As características e a composição típicas do biogás (Tabela 3) podem variar de acordo com material orgânico e pelas etapas do qual é produzido. O biogás poderá ser oriundo do gás de aterro, do lixo, de esgoto, de lodo, de dejetos, entre outros. (ZANETTE, 2009)

Tabela 3. Características e composição típicas do biogás

Parâmetro	Gás de Aterro ¹	Biogás – Digestão anaeróbica ²
Poder Calorífico Inferior (MJ/Nm ³)	16	23
Metano (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de Carbono (%vol)	15-50	30-47
Nitrogênio (%vol)	5-40%	-
Acido Sulfúrico (ppm)	<100	<1000
Amônia (ppm)	5	<100

¹ Produzido a partir da matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários

² Produzido a partir da matéria orgânica de resíduos agropecuários em reatores anaeróbicos

Fonte: Zanette (2009). Adaptado de Persson et al. (2006).

Reis (2012) define o poder calorífico do biogás, com percentual em torno de 70% de metano, é de aproximadamente 23.380 kJ/m³ ou 6,5 kW/m³, demonstrando a potencialidade de uso controlado. Para efeito comparativo, este valor atinge cerca de 60% do poder calorífico do gás natural, que confere 37.300 kJ/m³ ou 10,4 kW/m³.

A Tabela 4 apresenta a equivalência energética entre o biogás e alguns outros combustíveis convencionais.

Tabela 4. Equivalência energia entre biogás e outros combustíveis

Combustível (t=250C; P=1atm)	Volume Equivalente a 1 m³ de Biogás (t=25°C; p=1atm)
Querosene	0,342 litros
Lenha (10% de umidade)	1,450 litros
GLP	0,396 litros
Óleo Diesel	0,358 litros
Gasolina	0,342 litros

Fonte: Reis (2012). Adaptado de Andreoli; Ferreira; Chernicharo. (2003)

Na Tabela 5, encontra-se a relação comparativa de equivalência de 1 m³ de biogás com os combustíveis mais utilizados (DEGANUTTI, 2002).

Tabela 5. Equivalência energia entre biogás e combustíveis diversos

Combustível	Equivalência Energética com 1 m³ de biogás
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo Diesel	0,55 L
GLP	0,45 Kg
Álcool Combustível	0,79 L
Lenha	1,538 Kg
Energia Elétrica	1,428 kWh

Fonte: Cifuentes (2015) Adaptado de Deganutti et al. (2002).

Vieira (2015) afirma que a utilização do biogás vem-se expandindo no funcionamento de motores, geradores, moto picadeiras, resfriadores de leite, aquecedor de água, geladeira, fogão, lampião, lança-chamas.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANAEE (2008 apud VIEIRA, 2015), “o Brasil é um dos líderes em produção de energias a partir de biomassa, como a produção do biogás”. O investimento das políticas públicas seria um passo importante para garantir a manutenção dos sistemas de fabricação do biogás, além de manter a liderança do país no cenário internacional. E com criação do Proálcool nos anos 1980, e outros programas

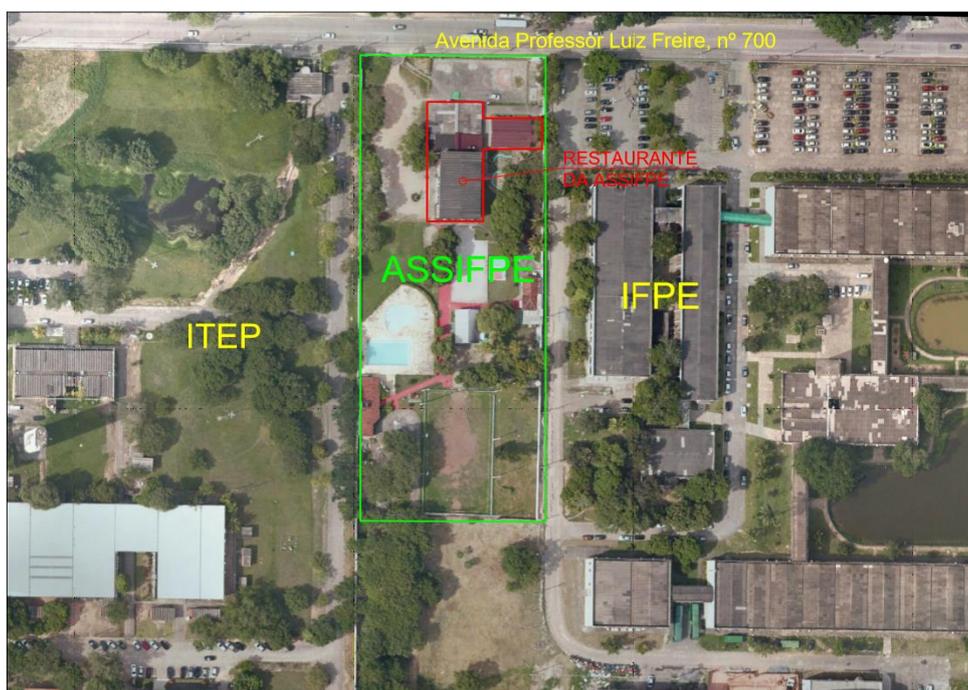
de incentivo ao uso de combustíveis alternativos, como óleo vegetal, gasogênio, gás natural, biogás, entre outros.

3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DO ESTUDO

A fração orgânica utilizada neste estudo, foi proveniente do descarte de alimentos da cozinha do restaurante da associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE, localizado na Av, Luiz Freire, nº 700 – Curado, Recife, PE (Figura 3).

Figura 3. Mapa de localização do restaurante da associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.



Fonte: Informações Geográficas do Recife - ESIG (2018).¹

O restaurante está localizado dentro de uma área de 1,10 hectares da ASSIFPE, tendo sua estrutura física em 1.300 m², aproximadamente 0,13 hectares. Esta estrutura física compõe-se da cozinha, espaço para acondicionamento dos alimentos e Gás Liquefeito de Petróleo - GLP, lavagem dos alimentos e dos utensílios, recepção para pesagem dos pratos e dois refeitórios.

O público alvo do restaurante são os servidores e alunos do IFPE, funcionários da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, Instituto de Peso e Medidas de Pernambuco - IPEM e o público em geral (Figura 4).

¹ Informações Geográficas do Recife - ESIG (2018) . UTM 25 S 284915 mN e 9108732 mS

Figura 4. Vista da entrada e do restaurante da Associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.

