



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR PARA A  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO  
RESTAURANTE POPULAR.

Amanda Maria Machado Vieira  
Hilary Bentes Da Silva

SANTARÉM-PA  
2018

Amanda Maria Machado Vieira  
Hilary Bentes Da Silva

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR PARA A  
PRODUÇÃO DE A PARTIR DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE  
POPULAR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Colegiado do Curso de bacharelado  
interdisciplinar em Ciências e Tecnologia da  
Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus  
de Santarém, para a obtenção do grau de Bacharel  
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Dr. Carlos Célio Sousa da Cruz

SANTARÉM – PARÁ  
2018

## AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, Dr. Carlos Célio Sousa da Cruz, pela confiança e disponibilidade em ajudar no desenvolvimento do trabalho em todas as suas etapas.

Aos nossos pais e familiares, pela paciência e apoio incondicional durante todos os momentos da nossa vida.

Aos nossos amigos e colegas de faculdade, pela força e compreensão durante o decorrer do curso.

Aos nossos professores, pelos aprendizados repassados com competência e dedicação.

Aos funcionários do Restaurante Popular pela ajuda e orientação, especialmente a nutricionista Glicilene Evaristo da Silva.

## RESUMO

A geração de resíduos sólidos é um dos grandes problemas enfrentados pela população mundial. A disposição direta da fração orgânica dos resíduos urbanos em aterros sanitários provoca diversos impactos ambientais, dentre eles a geração de gases de efeito estufa e a redução da vida útil dos aterros, além de cessar toda a perspectiva econômica atrelada ao aproveitamento desses resíduos. O acelerado processo de urbanização, aliado ao consumo crescente de produtos duráveis e descartáveis, tem provocado sensível aumento do volume e diversificação dos resíduos sólidos gerados pela população. Deste modo, o encargo de gerenciar esses resíduos tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas. O grande obstáculo consiste em criar soluções ambientalmente eficientes e economicamente adequadas para equacionar esse problema. Neste contexto, a utilização de fontes alternativas e renováveis de energia que utilizam a fração orgânica presente nos resíduos sólidos, como a digestão anaeróbia torne-se cada vez mais viável. O presente trabalho é focado na avaliação do potencial de geração de energia através da biodigestão dos resíduos sólidos orgânicos gerados no Restaurante Popular de Santarém (RP), a fim de identificar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de um biodigestor. O RP não possui um instrumento de reaproveitamento para os resíduos produzidos, descartando todo o lixo orgânico de maneira inadequada. O aterro sanitário de Santarém recebe cerca de 152 toneladas de lixo diariamente. Diante disso, este trabalho tem a finalidade de diminuir os resíduos orgânico descartados pelo restaurante e apresentar uma alternativa viável e ecológica que pode ser adotada por outros restaurantes, feiras, é até residências.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos. Restaurante popular. Biodigestor. Biogás. Viabilidade Econômica

## ABSTRACT

The solid residues production is one of the biggest problems faced by the world's population. The direct disposal of urban waste organic fraction in sanitary landfills causes many environmental impacts, including the generation of greenhouse gases and reduction of landfills's shelf life, in addition to ending all economic perspective linked to the use of these wastes. The accelerated urbanization process, combined with the increasing consumption of durable and disposable products, has caused a significant increase in the volume and diversification of the solid residues generated by the population. Thus, the charge of managing these wastes has become a task that demands specific actions. The big obstacle consists on the creation of environmentally efficient and economically appropriate solutions to solve this problem. In this context, the use of alternative and renewable energy sources using the organic fraction present in solid residues, such as anaerobic digestion becomes increasingly viable. The present work focused on the evaluation of the energy generation potential through the organic solid wastes biodigestion generated in the Popular Restaurant of Santarém (RP), in order to identify the technical and economic viability for the implantation of a biodigestors. The RP does not have reuse instrument for the wastes produced, discarding all organic waste improperly. The sanitary landfill of Santarém receives 152 tons of garbage daily. Regarding it, this work has the purpose to reduce the organic waste discarded by the restaurant and present a viable and ecological alternative that can be adopted by other restaurants, fairs, and even residences. The results show an organic waste generation around 34,747 Kg/day, which is equivalent to the production of 2.31 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/day. Initially, the RP is saving about 227 reais in the month with cooking gas. The investment return analysis showed that the project is viable, the return time will be 13 months, corroborating the feasibility of the project.

Key words: Organic waste. Popular restaurant. Biodigestor. Biogas. Economic viability.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM RESTAURANTES .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.3 RESTAURANTE POPULAR DE SANTARÉM .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 MEIO AMBIENTE .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 BIOGÁS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 FATORES QUE INFLENCIAM NA PRODUÇÃO DO BIOGÁS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.1 TEMPERATURA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.2 PH.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.3 UMIDADE.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.4 NUTRIENTES .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 BIODIGESTOR.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.1 MODELO INDIANO .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6.2 MODELO CHINÊS.....</b>	<b>24</b>
<b>3.6.3 MODELO CASEIRO.....</b>	<b>25</b>

<b>3.7 BIOFERTILIZANTE.....</b>	<b>26</b>
<b>3.8 INOCULAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1 VOLUME TOTAL DO BIODIGESTOR.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.1.1 Volume adicionado diariamente .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.1.2 Tempo de Detenção Hidráulica - TDH .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.2 VOLUME DOS TANQUES .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.3 VOLUME TEÓRICO DE METANO .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 UTILIZAÇÃO DO GÁS METANO .....</b>	<b>35</b>
<b>4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.1 PAYBACK .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO.....</b>	<b>37</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.1 VOLUME TOTAL DO BIODIGESTOR.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.2 TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA - TDH .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2.3 VOLUME DOS TANQUES.....</b>	<b>41</b>