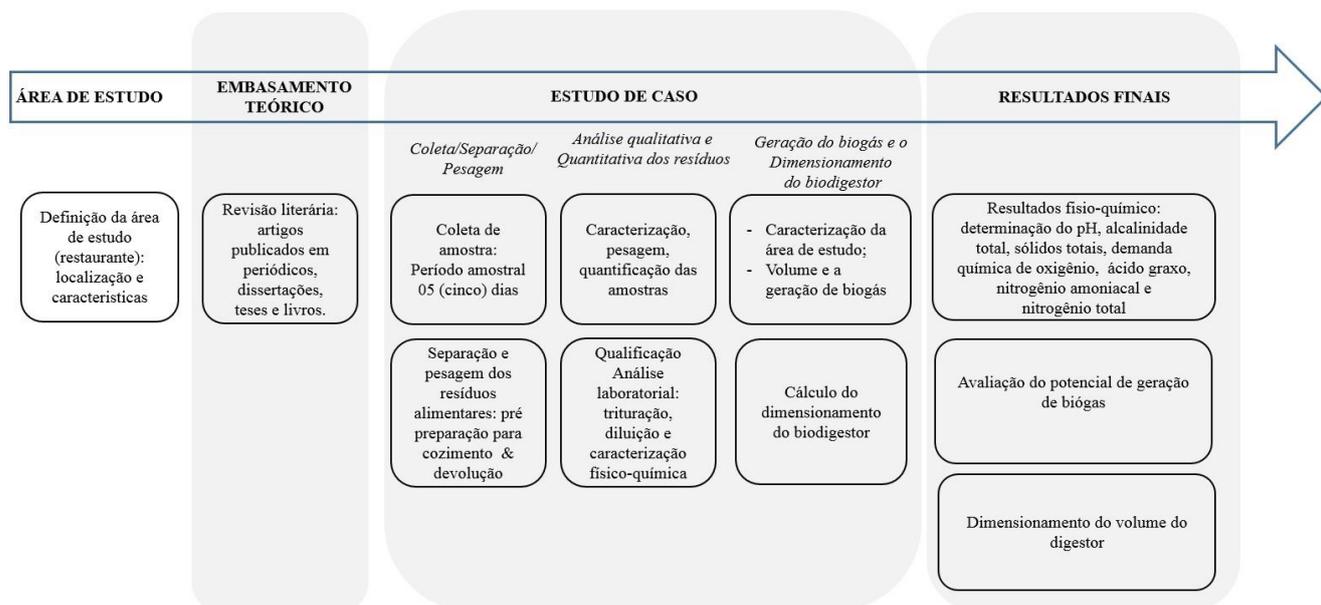


Fonte: Paixão (2016)

3.2. PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Figura 5 demonstra o esquema dos procedimentos adotados no estudo: definição da área objeto de estudo, revisão literária, coleta e caracterização dos resíduos alimentares, análises quantitativas e qualitativas, geração de biogás e o dimensionamento do biodigestor. Detalhes das mesmas serão encontradas nas próximas seções.

Figura 5. Esquema dos procedimentos adotados no estudo



Fonte: Paixão (2018)

Inicialmente, o embasamento teórico foi realizado através do levantamento bibliográfico e documental, por meio de artigos publicados em periódicos, dissertações, teses e livros.

A coleta dos resíduos orgânicos produzidos pelo restaurante da ASSIFPE foi realizada com a utilização de luvas para manuseio dos alimentos, sacos plásticos de 50 litros e etiquetas para identificação das amostras.

A separação e pesagem dos resíduos foram realizadas com a coleta das amostras durante um período amostral de 05 (cinco) dias, com frequência diária, para identificar os resíduos mais utilizados no preparo dos alimentos e a produção em média do número de refeições/dia. Na Figura 6 é demonstrada todos os processos de coleta, separação, pesagem das amostras.

Figura 6. Coleta, separação e pesagem dos resíduos alimentares produzidos no restaurante



Fonte: Paixão (2016)

Os resíduos foram coletados na pré preparação para cozimento (cascas de frutas, legumes em geral e de ovo, folhagens descartadas, carnes e restos alimentares) e na devolução, que enquadram os alimentados deixados nos pratos dos clientes (sobras ou restos) separando do lixo comum (guardanapos ou palitos deixados como sobra). (Figura 7)

Figura 7. Resíduos alimentares produzidos no restaurante



Fonte: Paixão (2016).

A pesagem dos resíduos alimentares foi realizada em balança digital calibrada. Na Tabela 6 é apresentado a produção em kg das amostras coletadas na preparação dos alimentos e as sobras das refeições consumidas no dia anterior, no período amostral de 09 a 15 de setembro de 2016. As amostras foram acondicionadas em temperatura adequada para sua preservação (Figura 8).

Figura 8. Método de conservação das amostras



Fonte: Paixão (2016).

Tabela 6. Produção em kg das amostras coletadas

Data coleta	Amostra	Produção (kg)	Registro Fotográfico
-------------	---------	---------------	----------------------

09/0/2016	01	76,5		
12/09/2016	02	21,0		
13/09/2016	03	11,5		
14/09/2016	04	13,5		
15/09/2016	05	17,5		

Fonte: Paixão (2017).

Posteriormente as amostras foram transportadas ao laboratório de Engenharia Ambiental - LEA da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste - CAA para análises quantitativa e qualitativa de cada amostra. Esta análise laboratorial consistiu em submeter as 05 (cinco) amostras em processos de trituração, diluição e caracterização físico-química.

A caracterização física dos resíduos consistiu na separação de cada alimento que compõem a amostra coletada e a sua quantificação, conforme Tabelas 7, 8 e 9. Após quantificado as amostras todo resíduo foi pesado 1 kg de cada amostra e homogeneizado, Figura 9.

Tabela 7. Caracterização física das amostras 01 e 02

Peso Total da Produção diária do Restaurante (kg)	Resíduos	Peso (Kg)	Registro Fotográfico
Amostra 01 2,130 kg	Casca de Abacaxi	0,042	
	Casca de Macaxeira	0,324	
	Casca Banana	0,158	
	Casca Cenoura	0,792	
	Casca e bagaço de Laranja	0,53	
	Repolho	0,056	
	Pedaços Pimentão	0,024	
	Casca e pedaços de Cebola	0,198	
	Pedaços de Tomate	0,006	
Amostra 2 1,876 Kg	Casca Cebola	0,116	
	Casca Banana	0,192	
	Casca Melão	0,084	
	Coentro	0,132	
	Casca e pedaço Chuchu	0,070	
	Casca Mamão	0,118	
	Casca pepino	0,070	
	Pedaços de Tomate	0,042	
	Pedaços Acelga	0,058	
	Repolho	0,350	
	Pedaços Pimentão	0,096	
	Casca e pedaços Batata Doce	0,084	
	Casca e pedaços Cenoura	0,376	
	Pedaços Beringela	0,040	
	Casca Abacaxi	0,038	
	Casca e pedaços Maçã	0,006	
Casca Ovo	0,004		

Fonte: Paixão (2016)

Tabela 8. Caracterização física das amostras 03 e 04

Peso Total da Produção diária do Restaurante (kg)	Resíduos	Peso (kg)	Registro Fotográfico
Amostra 03 1,940 Kg	Casca Abacaxi	0,096	
	Casca Laranja	0,040	
	Casca Limão	0,012	
	Alface	0,096	
	Casca e pedaço Maçã	0,012	

	Coentro	0,142
	Casca pepino	0,126
	Casca Mamão	0,160
	Casca e pedaços Cebola	0,434
	Pedaços Tomate	0,262
	Casca e pedaços Batata Doce	0,240
	Pedaços Quiabo	0,026
	Casca Ovo	0,012
	Pedaços Pimentão	0,054
	Casca e pedaços Maçã	0,014
	Repolho	0,182
	Pedaços Beringela	0,026
	Cascas e pedaços Cenoura	0,006
Amostra 04 1,674 Kg	Casca Batata Inglesa	0,448
	Casca e pedaços Beterraba	0,032
	Coentro	0,020
	Alface	0,028
	Casca e pedaço Cenoura	0,074
	Pedaços Pimentão	0,028
	Casca pepino	0,040
	Casca e pedaços Chuchu	0,262
	Casca Abacaxi	0,020
	Pedaços Tomate	0,012
	Quiabo	0,042
	Casca Banana	0,116
	Repolho	0,444
	Acelga	0,108



Fonte: Paixão (2016)

Tabela 9. Caracterização física das amostras 05

Peso Total da Produção diária do Restaurante (kg)	Resíduos	Peso (kg)	Registro Fotográfico
Amostra 05 1,718 Kg	Casca Abacaxi	0,124	
	Casca e pedaços Jerimum	0,190	
	Casca Limão	0,060	
	Casca Batata Inglesa	0,034	
	Casca e pedaço Cebola	0,122	
	Casca Banana	0,256	
	Casca Melão	0,214	
	Pedaços Carne Frango	0,214	
	Casca Ovo	0,016	
	Casca e pedaços Mamão	0,418	

Pedaços Pimentão	0,010
Casca e pedaços Batata Doce	0,010
Casca e pedaços Chuchu	0,036
Casca e pedaços Cenoura	0,014

Fonte: Paixão (2016)

Figura 9. (a) Pesagem de 1 kg de cada amostra e (b) Homogeneização das amostras



Fonte: Paixão (2016)

As amostras foram diluídas em 1 litro de água num liquidificador, apenas a Amostra 01 foi diluída em 2 litros de água por apresentar uma consistência muito densa que inviabilizava a análise e posteriormente trituradas (Figura 10).

Figura 10. (a) Diluição e (b) Trituração das amostras



Fonte: Paixão (2016)

As amostras diluídas foram colocadas em recipientes diferenciados para realização da caracterização química através das análises de alcalinidade (mg/l de CaCO_3), sólidos totais (g/l), Demanda química de oxigênio - DQO (g/l), ácido graxo voláteis - AGV (mg/l), nitrogênio amoniacal (mg/l) e nitrogênio total N (mg/l) como demonstrado na Figura 11.

Figura 11. As amostras dispostas em recipientes diferenciados e enumerados para a caracterização química.



Fonte: Paixão (2016)

A caracterização e as análises das amostras foram realizadas no período de 21 a 27 de setembro de 2016, no laboratório LEA, Campus Caruaru para determinação dos parâmetros físicos e químicos com a metodologia e frequência descrita na Tabela 10 e apresentadas a seguir.

Tabela 10. Análises, frequência, material e metodologia utilizados em laboratório

Parâmetro	Material		Metodologia
	Afluente	Efluente	
pH	X	X	Potenciométrico [3]
Alcalinidade Total	X	X	Titulométrico [2]
Alcalinidade a Bicarbonato	X	X	Titulométrico [2]
Ácido Graxos Voláteis	X	X	Titulométrico [2]
Nitrogênio Total e Amoniacal	X	X	Titulométrico 4500- [1] 4500C
Demanda Química de Oxigênio	X	X	Titulométrico - 5220 [1]
Temperatura	X	X	Potenciométrico [3]
Potencial Redox	X	X	Potenciométrico [3]

[1] Conforme Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

[2] Por Dilllo & Albertson em 1991.

[3] Parâmetros mensurados em equipamentos de bancada e/ou medição direta.

Fonte: Reis (2012)

3.2.1. Determinação potenciométrica do pH

Como descrito na American Public Health Association APHA (2005), a determinação do pH foi realizada potenciometricamente utilizando um eletrodo sensível à atividade iônica do hidrogênio em solução. Os íons H^+ se difundem significativamente para a membrana do eletrodo, independente da composição da amostra, criando uma diferença de potencial elétrico através da membrana, que varia linearmente em função do pH.

O potenciômetro realiza medições em voltagens da ordem de miliVolts. A aplicação da metodologia utilizada foi apresentada na Figura 12.

Figura 12. Aplicação da metodologia para determinação pH



Fonte: Paixão (2016)

3.2.2. Determinação alcalinidade total - AT (mg/l de $CaCO_3$)

A alcalinidade de uma solução é a medida da sua capacidade de neutralizar ácidos devido à presença de bases, de sais de ácidos inorgânicos fracos (bicarbonato, borato, silicato e fosfato); e de sais de ácidos voláteis (acetato, propionato, butirato, entre outros) e não voláteis (benzoato, lactato, humato, entre outros).

O método utilizado foi o volumétrico, com detecção potenciométrica, até atingir um pH pré-fixado ou condutimétrica, quando o ponto final é determinado matematicamente, após adição de excesso de titulante. A determinação da alcalinidade total, por potenciometria ou por condutimetria, é feita por titulação com solução padronizada de ácido sulfúrico (H_2SO_4), verificar Figura 13.

Figura 13. Método volumétrico para determinação da alcalinidade total - AT (mg/l de CaCO_3)



Fonte: Paixão (2016)

3.2.3. Determinação sólidos totais (g/l)

Segundo Cifuentes (2015), quanto maior o teor de sólidos voláteis e a disponibilidade de nitratos e fosfatos, maior será a geração de biogás. Para Cortez (2008), o teor de sólidos deve estar entre 6% e 9%, portanto os dejetos de animais devem ser diluídos em água para alcançar essa concentração.

A Figura 14 demonstra procedimentos em laboratório para determinação dos sólidos totais desde a preparação da cápsula, pesagem, a calcinação a 550°C por 1 (uma) hora em forno-mufla e a transferência para um dessecador até atingir a temperatura ambiente.

Figura 14. Processo laboratoriais para determinação de sólidos totais



Fonte: Paixão (2016)

3.2.4. Determinação demanda química de oxigênio - DQO (mg/l)

A análise de DQO realizada correspondeu a oxidação química da matéria orgânica, obtida através do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, em elevada temperatura. Este processo para determinação de DQO permite que a matéria orgânica seja convertida em CO_2 e H_2O .

No experimento foi utilizado como reagentes a solução de ácido sulfúrico + sulfato de prata e a solução de digestão o dicromato de potássio + sulfato de mercúrio para diluição com as amostras e colocadas posteriormente no Espectrofotômetro Spectroquant Pharo 300, para obtenção dos resultados. Os procedimentos realizados em laboratório estão demonstrados na Figura 15.

Figura 15. Processos laboratoriais para resultados DBO



Fonte: Paixão (2016)

3.2.5. Determinação ácido graxo - AGV (mg/l)

Os ácidos graxos voláteis - AGV são compostos formados por ácidos orgânicos de cadeia simples produzidos nas etapas da degradação anaeróbia, a acidogênese e acetogênese com resultados do processo a transformação ácido acético, H_2 e CO_2 .

Neste estudo, foi utilizado a centrifugação das amostras a 3000 RPM por 15 minutos, com a notação do pH inicial da de 25 mL do sobrenadante. O primeiro passo foi a titulação com H_2SO_4 a 0,2 N e no qual foi registrado o volume utilizado até atingir pH 3, em seguida, foi deixado em ebulição por 5 minutos.