<b>5.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS ATRAVÉS DO BIODIGESTOR PROPOSTO.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.1 ESPECIFICAÇÃO DO BIODIGESTOR PROPOSTO.....</b>	<b>42</b>
<b>5.4 PRODUÇÃO TEÓRICA DO GÁS METANO .....</b>	<b>43</b>
<b>5.5 CONSUMO DE GLP PELO RESTAURANTE POPULAR.....</b>	<b>43</b>
<b>5.6. VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>44</b>
<b>5.6.1 PAYBACK .....</b>	<b>46</b>
<b>5.6.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....</b>	<b>46</b>
<b>5.6.3 TAXA INTERNA DE RETORNO.....</b>	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1 CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>6.2 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Parcela de cada região no total de RSU coletados no Brasil .....	14
Figura 3.2: Etapas de processamento do biogás .....	19
Figura 3.3: Digestão Anaeróbia.....	20
Figura 3.4: Interior do Biodigestor Indiano.....	24
Figura 3.5: Interior do Biodigestor Chinês.....	25
Figura 3.6: Modelo Biodigestor Caseiro .....	26
Figura 4.1: Recipiente contendo a FORSUP da cozinha – 1.....	30
Figura 4.2: Recipiente contendo a FORSUP da cozinha – 2.....	30
Figura 4.3: Recipiente contendo a FORSUP dos usuários .....	31
Figura 5.1: Fluxograma do biodigestor proposto .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Comparativo energético do biogás com outros combustíveis. ....	18
Tabela 3.2. Composição do biogás. ....	18
Tabela 3.3. Classificação dos biodigestores de acordo com o método utilizado. ....	23
Tabela 3.4. Dados de alguns estudos sobre digestão anaeróbia de resíduos sólidos. ....	28
Tabela 4.1. Cardápio semanal do Restaurante Popular (RP). ....	29
Tabela 4.2. Tabela com valores comparativos de tempo de detenção Hidráulica. ....	33
Tabela 4.3. Características físico-químicas dos inoculos. ....	35
Tabela 4.4. Poder calorífico de alguns combustíveis. ....	36
Tabela 4.5. Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás. ....	36
Tabela 5.1. Dados da pesagem de 45 dias do RP. ....	38
Tabela 5.2. Gastos com o biodigestor. ....	44
Tabela 5.3. Economia gerada com a utilização do biodigestor. ....	45

## **LISTADE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS**

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos especiais

DA - Digestão Anaeróbia

EB - Esterco Bovino

ES - Esterco Suíno

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

FORSU - Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos

FORSUP - Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos Preparada

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSOD-RP – Resíduos Sólidos Orgânicos Degradáveis gerados pelo Restaurante Popular

RP – Restaurante Popular

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

ST - Sólidos Totais

SVT - Sólidos Voláteis Totais

Td - Tempo de Detenção

## 1. INTRODUÇÃO

O período da Revolução Industrial foi responsável pelo aumento da base energética brasileira sem a preocupação dos impactos negativos ao meio ambiente, utilizando fontes não renováveis que além de comprometer a natureza, levam milhões de anos para sua reposição, ao contrário das fontes renováveis, como a biomassa, solar, hídrica e eólica, que não agredem a natureza e cujo tempo de recuperação são curtos e propiciam energia sem comprometer as futuras gerações.

Nas últimas décadas, discursos e normas a respeito do meio ambiente vem crescendo, um dos mais conhecidos, o Protocolo de Quioto, destacou a emissão do metano, um dos gases do efeito estufa (GEE), com 21 vezes de potência a mais do dióxido de carbono, em relação ao aquecimento global e que tal prática deveria ser reduzida ao máximo (PAULA et al., 2015).

O crescimento das cidades está diretamente ligada ao aumento do lixo, doméstico e industrial que juntamente com uma gestão falha e uma infraestrutura deficiente resultam em acúmulo de resíduos sólidos sem a destinação adequada comprometendo o meio ambiente e a paisagem turística da cidade. O cenário ambiental de países em desenvolvimento, como o Brasil, soma o crescimento tecnológico com os processos industriais. Em decorrência disso, o aumento da urbanização sem preocupação com meio ambiente, resulta em descartes inadequados de materiais orgânicos e inorgânicos, não atribuindo a eles nenhuma destinação correta. Dessa forma, dados informam que das quantidades de resíduos orgânicos sem coleta, 7,3 milhões de toneladas tem destinação imprópria, logo sem separação adequada dos inorgânicos que não são aproveitados e geram crescentes problemas ambientais (REIS, 2012; FAUSTINO, 2013; ABRELPE, 2016).

A coleta seletiva do lixo na área urbana é ineficiente, os resíduos não são separados e o descarte é realizado em locais conhecidos como lixões ou aterros sanitários, sem preparo e estrutura para esse tipo de atividade. A coleta seletiva e a reciclagem ainda são processos pouco conhecidos no Brasil. Setores alimentícios são responsáveis por uma parcela dos resíduos sólidos orgânicos, os ambientes com o maior fluxo de pessoas como restaurantes e lanchonetes propiciam restos de comida desde o preparo até as sobras de cada cliente, além de alimentos vencidos ou estragados devido ao mau condicionamento que podem ser utilizados para geração de energia no próprio local. Com isso a necessidade de equilibrar a geração de lixo com o tratamento tornou-se uma das preocupações tecnológicas atuais (NASCIMENTO, 2014; MELO et al., 2015).

Dessa forma, a quantidade de alimento pode ser transformada em benefício do próprio estabelecimento além de contribuir para a diminuição de impactos ambientais causados pelo desperdício ao ser redirecionado aos biodigestores anaeróbios para a liberação do biogás que visa investir em fontes alternativas e promover o desenvolvimento sustentável por meio de geração de energia e redução da emissão de gás metano na atmosfera.

Segundo GONÇALVES et al. (2009) a região sul é responsável por um maior número de pesquisas relacionadas ao biogás provenientes da biodigestão, devido a concentração de criadores de suínos, aves e bovinos. Porém o Nordeste foi pioneiro no país no aproveitamento de biomassa para digestão anaeróbia.

O PROBIOGÁS (2015) afirma que no setor de energia, o biogás é inserido na geração de energia elétrica e de calor, sendo o Brasil dependente do gás natural importado, dos limites espaciais da rede de gás, do crescente número de veículos a gás natural e do aumento de demanda doméstica de gás, aumento da necessidade desse recurso energético renovável. O biogás é considerado um biocombustível estratégico para o Brasil no âmbito econômico e de infraestrutura, ao reduzir os danos ambientais no gerenciamento de resíduos e efluentes.

O objetivo deste estudo é analisar os aspectos técnicos, ambientais e econômicos para a produção de energia por meio da biodigestão dos resíduos orgânicos gerados no restaurante popular de Santarém.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial, bem como a viabilidade técnica da implantação de um biodigestor anaeróbio, para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos do restaurante popular do município de Santarém visando o aproveitamento energético do biogás gerado.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Levantar os dados de produção de resíduos alimentares do Restaurante Popular de Santarém;
- Realizar a quantificação teórica do potencial de geração do biogás no tratamento anaeróbico dos resíduos alimentares do restaurante, a partir da geração de dados;
- Quantificar a economia em gás gerada teoricamente pela geração do biogás.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

Desde 1750, com a revolução industrial, as produções de objetos de consumo em larga escala aumentaram e com isso os usos de novas embalagens multiplicaram e alargaram consideravelmente o volume de resíduos gerados nas áreas urbanas. Conseqüentemente diminuem-se as áreas para alocar todos os resíduos produzidos nas cidades e a sujeira acumulada no ambiente aumenta a poluição do solo, das águas e do ar, agravando as condições de saúde e causando sérios impactos negativos ao meio ambiente (ABRELPE, 2014; BRASIL, 2016).

A lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) prevê a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos ou/e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2016).

Segundo BRASIL (2010) os resíduos sólidos são definidos 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 sólidos ou semissólidos, 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.

A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos (IPEA, 2012).

Segundo a Norma Brasileira de Referência nº 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com o processo que lhe deu origem, de seus constituintes e características, dispostos em dois grupos:

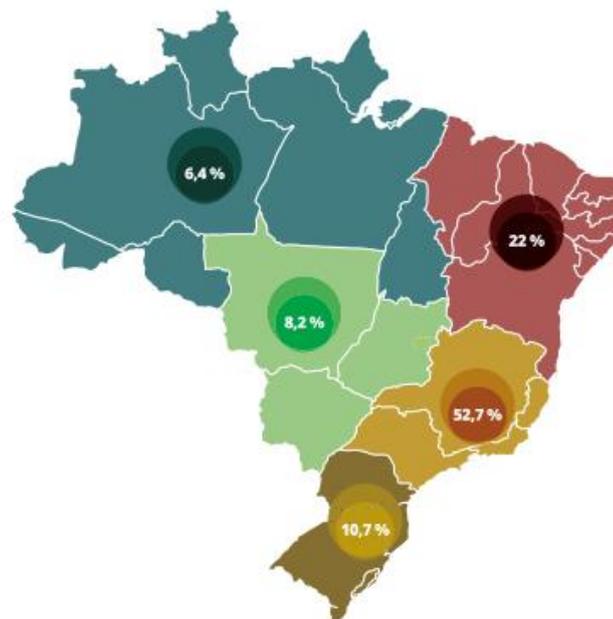
Resíduos Classe I – Perigosos: apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduos Classe II – Não perigosos:

- Resíduos Classe II A – Não inertes, possuem propriedades como a biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos Classe II B – Inertes, resíduos que quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos ao contato dinâmico e estático com água destilada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não resultem em nenhum constituinte solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, destacando aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2016 resultaram em 71,3 milhões de toneladas no Brasil, com um índice de cobertura de coleta de 91%, indicando 7 milhões de toneladas com destinação imprópria. Ao comparar a disposição final com o ano anterior verificou-se piora de 58,7% para 58,4% enviados para aterros sanitários e disposição inadequada de 29,7 milhões de toneladas de resíduos para lixões, locais que não possuem infraestrutura adequada para a proteção do meio ambiente (ABRELPE, 2016).

Figura 3.1 - Parcela de cada região no total de RSU coletados no Brasil.



Fonte: ABRELPE, 2016.

A região sudeste classifica-se em primeiro lugar na coleta de RSU, com percentual superior a 50%, onde indústrias e população possuem alta concentração, enquanto a região

norte apresenta a menor parcela sendo a de maior área e desenvolvimento em expansão. Dados da ABRELPE (2016) informam que ao comparar essas duas regiões a diferença de RSU total é 90.120 t/dia por município e o total do Brasil é 195.452 t/dia.

As propostas da PNRS visa uma disposição mais adequada dos resíduos sólidos das diversas fontes produtoras. Como a redução de resíduos gerados, ampliação da reciclagem e responsabilização de toda a cadeia de produção e de consumo (IPEA, 2012). Nos países desenvolvidos os processos de tratamento para resíduos sólidos municipais mais utilizados são a compostagem e a digestão anaeróbia. A compostagem é a degradação dos resíduos com presença de oxigênio, é a digestão anaeróbica (degradação dos resíduos com ausência de oxigênio). Ambos resultam na produção de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

### **3.1.1 Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO)**

Os resíduos orgânicos representam metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Somados aos resíduos orgânicos provenientes de atividade agrossilvopastoris e industriais, os dados do PNRS indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos. Os RS são considerados orgânicos ao possuir acima de 30% sua fração orgânica, como os gerados de tratamento de esgotos, lixos, árvores e alimentos (SOTTI, 2014; COSTA et al., 2004; PROSAB, 2003).

Quando separados de outros resíduos, as reciclagens dos restos orgânicos e sua transformação em adubo ou fertilizantes podem ser feitas em várias escalas e modelos tecnológicos. Os processos mais comuns de reciclagem de restos orgânicos são a compostagem e a biodigestão.

Ambas as técnicas, buscam condições ideais para decompor os resíduos orgânicos e transforma-los em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, promovendo a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão e perda de nutrientes e diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais.

Entretanto, menos de 2% dos resíduos sólidos urbanos são destinados para compostagem. Aproveitar este enorme potencial de nutrientes para devolver fertilidade para os solos brasileiros está entre os maiores desafios para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Quanto à biodigestão, o Ministério do Meio Ambiente fez parte do Comitê Gestor do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

(PROBIOGÁS), coordenado pelo Ministério das Cidades em parceria com a Agência de Cooperação Internacional Alemã.

### **3.1.2. Geração de Resíduos Orgânicos em Restaurantes**

De acordo com PEDRO e CLARO (2010), restaurantes populares são destinados ao preparo e à comercialização de refeições saudáveis, oferecidas a preços acessíveis à população, localizadas preferencialmente em grandes centros urbanos de cidades com mais de 100 mil habitantes. O público preferencialmente beneficiário dos restaurantes é formado por trabalhadores formais e informais de baixa renda, desempregados, estudantes, aposentados, moradores de rua e famílias em situação de risco de insegurança alimentar e nutricional. O direito a refeições diárias de qualidade e a baixo custo avançou significativamente ao longo dos últimos anos no país beneficiando a população.

Os restaurantes convencionais são atividades que geram grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos, sendo esta geração compreendida em todas as etapas do processo, iniciando na manipulação e preparo dos alimentos até o descarte das sobras contidas nos pratos após a refeição.

Restaurantes populares não diferem dessa realidade, os estudos mostram que a parcela do resíduo orgânico representa a maior porção em massa e volume dos resíduos gerados neste local (SOTTI, 2014; COSTA et al., 2004). São vários os fatores que determinam tais níveis de desperdício, como planejamento inadequado do número de refeições a serem produzidos, variações no número de clientes, e suas preferencias alimentares, produção e racionamento inadequado dos alimentos por falta de treinamento inadequado (ALBERTONI, 2013).

### **3.1.3. Restaurante Popular de Santarém**

Restaurantes populares são unidades de alimentação e nutrição que tem como princípio fundamentais a produção e a distribuição de refeições saudáveis, com alto valor nutricional a preços acessíveis (MANUAL PROGRAMA RESTAURANTE POPULAR, 2004; RESTAURANTES POPULARES, 2007)

O modo de vida nas grandes cidades tem gerado um progressivo crescimento do número de pessoas que realizam suas refeições fora de casa. Em função das restrições orçamentaria, os restaurantes populares são muito procurados.

Em Santarém o restaurante Popular é um projeto da Prefeitura Municipal que atende o limite de 700 pessoas por dia. O público beneficiado é composto na sua grande maioria por trabalhadores formais e informais de baixa renda, desempregados, moradores de rua, estudantes, aposentados e famílias em situação de risco de insegurança alimentar e nutricional. O cardápio oferece uma alimentação balanceada, a base de produtos regionais e frutas da estação.