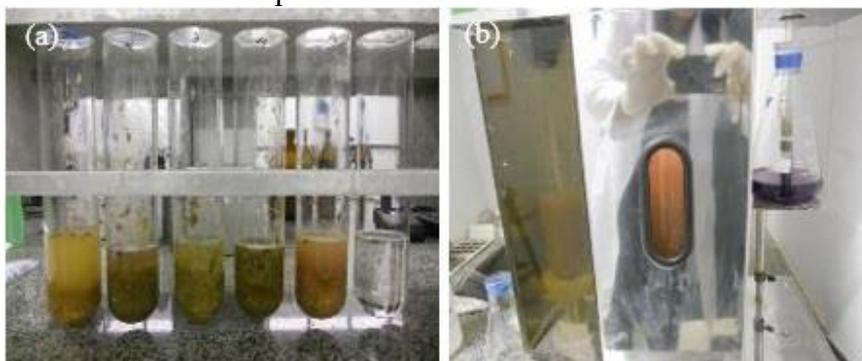
Em seguida, foi iniciada a titulação com NaOH 0,2 N até o pH 4, o registro do volume gasto foi realizado e continuou-se a titulação até atingir o pH 7.

3.2.6. Determinação nitrogênio amoniacal (mg/l) e nitrogênio total - N (mg/l)

Shahriari (2012) argumentam que a degradação de resíduos sólidos orgânicos provenientes de resíduos alimentares, acarretam o aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal, assim como outros constituintes presentes no lixiviado, podendo inibir a atividade metanogênica.

Para determinação do nitrogênio total estabelece-se a soma do nitrogênio orgânico e amoniacal, não sendo consideradas as quantidades de nitrito e nitrato. Nesta dissertação foi realizada pelo método Método Kjeldahl (NTK), que engloba nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico (VON SPERLING, 2005), como apresentadas nas Figuras 16, 17 e 18.

Figura 16. (a) 50 ml das amostras diluídas em 50ml de água. (b) Destilador de nitrogênio a aquece as amostras com tampão borato 25ml.



Fonte: Paixão (2016)

Figura 17. O destilado de cada uma amostra foi colocado em um erlenmeyer de 250 mL, contendo 100 mL da solução de ácido bórico a 2% contendo solução indicadora mista para nitrogênio amoniacal.



Fonte: Paixão (2016)

Figura 18. Recolhido aproximadamente 100 mL de destilado de cada amostra foi titulado com a solução padrão de ácido sulfúrico até a coloração rosa ser obtida.



Fonte: Paixão (2016)

3.3. PRODUÇÃO DE BIOGÁS E O DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Para desenvolver um biodigestor capaz de digerir os resíduos alimentares produzidos pelo restaurante, foram realizadas pesquisas literária sobre os diferentes tipos de biodigestores considerando os parâmetros: eficiência, dimensões de todas as partes componentes, tipo de substrato a ser utilizado, volume digerido e a avaliação de sua viabilidade na geração de biogás e sua utilização na queima no cozimento dos alimentos.

O biodigestor proposto deverá atender a variação da composição e quantidade dos resíduos alimentares produzidos de acordo com: a) volume do resíduo a ser tratado; b) o material a ser utilizado não suscetível ao entupimento em suas tubulações; c) eficiência no processo da digestão anaeróbia; d) baixo custo de manutenção; e) preferência pelo funcionamento por gravidade/variações de pressões para evitar custos elevados com dispositivos mecânicos e menores custos com energia; f) operação em temperatura ambiente; g) que sua implantação seja em local adequado e esteticamente agradável para proprietário, funcionários e clientes do restaurante.

Para fins de dimensionamento foi considerado que 1 (uma) tonelada de sólidos voláteis equivale a 400m³ de metano em condições normais de temperatura e pressão (FERREIRA, 2015).

Para determinar a quantidade diária de sólidos voláteis e totais, adotou-se a média das porcentagens de sólidos voláteis 23% e sólidos totais de 25%. Na sessão Resultados e Discussão apresenta os detalhes do comparativo da bibliografia e os resultados das análises laboratoriais realizados.

A quantidade diária de sólidos voláteis determina-se de acordo com a Equação 01:

$$SV_{diário} = Pd \times SV_{Médio} \quad \text{Equação 1}$$

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

Pd = Produção diária de resíduo equivalente a 140 kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$SV_{Médio}$ = Média das porcentagens sólidos voláteis, adotado 23%.

Segundo Rocha (2016), os resíduos alimentares provenientes de restaurante ou pontos comerciais que trabalhem com fonte de matéria orgânica poderá fazer o uso da tecnologia de um biodigestor de digestão úmida e contínua. Para adotar esta tecnologia o substrato deverá umidificar resultando 15% de sólidos totais.

Para definir a carga de sólidos totais adicionada diariamente no biodigestor foi calculado, conforme a Equação 02.

$$C_{ST} = \frac{Pd \times ST_i}{100} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: C_{ST} = Carga de sólidos totais adicionada diariamente no biodigestor, em kg/dia;

Pd = Produção diária de resíduo equivalente a 140 kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral;

ST_i = Fração sólida do substrato inicial, atribuída pela média das porcentagens sólidos totais, adotado 25%.

E uma massa total de alimentação diária de acordo com a Equação 03:

$$M_t = \frac{C_{ST} \times 100}{ST_f} \quad \text{Equação 3}$$

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

C_{ST} = Carga de sólidos totais adicionada diariamente no biodigestor de 35 kg/dia (resultado da Equação 02);

ST_f = Fração sólida do substrato final, adotado de 15 % para digestão úmida. (ROCHA, 2015).

O volume de água final a ser adicionado ao tanque de digestão foi determinado pela Equação 04.

$$V_{\text{água}} = (M_t - P_d) \times \rho_{\text{água}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: $V_{\text{água}}$ = Volume de água final a se adicionada no tanque digestor, em L (litros)

M_t = Massa total de alimentação diária de 233,3 kg/dia (resultado da equação 03);

P_d = Produção diária de resíduo equivalente a 140 kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$\rho_{\text{água}}$ = Densidade da água 1 kg/m³.

Para a determinação do volume dos biodigestores foram atribuídos a massa específica do resíduo sólido orgânico apresentados por alguns autores de acordo com Rocha (2016), entre quais variações entre 131,0 kg/m³ e 481,0 kg/m³, tendo valor típico de 291,0 kg/m³; Também no estudo de Rocha (2016) indicou-se o valor de 504, 7 kg/m³ e 481,56 kg/m³ por mais dois autores. Para este estudo, se baseou-se na média entre valores de massa específica, seguindo a metodologia aplicada por Rocha (2016) de 430 kg/m³.

Um outro parâmetro importantíssimo para o dimensionamento de um biodigestor é o Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) que consiste na relação entre o volume útil do reator e a vazão do substrato, expresso em horas, dias ou equivalentes. De acordo com Sasse (1998), quanto maior o TDH menor será custo com a manutenção e maior o grau de digestão do substrato e conseqüentemente maior produção de biogás por m³ de resíduos. Em contrapartida valores altos de TDH requer grande capacidade de armazenamento.