O funcionamento do restaurante cumpre um papel social de extrema relevância, pois dispõem a população refeições balanceadas e de baixo custo. Santarém é a maior cidade do Oeste do Para é recebe diariamente muitas pessoas em buscas de médicos ou assistência social, dá-se então importância do RP.

A não existência do restaurante teria um impacto significativo sobre a distribuição mensal da renda dos usuários do restaurante e dos pequenos agricultores que fornecem os alimentos (frutas, legumes regionais) para o RP.

### **3.2. MEIO AMBIENTE**

O crescente aumento dos impactos ambientais está diretamente relacionada à queima de combustíveis fósseis que liberam dióxido de carbono e a falta de tratamento adequado e conscientização da população no trato de resíduos orgânicos que liberam gases poluentes a atmosfera, como o óxido nitroso e o metano.

A origem e o aumento dos resíduos orgânicos que afetam o meio ambiente negativamente são dependentes de três principais fatores, alterando a qualidade e a quantidade de resíduos, as condições climáticas da região, a densidade populacional e as condições sociais e econômicas da população. Diante disso, a destinação final com o meio de aterramento de resíduos continuará por muitos anos (PROSAB, 2003).

Diante da preocupação em mudar esse panorama o biogás destacou-se devido a sua geração descentralizada de energia e no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos importantes na redução de impactos ambientais negativos por ser um gás combustível renovável (PROBIOGÁS, 2015).

### **3.3. BIOGÁS**

O biogás é um gás resultante da fermentação anaeróbica, cujo processo de biodegradação da matéria orgânica ocorre devido à ausência de ar, como os dejetos de

animais, resíduos vegetais provenientes da área urbana e os lixos industriais em condições adequadas. É um gás incolor, insolúvel, leve, de fraca densidade e caso com porcentagem mínima de impurezas também é inodoro com o poder calorífico inferior do biogás é de 5.500 kcal/m<sup>3</sup> quando o metano esta na faixa de 60% (COLDEBELLA et al., 2006; ALVES et al., 1980; PROSAB, 2003).

Além de benefícios como a geração de energia renovável, o biogás pode ser utilizado como condicionante de solo, biofertilizante ou como combustível sólido para a geração de calor (Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, 2015). Na tabela 1, é mostrada a comparação em equivalência energética do biogás com outros combustíveis nas condições de temperatura a 25°C e pressão a 1 atm:

Tabela 3.1. Comparativo energético do biogás com outros combustíveis.

Combustível	Volume equivalente a 1 m <sup>3</sup> de biogás
Querosene	0,342 L
Lenha (10 % de umidade)	1,450 kg
GLP	0,396 L
Óleo Diesel	0,358 L
Gasolina	0,312 L

Fonte: PROSAB (2003).

A composição do biogás está na faixa de 55% a 70% de metano (CH<sub>4</sub>), 45% a 30 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) juntamente com menores concentrações de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, azoto e vapor de água (COLDEBELLA et al., 2006; RODRIGUES, 2005).

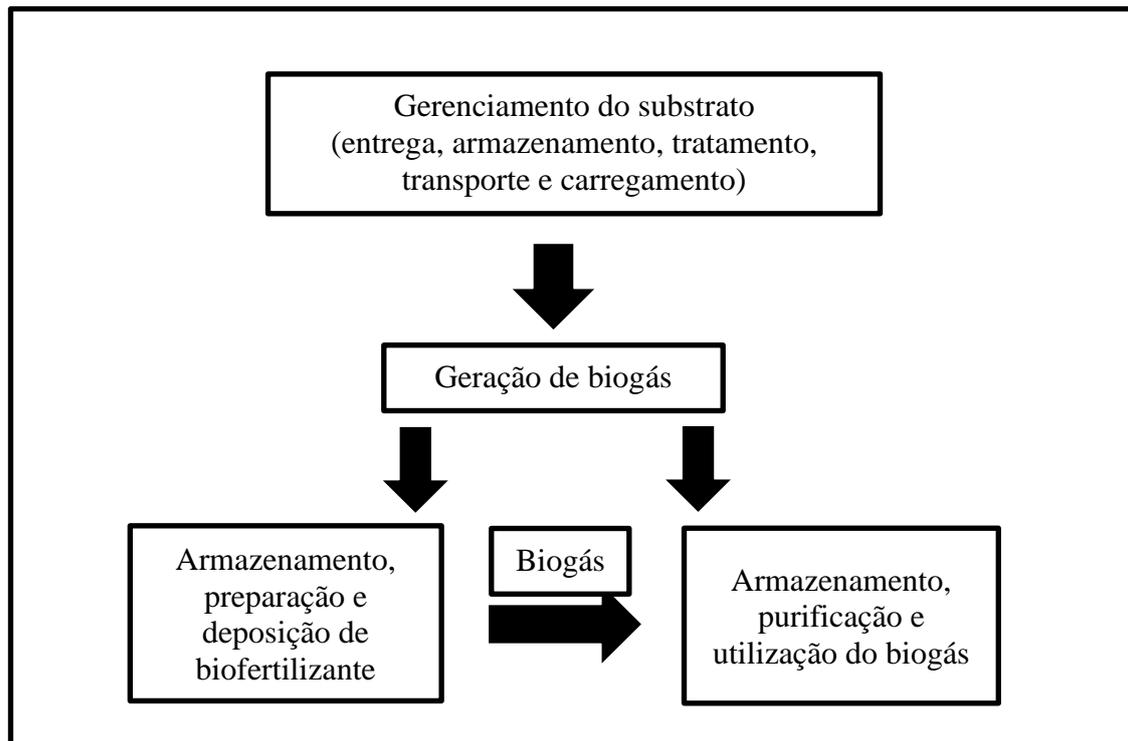
Tabela 3.2. Composição do biogás.

Metano (CH <sub>4</sub> )	55 – 70 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	45 – 30 %
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 – 1 %
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0 – 3 %
Outros gases	1 – 5 %

Fonte: Adaptado de RODRIGUES (2005).

As etapas básicas de processamento do biogás ocorrem basicamente de acordo com a figura a seguir:

Figura 3.2. Etapas de processamento do biogás.



Fonte: Adaptado de PROBIOGÁS (2015).

O aproveitamento do biogás ocorre basicamente em duas situações: queima direta – aquecedores, esquentadores, fogões e caldeiras; e na conversão do biogás em energia elétrica e térmica. O uso direto do biogás pode ser comprometido devido à presença de sulfeto de hidrogênio, substância tóxica e de odor desagradável de ovo podre que combinado com o vapor contido no processo origina o ácido sulfúrico o que reduz a eliminação do dióxido de carbono e por meio de tratamentos como a dessulfurização – divididos em biológicos, químicos e físicos, dependente da destinação do produto; e a secagem do biogás. (PROSAB, 2003; FNR, 2010; ROCHA, 2016).

### 3.4. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia (DA) é definida como um processo biológico no qual ocorre uma união de diversos organismos que na ausência de oxigênio propicia a mudança de carboidratos, proteínas e lipídios em metano e gás carbônico por meio de condições favoráveis para a aceleração do sistema de digestão. Fatores como a temperatura, o pH, presença de elementos nutrientes e ausência de materiais tóxicos no afluente influenciam nas condições de operação (FORESTI et al., 1999).

Segundo RODRIGUES (2005) o processo de DA converte os resíduos sólidos orgânicos em metano e dióxido de carbono devido à presença de micro-organismos e ausência do oxigênio. Dividida em quatro etapas: hidrólise; acidogênese; acetogênese; e metanogênese.

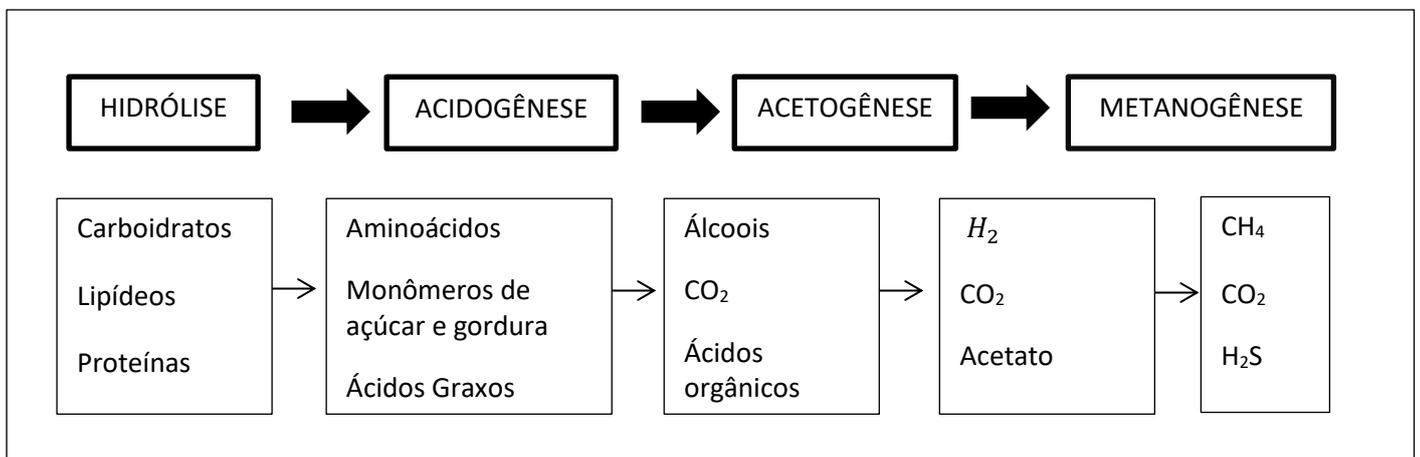
A primeira etapa para a produção do biogás é chamada de hidrólise, em que se baseia na conversão da matéria orgânica particulada em matéria orgânica dissolvida por meio de bactérias fermentativas hidrolíticas que degradam macromoléculas em moléculas menores, como as proteínas, lipídeos e os carboidratos, gerando respectivamente, os aminoácidos, monômeros de açúcar e gorduras, ácidos graxos de cadeia longa (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014; SOTTI, 2014).

A fermentação ou acidogênese, a segunda etapa, utilizam os produtos obtidos na hidrólise para a metabolização no interior das bactérias acidogênicas em compostos mais simples, como os álcoois, dióxido de carbono, hidrogênio, cetonas e ácidos orgânicos.

A terceira etapa é a acetogênese que por meio das bactérias sintróficas acetogênicas oxidam compostos orgânicos resultados da acidogênese, resultando em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Durante a fermentação devido à inibição de bactérias, os hidrogênios podem formar meios que prejudicam com a menor formação de acetato (REIS, 2012).

A etapa final é a metanogênese, a única em que ocorre produção de gás metano devido à microrganismos metanogênicas. Caso a matéria orgânica possuía concentração de enxofre pode ocorrer a formação de sulfetogênese que é a produção de sulfeto de hidrogênio, que competem com a produção de metano além de provocar desgaste em equipamentos, como os geradores (REIS, 2012; LUSTOSA e MEDEIROS, 2014).

Figura 3.3 Digestão Anaeróbia.



Fonte: Adaptado de LUSTOSA e MEDEIROS (2014).

### **3.5. FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DO BIOGÁS**

#### **3.5.1 Temperatura**

A temperatura é responsável pelas alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI et al., 1999). Na utilização do biodigestor é necessária a identificação do grupo bacteriano desejado – termófilos, mesófilos e psicrófilos – que dependem de uma temperatura ideal para o funcionamento do metabolismo (SOTTI, 2014). As bactérias responsáveis são as mesofílicas que operam na faixa ideal de 35 a 45°C, podendo também as bactérias termofílicas operando em 50 a 60°C, não variando de forma brusca a temperatura, pois as bactérias não sobrevivem (PROSAB, 20003).

#### **3.5.2 PH**

A mudança no PH afeta diretamente as bactérias na digestão, que deve permanecer na faixa de 6,0 a 8,0 na produção do metano com o funcionamento ideal do biodigestor com o pH 7,0. Durante a hidrólise e a acidogênese as bactérias produtoras de ácido consomem os mesmos, com isso o meio permanece neutro. Porém, essa produção ocorre de maneira mais rápida que a do metano, necessitando que as bactérias metanogênicas estejam operando no início da produção do biogás (COMASTRI FILHO, 1981; PROSAB, 2003).

VITORATTO (2004) explica que durante a hidrólise, caso ela seja mais alta que a taxa metanogênica e a alcalinidade não seja suficientemente elevada, pode ocorrer um acúmulo de ácidos graxos voláteis e de hidrogênio levando à acidificação do biodigestor, que acarretará na parada do processo. Havendo a necessidade de correção tanto da acidez quanto na alcalinidade do meio. Para alcalinidade recomenda-se a utilização de carbonato de sódio, soda caustica. Para aumentar a acidez recomenda-se o uso de ácido acético, ácido carbônico.

#### **3.5.3 Umidade**

O teor de umidade do resíduo sólido urbano depende da composição inicial do material, das condições climáticas locais, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica. Os altos teores de umidade dos resíduos sólidos urbanos são basicamente provenientes dos materiais orgânicos (resíduos alimentares, de jardim e poda).

A umidade tem influência direta sobre a velocidade da decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, na produção de biogás, no poder calorífico, no peso dos resíduos orgânicos sólidos (SOARES, 2011).

A água é responsável pelo fornecimento de nutrientes indispensável aos microorganismos, atua como substrato e agente condutor de enzimas, necessário para o processo de decomposição (REIS, 2012). Segundo ROCHA (2016) a umidade do biodigestor deve estar na faixa de 60% a 90%, sendo o mais próximo do valor mais baixo classificado com biodigestor com alto teor de sólidos e o de 90% com baixo teor de sólidos.