Bouallagui (2003) discute que o TDH de 20 dias para tratado resíduos sólidos vegetais obtem-se uma eficiência de remoção de sólidos totais voláteis de 75% com produção de biogás com 65% de metano, enquanto que para Estoppey (2010), os resultados de remoção de sólidos totais voláteis deve ser cerca de 90%, no tempo de detenção hidráulica na ordem de 60 dias.

Cifuentes (2015), por sua vez, após seus próprios experimentos com a biodigestão de resíduos alimentares de restaurantes e cozinha considerou eficiente o TDH médio de 30 dias. Este valor do tempo de detenção hidráulica será adotado para este estudo.

Para os cálculos, considerando a massa específica de 430 kg/m³ indicada por Cifuentes (2015), por sua vez, após seus próprios experimentos com a biodigestão de resíduos alimentares de restaurantes e cozinha considerou-se eficiente o TDH médio de 30 dias. Equação 05 define o volume do tanque digestor.

$$V_{digestor} = \left((P_d \times \rho_{resíduo}) + V_{água} \right) \times TDH \quad \text{Equação 5}$$

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

P_d = Produção diária de resíduo equivalente a 140 kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral;

$\rho_{resíduo}$ = Massa específica do resíduo alimentar, adotado 430 kg/m^3 ;

$V_{água}$ = Volume de água final a se adicionada no tanque digestor 93,3 L (litros) equivalente $0,093 \text{ m}^3$, (resultado da equação 04).

TDH = Tempo de detenção hidráulica, em dias.

Para a avaliação da produção diária de biogás foi determinada pela metodologia aplicada por Nazaro e Nogueira (2016) que 1 kg de resíduo é capaz de gerar $0,1 \text{ m}^3$ de biogás, (Equação 06).

$$G = P_d \times 0,1 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

G = Produção diária de biogás, em m^3 /dia;

P_d = Produção diária de resíduo equivalente a 140 kg/dia corresponde o quantitativo gerado na coleta do período amostral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Restaurante tem o funcionamento de segunda a sexta-feira para almoço e jantar com a produção de 240 kg por semana de comidas para aproximadamente 400 pessoas. As refeições são preparadas na cozinha do próprio restaurante (Figura 19).

Figura 19. Cozinha do restaurante da associação dos Servidores do Instituto Federal de Pernambuco - ASSIFPE.



Fonte: Paixão (2016)

São servidas saladas, arroz, feijão, macarrão, lasanha, 03 tipos de frangos, 01 tipo de carne, 02 tipos de peixes, sucos, sopas e sobremesas naturais nada industrializados. Crustáceos não fazem parte dos alimentos servidos.

O condicionamento dos alimentos se dá com câmara fria para conservação das verduras, hortaliças, ovos, raízes, frutas e condimentos (Figura 20) e o cozimento em fogões combinados industriais (Figura 21).

Na cozinha do restaurante são utilizados botijões do tipo residencial 13 kg, cilindros de gás liquefeito de petróleo - GPL a granel de 45 kg e 2 (dois) de P190 ocorrendo troca a cada 7 a 9 dias (Figura 21).

Figura 20. Câmera fria para conservação dos alimentos.



Fonte: Paixão (2016)

Figura 21. Botijões residencial 13kg e GLP a granel de 45 kg e P190 kg.



Fonte: Paixão (2016)

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

a. Potenciométrica do pH

Os resultados das análises mostraram um pH variando entre 5,0 a 6,5 que representa leve acidez nas amostras (Tabela 11). Todos os valores estão de acordo com a literatura, sendo

a amostra 3 (5,32) com o pH mais ácida que as demais amostras. Sendo a amostra 5 (6,39) a mais neutra.

Conforme relatou Van Lier (1995), valores de pH em torno de 6 a 8 resultam a estabilidade na formação do metano e de acordo com a Tabela 18 os valores analisados das amostras encontram-se de acordo resultados recomendados pela literatura.

Tabela 11. Resultado do pH das amostras

Amostra	pH
1	6,11
2	6,21
3	5,32
4	6,33
5	6,39

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste (2016).

b. Alcalinidade total - AT (mg/l de CaCO₃)

A alcalinidade total presente em sistemas anaeróbios é resultado da soma das parcelas da alcalinidade parcial e a parcela intermediária, conforme apresentados na Tabela 12.

Segundo Silva (2014) recomenda valores de alcalinidade total para biodigestão anaeróbia, entre 2500 e 5000 mg.L⁻¹. Conforme visto na Tabela 12 todos os valores foram encontrados conforme a literatura, exceto para a amostra 1 que teve alcalinidade total um pouco acima do recomendado (513 mg.L).

Tabela 12. Resultado da alcalinidade (mg/l de CaCO₃)

Amostra	VT PH0- 5,75	VT PH 5,75-4,3	V Amostra	Nor. Ácido	Diluição	Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)		
	V1	V2	VA			Parcial	Intermediária	Total
1	2,2	11,3	44	0,02	2	100	413,6363636	513,6363636
2	3,6	16,1	41	0,02	1	87,80487805	304,8780488	392,6829268
3	0	12,2	42	0,02	1	0	290,4761905	290,4761905
4	4,12	12,8	40	0,02	1	103	217	320
5	3,7	15	42	0,02	1	88,0952381	269,047619	357,1428571

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste (2016)

Segundo Reis (2012) e Cifuentes (2015), quando a escala de pH é logarítmica e a escala de alcalinidade é linear com valores relativamente baixos de pH, é recomendado a adição de alcalinizantes, como o bicarbonato de sódio, cal e carbonato de cálcio.

c. Sólidos totais (g/l)

Os cálculos da medida de sólidos fixos e voláteis e resultado dos sólidos totais estão apresentados na Tabela 13.

A amostra 2 obteve a média de SV/ST mais baixa (64,98%) do que recomendado pela literatura, provavelmente relacionado ao tipo de alimentos coletados.

Tabela 18, apresenta o comparativo dos resultados das análises com os valores recomendados pela literatura e seus referidos autores.

Tabela 13. Resultados dos Sólidos totais (g)

Amostra	Voláteis (SV)	Totais (ST)	SV/ST
1	7,69%	8,28%	92,85%
	8,55%	9,18%	93,20%
	8,95%	9,55%	93,67%
Média	8,40%	9,00%	93,26%
2	5,25%	5,94%	88,40%
	1,11%	5,82%	19,14%
	4,93%	5,62%	87,75%
Média	3,76%	5,79%	64,98%
3	4,84%	5,42%	89,24%
	4,73%	5,31%	89,02%
	5,04%	5,63%	89,49%
Média	4,87%	5,45%	89,26%
4	4,71%	5,23%	90,12%
	4,90%	5,42%	90,38%
	4,63%	5,17%	89,48%
Média	4,75%	5,27%	90,00%
5	5,35%	5,93%	90,31%
	5,43%	6,06%	89,63%
	3,23%	6,72%	48,08%
Média	4,67%	6,24%	74,91%

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste (2016).

d. Demanda química de oxigênio - DQO (mg/l)

A remoção de DQO está diretamente relacionada com a temperatura e ocorrendo a diminuição da temperatura ambiente ocorre decréscimo da remoção de matéria orgânica em termos de DQO.