#### **3.5.4 Nutrientes**

O carbono, nitrogênio e sais minerais são os principais nutrientes das bactérias. Sendo os dejetos humanos e de animais fontes do nitrogênio e os polímeros presentes nos restantes das culturas fontes do carbono. Sendo necessário o uso de ambas para a produção do biogás (PROSAB, 2003).

### **3.6 BIODIGESTOR**

EMBRAPA (1980) define o biodigestor como uma câmara de fermentação, onde ocorre a digestão da biomassa pelas bactérias anaeróbicas para a produção de gases. De acordo com as características do projeto existem diversos tipos de biodigestores que podem ser utilizados, que podem variar devido às condições do local, o substrato utilizado e o objetivo do construtor. Basicamente é um recipiente fechado, construído de materiais como a alvenaria e concreto, onde o material digerido é depositado.

O biodigestor é um dispositivo responsável pela contenção da biomassa, que a partir de sua fermentação, libera o biogás e produz o biofertilizante. Em geral, são simples e possuem basicamente o tanque para a digestão da biomassa e o gasômetro para o armazenamento do biogás. A classificação pode ocorrer de acordo com a tabela 2 (GONÇALVES et al., 2009; ROCHA, 2016).

Tabela 3.3. Classificação dos biodigestores de acordo com o método utilizado.

Método	Tipo
Teor de matéria seca dos substratos	Digestão úmida Digestão seca
Tipo de alimentação	Descontínua Semicontínua Contínua
Nº de fases do processo	Monofásico Bifásico
Nº de estágios	Um estágio Dois estágios Multi-estágio

Fonte: Adaptado de FNR, 2010; REIS, 2012.

O método teor de matéria seca é responsável pela consistência do substrato. A digestão seca utiliza substratos empilháveis com teor de no mínimo 30% e a digestão úmida, substratos bombeáveis com teor de até 12% (FNR, 2010; BRUMMELER, 1993).

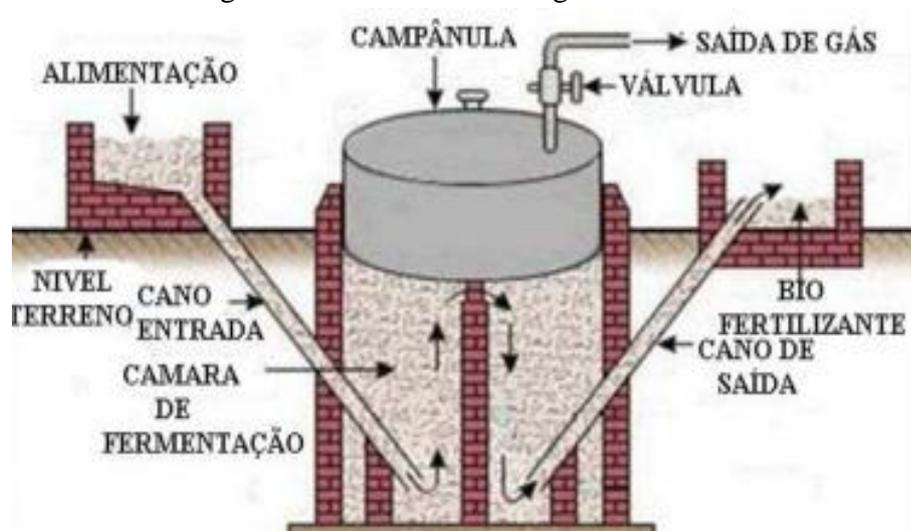
Os contínuos fornecem gás sem interrupção, ou seja, de forma permanente. Operam com matérias primas líquidas ou semilíquidas, e podem ser divididos em vertical ou horizontal devido ao seu posicionamento sobre o solo. Inserem-se nessa categoria os modelos indianos, chinês e o da Marinha Brasileira. Na alimentação semicontínua uma carga de substrato não fermentado é inserida no biodigestor no mínimo uma vez durante o funcionamento. Os descontínuos (em bateladas) fornecem o gás por um período de tempo limitado, sendo interrompido para a descarga do material fermentado e a adição do substrato novamente (OLIVEIRA, 2009; EMBRAPA, 1981; FNR, 2010).

A fase do processo é o meio biológico, a hidrólise e metanização, com o pH e temperatura específica. O sistema de uma fase é realizado em um único reservatório e o bifásico em depósitos diferentes. O método de estágios descreve o reservatório do processo, independente da fase biológica, onde as reações de hidrólise, acidificação, acetogênese e metanogênese ocorrem simultaneamente em um único digestor, e sistemas de dois ou multi-estágios no qual esses processos processam-se em cadeia em digestores separados (REIS, 2012; FNR, 2010).

### 3.6.1 Modelo Indiano

Formado por uma câmara de digestão, em sua parte superior possui o acoplamento de uma campânula móvel de material impermeável e rígido que serve de tanque do biogás. Quando o volume de gás produzido não é consumido imediatamente ocorre o deslocamento vertical do gasômetro aumentando o seu volume e mantendo a pressão de operação constante. O biodigestor do modelo indiano deve ser alimentado por uma concentração de sólidos totais (ST) de até 8% para auxiliar a circulação dos resíduos pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do MATERIAL (DEGANUTTI et al., 2002; BONTURI E VAN DIJK (2012).

Figura 3.4. Interior do biodigestor indiano.



Fonte: FONSECA et. al, 2009.

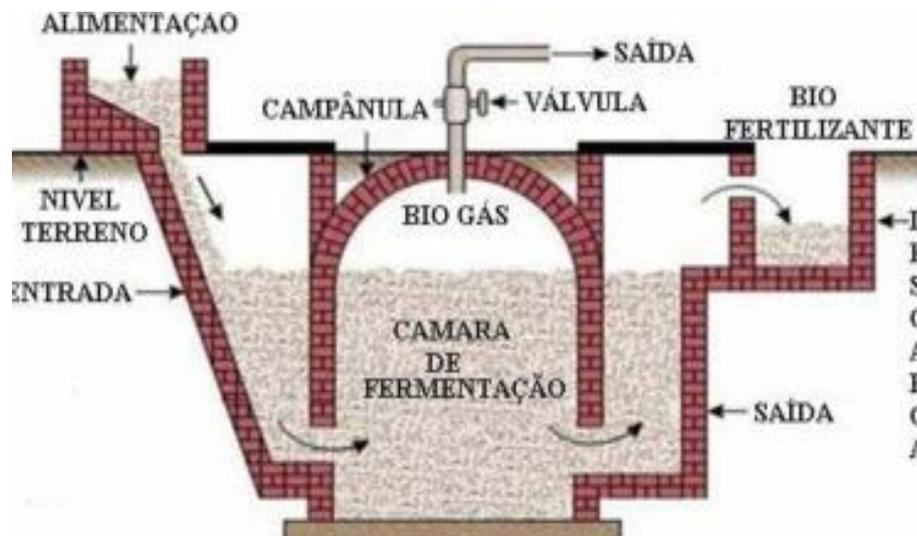
### 3.6.2 Modelo Chinês

O biodigestor modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Seu funcionamento é semelhante ao de uma prensa hidráulica, ou seja, o aumento de pressão no interior resulta no acúmulo de biogás que desloca os efluentes da câmara de fermentação para a caixa de saída, e o mesmo processo ocorre em sentido contrário quando ocorre a descompressão (DEGANUTTI et al., 2002).

Esse modelo não é indicado para instalações de grande porte, devido a uma parcela de o gás formado ser liberado para a atmosfera o que reduz parcialmente a pressão interna do gás. Ao fazer o comparativo do indiano e chinês, é possível identificar diversas semelhanças,

no entanto o indiano se sobressai devido sua maior eficiência quanto a produção de biogás e a redução de sólidos no substrato (DEGANUTTI et al., 2002).

Figura 3.5. Interior do biodigestor chinês.



Fonte: DEGANUTTI et al., 2002.

### 3.6.3 Modelo Caseiro

O biodigestor caseiro é feito de material descartado industrialmente, basicamente tambores de metal e plástico de alta durabilidade e baixo custo. Segundo ARRUDA et al. (2002) e SILVA (2012) o biogás produzido pelo biodigestor é obtido através da fermentação bacteriana anaeróbica, como esse processo biológico se obtém energia sem gasto de energia, portanto no final do processo o saldo é de 100 %. Pode-se usar para esse tipo fermentação, dejetos humanos, esterco bovino, suíno, equino, caprino, de aves, esgoto doméstico, sólidos orgânicos.

A produção do biogás, a partir da biomassa, começa a se processar por volta de 20 dias, aumentando até chegar ao máximo na terceira semana e diminuindo lentamente durante o período de fermentação, é viável programá-lo para um período de produção de 5 a 6 semanas (ARRUDA et al., 2002; SANTOS et al., 2017).

Figura 3.6. Modelo biodigestor caseiro.



Fonte: FAPEAM, 2015.

### 3.7 BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante é um adubo orgânico, um resíduo proveniente do biodigestor, ou seja, produzido após o processo anaeróbico paralelamente a produção de biogás. Apresentam um valor alto de nutrientes, sendo os mesmos podem conter teores médios de 1,5 a 2,0% de nitrogênio (N), de 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e de 0,5 a 1,0% de potássio (K) (NEVES, 2010; OLIVER, 2008).

O biofertilizante possui características específicas como pH (potencial de hidrogênio) em torno de 7,5. Funcionando como corretivo de acidez, liberando o fósforo e outros nutrientes para correção do solo. Além de contribuir com a:

- Qualidade e estrutura do solo;
- O solo fica mais resistente à erosão, graças ao melhoramento da agregação das partículas;
- A lavoura tem sua produtividade melhorada;
- Aumenta a penetração de ar pelos poros do solo facilitando assim a respiração das raízes;
- O mesmo ainda serve de controle de daninhas, não permitindo seu crescimento na lavoura;
- Diminui a proliferação dos coliformes fecais presente no esterco, haja vista que são eliminados na fermentação anaeróbica.

### 3.8 INOCULAÇÃO

A necessidade do inóculo está presente tanto na digestão anaeróbia quanto na partida de reatores. A instalação do ecossistema anaeróbio não ocorre logo após a colocação dos resíduos no reator, é preciso um tempo, em alguns casos, prolongado, para que ocorra o crescimento das populações dos microrganismos e levar o sistema em estado de equilíbrio (SOUTO, 2005).

Na digestão anaeróbia utilizando a matéria orgânica o uso do inóculo é um método que combinou o tratamento de diversos resíduos com características complementares resultando em uma melhor eficiência dependendo da matéria disponível. Os diferentes substratos compensam-se em relação as suas características físico-químicas, e ao combiná-los a produção do biogás aumenta, em função do volume de digestor ocupado (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014).

Frequentemente os inóculos usados são o lodo de digestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), percolado de aterro sanitário, lodo de esgoto digerido e estrume (MENDONÇA, 2003). A adição do inóculo aos resíduos sólidos orgânicos possibilita a aceleração do processo de digestão. A quantidade dependerá da atividade metanogênica do inóculo e da taxa de produção inicial do substrato (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014).

Segundo MENDONÇA (2003) o sistema de inoculação pode ser calculado de acordo com a equação abaixo:

$$FI = \frac{ST_i}{ST_i + ST_s} \quad (01)$$

Onde:

FI = fator de inóculo;

ST<sub>i</sub> = sólidos totais do inóculo;

ST<sub>s</sub> = sólidos totais do substrato.

A tabela 3.4 apresenta dados referentes a trabalhos no campo de digestão anaeróbia utilizando diferentes inóculos a partir de resíduos como frutas, verduras, alimentos em geral, a Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) e outros disponíveis na literatura de LUSTOSA e MEDEIROS (2014).

Tabela 3.4. Dados de alguns estudos sobre digestão anaeróbia de resíduos sólidos.

<b>Referência</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Inóculo</b>	<b>ST (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>TD (dias)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
Mtz. Viturtia et al. (1995)	Frutas e verduras	Esterco bovino e suíno	6	35	4,5-18	27-72 (STV)
Torres Castillo et al. (1995)	Cevada	Esterco bovino e suíno	26-30	25 e 35	110-240	45-86 (STV)
Xu et al (2002)	Alimentos	Lodo de digestor e de reator UASB	10	35	16	60 (STV)
Hartmann e Ahring (2005)	FORSU	Esterco Bovino	25	55	14-18	69-74 (STV)
Foster-Carneiro et al. (2006)	FORSU	Esterco bovino, esterco suíno e lodo de esgoto.	30	55	60	43 (STV)

Fonte: Adaptado de LUSTOSA e MEDEIROS, 2014.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A área de estudo é o Restaurante Popular (RP) do município de Santarém, localizado no Oeste do Pará (PA). Com uma produção média de 700 refeições diárias (somente almoço) o trabalho identificou a deficiência de tratamento de resíduos na cidade com grandes polos (praças de alimentação e restaurantes) de fabricação de resíduos sólidos sem o despejo adequado.

Para a realização da coleta de dados, realizou-se reuniões com a nutricionista responsável pelo RP para a pesagem, histórico e cardápio do local. O período de coleta foi de 45 dias, iniciando em 06 de setembro de 2017 a 13 de novembro de 2017, em dois horários, pela manhã, as 09h00 min com os restos do preparo das refeições como: cascas, sementes, gorduras e etc.; e a tarde, as 13h00min após o término do horário do almoço com os resíduos de cada cliente.