Os resultados de análises das amostras coletadas encontram-se valores típicos para resíduos alimentares (Tabela 14). Apenas uma das análises de DQO (mg/L) da amostra 1 foi acima dos valores das demais (101.164 mg/L)

Tabela 14. Resultado da demanda química de oxigênio - DQO (mg/L)

Amostra	DQO (mg/L)
1	101.164
	62.996
	71.100
2	35.057
	36.657
	39.408
3	32.169
	32.577
	32.334
4	25.758
	25.350
	46.280
5	57.834
	50.807
	57.386

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste (2016)

e. Ácido graxo - AGV (mg/l)

Cifuentes (2015) define que quanto maior o teor de sólidos voláteis - AGV e a disponibilidade de nitratos, fosfatos e sulfatos, maior será o potencial de geração de biogás, com teor sólidos entre 6% e 9%. Na Tabela 15 são apresentados os resultados das análises em laboratório, no qual demonstra que a amostra 1 atendeu a referência literária.

Tabela 15. Resultado do Ácido graxo voláteis - AGV (mg/l)

Amostra	AGV (mg/l)
1	8,8
2	5,1

3	4,7
4	4,5
5	5,6

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste (2016)

Conforme Reis (2012), a relação AGV/AT deverá ser inferior ou igual a 0,5 para que o sistema apresente boa capacidade de tamponamento e obtenha uma produção em média 60% (porcentagem em volume) de gás metano. Na Tabela 16 são apresentados a relação AGV/AT obtidas pelas análises laboratoriais. Observa-se que todos os valores de AGV/AT das amostras estão de acordo com a literatura.

Segundo mesmo autor, a adição de uma suplementação mostra a melhoria do sistema adquirindo assim, a capacidade de tamponamento, tendo a relação se estabelecido em valores inferiores a 0,5 a partir do comportamento da produção de metano.

Tabela 16. Resultados da Relação AGV/AT

Amostra	AGV (mg/L de HCO ₃)	AT (mg/L de CaCO ₃)	AGV/AT
1	8,8	513,6363636	0,017132743
2	5,1	392,6829268	0,012987578
3	4,7	290,4761905	0,016180328
4	4,5	320	0,0140625
5	5,6	357,1428571	0,01568

Fonte: Paixão (2018)

f. Nitrogênio amoniacal (mg/l) e nitrogênio total - N (mg/l)

Os resultados das análises do nitrogênio amoniacal e total encontram-se na Tabela 17 seguir apresentada.

Tabela 17. Resultados do nitrogênio amoniacal, (mg/l) e nitrogênio total N (mg/l)

Amostra	VA	VTB	VTA	FC	NH ₃ -N mg/l
1	50	0,7	1,6	1,025	10,332
2	50	0,7	6	1,025	30,422
3	50	0,7	2,9	1,025	12,628
4	50	0,7	5,5	1,025	27,552
5	50	0,7	4,1	1,025	19,516

Fonte: Dados laboratório LEA do Campus Acadêmico do Agreste em 2016

Na biodigestão o substrato afluyente de origem orgânica ocasiona o acréscimo nas concentrações de nitrogênio amoniacal (REIS, 2012). Conforme Ferreira (2015), no reator o acúmulo do nitrogênio amoniacal ocasiona a redução do rendimento do metano e alteração na emissão de amônia dissolvida no efluente final, o gás residual, devido a sua baixa solubilidade em meio aquoso.

4.3.DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

Para o dimensionamento do biodigestor foram adotados parâmetros de projetos estimando-se de acordo com volume de resíduos coletados produzidos do pré-cozimento e resto alimentares deixados após servidas as refeições no restaurante da ASSIFPE, totalizando 140 kg coletados no período amostral de 05 (cinco) dias. A produção diária de 240 kg de refeições por semana para atendimento de aproximadamente 400 pessoas, o equivalente ao valor mensal de 1 tonelada de alimentos produzidos para atender almoço e jantar de segunda a sexta-feira.

O elevado teor de umidade, e do teor da matéria orgânica biodegradável, a diversidade de macronutrientes e a presença de micronutrientes no processo da digestão anaeróbia constituem de características importantes no tratamento dos resíduos alimentares e produção de metano como produto final do processo.

Para se adotar a melhor tecnologia para dimensionamento do biodigestor foram ainda considerados as características do substrato, com avaliação dos resultados obtidos nas análises laboratoriais, entre quais o teor de sólidos voláteis e totais, como também o pH comparados com os resultados apresentados por diversos autores, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Comparativo da composição dos resíduos alimentares

Parâmetro	Amostra					Zhang et al. (2006)	Li et al. (2010)	Zhu et al. (2010)	Zhu et al. (2011)	Browne et al. (2012)	Zhu et al. (2013)
	1	2	3	4	5						
Sólido Totais (ST)	5,79%	5,79%	5,45%	5,27%	6,24%	30,90%	24,00%	50,20%	18,10%	29,40%	23,10%
Sólidos Voláteis (SV)	8,40%	4,87%	4,87%	4,75%	4,67%	26,40%	22,60%	36,10 %	17,10%	27,60%	21,00%

SV/ST	93,26%	64,98%	89,26%	90,00%	74,91%	85,30%	94,10%	72,00%	94,00%	95,30%	90,90%
Ph	6,11	6,21	5,32	6,33	6,39	-	-	5,4	6,5	4,1	4,2

Fonte: Paixão (2018). Adaptado de Ferreira (2015).

Os estudos aplicados pelos autores da Tabela 18 - Zhang (2006), Li (2010), Zhu (2010), Browne e Murphy (2012) indicam a variação dos sólidos totais (ST) ente 18,1 a 50,2%, enquanto que os resultados dos valores de ST das amostras analisadas nesta pesquisa entre 5,27 a 6,24%. Os valores de ST encontrados foram menores dos que os recomendados pela literatura, o mesmo ocorre para sólidos voláteis (SV) que recomenda-se valores entre 17,1 a 27,6%, enquanto as análises enquadram-se entre 4,67 a 8,4%.

Os resultados das análises realizadas mostraram que para a relação SV/ST, apenas a amostra 02 não estaria na variação correlacionada dos autores da Tabela 18 (72,00 a 95,30%). O pH em todas as amostras atenderia as recomendações da literatura.

Como os valores analisados sólidos voláteis e totais ficaram abaixo do que recomendado pelos autores da Tabela 18, adotou-se para o dimensionamento do biodigestor a média das porcentagens resultados de SV 23% e de 25% para ST.

Considerando que a quantidade do substrato produzido no período amostral 05 (cinco) dias é 140 kg a quantidade diária de sólidos voláteis é de 32,20 kg/dia, conforme Equação 01.

Para obter o volume de água necessário para alimentar para alcançar um substrato de 15% recomedado para digestão umida, tem-se uma carga de 35 kg de sólidos totais adicionada diariamente no tanque digestão, com massa total de alimentação diária de 233,3 kg/dia, correspondem a Equação 02 e 03.

Desta forma, devem ser adicionados ao tanque de digestão 233,3 kg de resíduo por dia, deste montante 140 kg são de resíduos orgânicos, o restante desta diferença será água. Temos a densidade da água de 1 kg/m^3 , o volume de água final a ser adicionado ao tanque de digestão de 93,3 litros para que o substrato entre no biodigestor com um valor de 15% de sólidos totais.

Para produção diária de 140 kg e a massa específica de 430 kg/m^3 tem-se $0,33 \text{ m}^3$ de resíduo alimentar e com a vazão de água ser adicionada para um substrato de 15% de SV a vazão de entrada é de $0,423 \text{ m}^3$.

Para atender este volume de resíduos sólidos produzidos será adotado um biodigestor com o volume de 9 m^3 e a produção de biogás foi apresentada de acordo com a Equação 06 resultando a produção de 14 m^3 de biogás por dia.

4.4.PROJETO DO BIODIGESTOR

Para o protótipo do biodigestor foi adotado uma tecnologia economicamente viável, com um bom resultado na digestão dos resíduos alimentares e que gerasse uma economia para o restaurante da ASSIFPE com a utilização do gás produzido para cozimento das refeições, com isso foi adotado o Mini Biodigestor 6000 fornecido pela empresa fabricante de biodigestores (Figura 22).

Figura 22. Modelo do protótipo do biodigestor residencial



Fonte: Recolast Ambiental (2018).²

O sistema é composto de um biodigestor tubular, um reservatório que são depositados a matéria líquida e sólida provenientes do biodigestor, denominadas de lagoa aeróbica. Para implantação do biodigestor é utilizado uma manta geotêxtil para revestir o solo para neutralizar o atrito/tração do biodigestor diretamente com o solo e para o armazenamento do gás através do gasômetro localizado na parte superior e o biogás produzido é transportado por uma mangueira até o queimador. Na Tabela 19 apresenta o dimensionamento pré estabelecido das unidades que compõem o Mini Biodigestor 6000.

Tabela 19. Dimensionamento Mini Biodigestor 6000

²Disponível em: <http://www.recolast.com.br/biodigestor.php>

Descrição	Mini Biodigestor 6000
Dimensões	1,4 d x 6 m
Capacidade (m³)	9 m ³
Lagoa biofertilizante (m)	4,2 m x 4,2 m x 1 h
Tubulação (entrada, saída, Limpeza)	3
Tubulação de biogás	40 mm
Manta geotêxtil	3,25 m x 10 m
Válvula de alívio	1
Flare (queimador)	1

Fonte: Recolast Ambiental (2018).

Para a alimentação do biodigestor na fase preliminar ocorrerá a trituração e diluição dos resíduos alimentares através de liquidificador industrial na proporção de 1 kg de resíduos alimentares para 1 litro de água totalizando 20 L, na correlação de 50% resíduos e 50% água. Recomenda-se que este processo torne as partículas menores, quanto menor a partícula, mais eficaz a digestão e maior produção de biogás.

O tempo de detenção hidráulico em torno de 30 dias para iniciar a produção de biogás e de biofertilizante com temperaturas ente 30° a 35° C, após este período diariamente terá a produção destes produtos para utilização na cozinha do restaurante e o material retirado poderá ser utilizado como biofertilizante que poderá servir para jardins do restaurante e da própria associação, pois este resíduo tem baixa carga orgânica e elevada nutrientes (fósforos e nitrogênio).

Numa área de 1,10 hectares da ASSIFPE o Mini Bio 6000 deverá ser localizado mais próximo restaurante aproximadamente de até 10 metros. Recomenda-se localizar uma mangueira com diâmetro maior para compensar as perdas de pressão da tubulação.

O local deverá ser bastante ensolarado e arejado para que a luz e calor permitam que as bactérias multipliquem, realizem a degradação da matéria orgânica e acelere as etapas do processo de digestão anaeróbia.

Para o uso do biogás, o mini biodigestor apresenta o equivalente a 1 dia com a queima no fogão de 2 horas e 10 minutos para cozimento dos alimentos. Assumindo que em 22 dias úteis de funcionamento do restaurante (segunda à sexta-feira), totalizará aproximadamente 48 h para cozimento, e que o funcionamento para queima seja de 8 h diário.

A viabilidade para implantação deste biodigestor apresentado pelo Recolast Ambiental para fornecimento do material e instalação do Mini Bio 6000 é de R\$ 3.644,42 (três mil,

seiscentos e quarenta e quatro reais e quarenta e dois centavos) com garantia de 5 anos. A vida útil é 10 a 15 anos, assumindo que:

- Restaurante cozimento será de 8h/dia e será distribuído por 2h com Biogás e 6h com GLP. Com a utilização do biogás, o restaurante teria uma economia de 25% de GLP/dia;
- Considerando um mês com 22 dias úteis (funcionamento do restaurante - segunda à sexta-feira e 8h de cozimento diário) teria o equivalente à 176h/mês de cozimento: 48h/mês seriam economizadas pelo uso do biogás e 128h/mês de cozimento utilizaria GLP;
- Custo atual mensal para restaurante comprando GLP é de R\$ 490 (quatrocentos e noventa reais), com o uso diário de 2h de biogás, o custo mensal seria reduzido para R\$ 356 (trezentos e cinquenta e seis reais), gerando uma economia mensal de R\$133 (cento e trinta e três reais).

Com esta configuração a ASSIFPE teria uma economia mensal aproximadamente R\$ 133,63 (cento e trinta e três reais), em um ano totalizaria R\$ 1.604,00 (um mil, seiscentos e quatro reais) com retorno do investimento do biodigestor em exatos 02 anos e 3 meses.

5. CONCLUSÃO

No modelo proposto foi utilizado a capacidade de digestão de 140 Kg de resíduos alimentares produzidos pelo restaurante com a produção de diária de 14 m³ de biogás.

Considerando uma tecnologia mais atual e de custo viável, foi proposto o Mini Biodigestor 6000 - biodigestor tubular e com uma lagoa aeróbica com volume de 9m³. O mesmo apresenta uma produção de biogás o equivalente a 1 dia com a queima (fogão de 2 horas e 10 minutos).

Os resultados de viabilização da implementação do biodigestor no restaurante, assumindo 22 dias úteis de funcionamento do restaurante (segunda à sexta-feira), totalizará aproximadamente 48 h para cozimento, e que o funcionamento para queima seja de 8 h diário. Em exatos 02 anos e 3 meses haverá o retorno do investimento.

Outra forma de reutilização dos resíduos alimentares remanescentes do processo de geração de biogás seria o uso do biofertilizante, o mesmo poderá servir para jardins do restaurante e da própria associação, ou mesmo atender a demais repartições públicas que ficam no entorno da associação.

Torna-se importante o incentivo de desenvolver tecnologias de forma sustentável com a geração de fontes de energia, a partir de biogás e seu reaproveitamento tanto para cozimento, mas como também no setor energético, sendo esta uma forma de responsabilidade ambiental para o tratamento do lixo orgânico gerado no Brasil e desperdiçado.

6. RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos posteriores nessa linha de pesquisa sugere-se o estudo de diferentes configurações de reatores, assim como a avaliação dos custos de implementação:

- i. Recomenda-se uma análise mais detalhada da geração dos resíduos no período de férias escolares do IFPE, quando a imigração de professores e alunos, a fim de avaliar as condições de operação do reator e garantir a continuidade do processo;
- ii. As coletas poderão ser realizadas num período amostral maior para melhor detalhamento quanto a quantificação e a caracterização dos resíduos alimentares produzido em consonância com períodos de férias do IFPE.
- iii. Realizado reanálises em laboratório para que resultados de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e a relação de SV/ST e demais parâmetros estejam consonâncias com valores propostos pela literatura e atendam aos requisitos para digestão anaeróbia.
- iv. Geração de tecnologias economicamente viáveis para sejam adotadas por mais estabelecimento no reaproveito dos resíduos alimentares na produção de biogás e transformando em GLP ou energia elétrica gerando assim uma economia nos gastos com estas duas fontes energia.
- v. Outro ponto a ser proposto seria o estudo dos parâmetros para o tratamento do material remanescente a ser utilizado na agricultura em forma de fertilizante.
- vi. Acompanhamento e monitoramento do biodigestor e da lagoa aeróbica tanto seu funcionamento como também no processo da biodigestão.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. São Paulo, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEE, 2008.
- ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A.C.; CHERNICHARO, C. A. L. Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás. In CASSINI, S. T. (coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro: PROSAB, 2003. 196p.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21sted. USA: APHA, 2005. Disponível em: <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf>. Acesso em: 07 dec. 2016.
- AQUINO, S. F. de et al. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, p. 192-201, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n2/a10v12n2.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2016.
- BARRERA, P. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ed. Ícone, 1993. 106 p.
- BENÍTEZ, Osvaldo Raúl. Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe. **Food and Agriculture Organization**, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>>. Acesso em: 15 jul 2017.
- BIONE, F. R. A. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Paulo: EESC/USP, 1999.120p.
- BOUALLAGUI, H. et al. Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. **Bioresource Technology** 86, 85-89. 2003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12421014>>. Acesso em: 15 jan 2018.
- BRASIL. Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 03 fev 2018.
- BROWNE, J. D.; MURPHY, J. D. Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. **Appl. Energy**, v. 104, p. 170-177, 2012.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Anaerobic reactors**. Biological Wastewater Treatment Series. Vol 4. London: IWA Publication, 2007. Disponível em:

<<https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402116.pdf>> Acesso em: 15 fev 2018.

CIFUENTES, I. D. R. **Análise da viabilidade técnica e econômica da microgeração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás oriundo de resíduos alimentares.** Recife (PE): UFPE, 2015. [Dissertação de Mestrado].

CORTEZ, L., LORA, E., GÓMEZ, E (Org.). **Biomassa para energia.** Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas, 2002.

ESTOPPEY, N. **Evaluation of small-scale biogas systems for the treatment of faeces and kitchen waste.** Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2010. Disponível em: <https://energypedia.info/images/f/f2/Eawag_report_-_ARTI_India.pdf> Acesso em: 5 fev 2018.

FARIAS, D. F.; ALVES JUNIOR, M. A. **Estudo para implementação de um biodigestor comunitário em comunidade de baixa renda.** São Paulo: USP, 2009. [Trabalho de Conclusão de Curso].

FERREIRA, B. O. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás.** Belo Horizonte: UFMG, 2015. [Dissertação Mestrado].

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor:** um estudo de caso na região de Toledo – PR. Santa Catarina: UFSC, 2003. [Dissertação]

GONÇALVEZ, I. R. **Estudo da produção de biogás a partir de resíduos alimentares.** Portugal: IPVC, 2013. [Dissertação de Mestrado]

HANSON, C.; MITCHELL, P. The business case for reducing food loss and waste. **Champions 12.3.** mar. 2017. Disponível em: <https://champions123.org/wp-content/uploads/2017/03/report_-business-case-for-reducing-food-loss-and-waste.pdf> Acesso em: 20 maio 2018.

HOLM-NIELSEN, J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology.** v.100, p 5478-5484, 2009.

KARLSSON, T. et al. **Manual básico de biogás.** Lajeado: Ed. da Univates, 2014.

LI, Y.; PARK, S.Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renew. Sust. Energ. Rev.,** 15, 821-826. 2010.

MAIA, H. J. L. et al. Política nacional de resíduos sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. **Polêmica,** v.13, n.1, 18 jan. 2014.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes**. Cornwall: IWA Publishing, 2003.

NAZARO, M. S.; NOGUEIRA, M. A. A. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos**. Santa Catarina: UFSC, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/166781/ARTIGO.pdf?sequence=2>>. Acesso em: 15 fev 2018. [Trabalho de Conclusão de Curso]

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão, a Alternativa Energética**. São Paulo: Editora Nobel, 1986.

NOVAK, J. T.; RAMESH, M. S. Stimulation in anaerobic degradation. **Original Research Article Water Research**, v 9, p. 963-967, 1975.

ONG BANCO DE ALIMENTOS. **Relatório de atividades 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.bancodealimentos.org.br/wp-content/uploads/2016/07/relatorio-atividades-oba-2016.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2018.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto residencial da USP: estudo de caso**. São Paulo: USP, 2006. [Dissertação]

PEREIRA, L. et al. Construção e o papel ambiental de um biodigestor. **De Magistro de Filosofia**, Anapolis, ano V, n.09, 2012.

PHILIPPI JR, A. **Sistema de resíduos sólidos: coleta e transporte no meio urbano**. São Paulo: USP, 1979. [Dissertação]

PISTORELLO, J.; CONTO, S. M.; ZARO, M. Geração de resíduos sólidos em um restaurante de um hotel da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.20 n.3, p.337-346, 2015.

REIS, A. dos S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. Recife: UFPE, 2012. [Dissertação de Mestrado]

ROCHA, C. M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. Juiz de Fora: UFJF, 2016. [Trabalho de Conclusão de Curso].

SAKUMA, A. C. **Desenvolvimento e análise experimental de biodigestores modulares de baixo tempo de residência**. Paraná: UFPR, 2013. [Dissertação]

SASSE, L. Biogas Plants. In: **Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)**. 1988. Disponível em <http://biogas.ifas.ufl.edu/ad_development/documents/biogasplants.pdf> Acessado em: 18 nov 2016.

SHAHRIARI, H. et al. Effect of leachate recirculation on mesophilic anaerobic digestion of food waste. **Waste Management**. 2012. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22088957/?ncbi_mmode=std> Acessado em: 18 nov 2017.

LASTELLA, G. et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, jan. 2002.

SILVA, F. et al. **Parâmetros físico-químicos na operação de biodigestores para suinocultura**. Revista Tecnológica, Maringá, p. 33-41, 2015.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 247-260, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10636/12378>>. Acesso em: 20 mar 2018.

VAN LIER, J.B. Limitations of thermophilic anaerobic wastewater treatment and the consequences for process design. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 69, n. 1, p. 1-14, 1996.

VENTURA, W. Breves Comentários à Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Revista Científica Integrada UNAERP**, Guarujá, 2010.

VIEIRA, G.E.G. et al. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. **Revista Liberado**, Novo Hamburgo, v. 16, n.26, p.101-220, 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios de tratamento biológico de águas residuárias**: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ 2009. [Dissertação de Mestrado].

ZHANG, R. et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresour, Technol**, 98, 929–935. 2006.

ZHU, B. et al. Biogas production from municipal solid wastes using an integrated rotary drum and anaerobic-phased solids digester system. **Bioresource Technology**, v. 101, n.16, 2010.