Devido ao processo de mistura dos alimentos durante o consumo e no seu descarte final, não foi possível determinar a fração de cada sólido que compunha a mistura, entretanto através do cardápio diário, como visto na tabela 4.1, foi possível identificar os alimentos que faziam parte da mistura.

Tabela 4.1. Cardápio semanal do Restaurante Popular (RP).

<b>Segunda feira</b>	<b>Terça feira</b>	<b>Quarta feira</b>	<b>Quinta feira</b>	<b>Sexta feira</b>
Frango Frito	Carne Moída	Peixe ou Carne Moída	Carne Guisada	Feijoada
Arroz, macarrão, feijão e farinha.	Arroz e farinha.			
Sobremesa: Fruta da estação.	Acompanhamento de laranja.			
Sucos diversos	Sucos diversos	Sucos diversos	Sucos diversos	Sucos diversos

Fonte: Adaptado de RP – Santarém, 2017.

As Figs. (4.1-3) e mostram a coleta de dados em dois momentos no restaurante popular:

Figura 4.1. Recipiente contendo a FORSUP da cozinha – 1.



Fonte: AUTORES,2017.

Figura 4.2. Recipiente contendo a FORSUP da cozinha – 2.



Fonte: AUTORES, 2017.

Figura 4.3. Recipiente contendo a FORSUP dos usuários.



Fonte: AUTORES, 2017.

Os Resíduos Sólidos Orgânicos Degradáveis gerados pelo Restaurante Popular (RSOD-RP) são gerados principalmente durante o processo de manipulação e produção dos alimentos, onde inicialmente é feita a seleção dos alimentos impróprios para consumo e por meio da manipulação é retirada as cascas e partes dos alimentos que são descartadas. Após o preparo, o alimento é encaminhado para consumo onde ocorre outra etapa na formação de RSOD-RP, que é representada pela matéria orgânica que é desperdiçada pelos usuários do restaurante popular.

A determinação do peso dos RSOD\_RP foi realizada ao longo do funcionamento diário de segunda a sexta em que foi servido almoço. O material antes de ser descartado foi pesado em sacos plásticos, com a ajuda de uma balança digital portátil com gancho. Toda a matéria orgânica encontrava-se misturada, ou seja, não houve separação dos resíduos descartados. Com base na pesquisa realizada em 45 dias foi determinado o valor da massa total média diária.

$$\text{RSODmédioRP} = \frac{\sum \text{RSOD\_RP}}{45} \quad (02)$$

## 4.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO BIODIGESTOR

A elaboração do dimensionamento teórico do biodigestor com base no valor do RSOD-RP e Peso total da mistura diária que alimentará o biodigestor é representado pela soma dos resíduos, do inoculante, do  $\text{NaCO}_3$  (tamponamento) e o teor de umidade da mistura (PINTO, 2000).

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999) apud BARCELOS (2009) a solução tampão foi adicionada para garantir que o pH do meio reação ficaria na faixa entre 6,5-7,6. Da mesma maneira a necessidade de adição de água ao meio da reação para que a umidade ficasse entre 75-85%

BARCELOS (2009) indica que o fator de inoculação utilizado foi de 0,2 e para essa determinação o projeto irá seguir LUSTOSA E MEDEIROS (2014) onde é possível apurar os seguintes parâmetros para o cálculo:

- Inoculante (esterco bovino):

Para o cálculo, utilizou-se a equação (1) sugerida por MENDONÇA (2003).

- $\text{NaCO}_3$ (carbonato de cálcio):

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999) apud BARCELOS (2009), a solução tampão  $\text{NaCO}_3$  foi adicionada para garantir que o pH do meio reação ficaria na faixa entre 6,5-7,6. Assim têm-se:

$$\text{Tamponamento} = 0,06 \times ST_i \quad (03)$$

onde: 0,06 kg/kg = fator que relaciona o tamponamento com o inoculante;

- $\text{H}_2\text{O}$  (água)

$$\text{H}_2\text{O} = 0,58 \left( \frac{\text{L}}{\text{Kg}} \right) \times ST_i \quad (04)$$

onde: 0,58 L/Kg é o fator que relaciona o percentual de  $\text{H}_2\text{O}$  com o teor de umidade encontrado na matéria orgânica e  $ST_i$  é a massa de inoculante (Kg).

O cálculo do peso total da mistura- diária (PTMD) é dado por:

$$\text{PTMD} = ST_s (\text{Kg}) + ST_i (\text{Kg}) + \text{NaCO}_3 (\text{Kg}) + \text{H}_2\text{O} (\text{L}) \quad (05)$$

## 4.2.1 Volume Total do Biodigestor

### 4.2.1.1 Volume adicionado diariamente

O volume ocupado pela mistura é determinado pela equação (06), utilizando a densidade de cálculo de 1g/ml. Devido ao valor superior da densidade da mistura é preciso compensar a diferença da densidade real com a adotada. Encontra-se uma margem de erro no volume adicional (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014).

$$V_D = \frac{PTMD}{\rho_a} \quad (06)$$

onde:

$V_D$  = Volume diário;

PTMD = Massa total da mistura diária (Kg)

$\rho_a$  = Densidade da água

### 4.2.1.2 Tempo de detenção hidráulica (TDH)

O tempo de detenção e a eficiência do biodigestor serão obtidos através da função do inoculante utilizado. Com análise da Tabela 4.2 pode-se observar o percentual de Sólidos Voláteis Totais (SVT) para os inoculantes, utilizando esterco bovino (EB), esterco suíno (ES), rúmen bovino e Fração orgânica de resíduos sólidos urbanos preparada (FORSUP) (BARCELOS, 2009).

Tabela 4.2. Tabela com valores comparativos de tempo de detenção hidráulica.

Referência	Inóculo	ST Inicial (%)	TD (dias)	Degradação de SVT (%)
Leite (1999)	Lodo de ETE Industrial	30	570	86
Hartmann e Ahring (2005)	Esterco Bovino	25	14-18	69-74
Leite et al (2005)	Lodo de Esgoto Sanitário	5	450	82,4

Fonte: Adaptado de BARCELOS (2009).

### 4.2.2 Volume dos Tanques

O cálculo de volume do biodigestor deve contemplar o volume ocupado pela mistura durante o tempo de detenção hidráulica, além do volume ocupado pelos gases produzidos ao longo da fermentação anaeróbica. Este volume pode ser calculado conforme a equação 7.

$$V_T = V_D \times TD \times F_{va} \quad (07)$$

Onde:

$V_T$  = Volume total do biodigestor (m<sup>3</sup>)

$V_D$  = Volume diário (m<sup>3</sup>)

$TD$  = Tempo de detenção (dias)

$F_{va}$  = Percentual para o volume adicional do tanque

O volume dos tanques 1 e 2 serão dimensionados para atender o período de 4 dias de alimentação e um volume adicional destinado aos gases produzidos. O volume de adicional sugerido se determinará em função do nível de produção de metano em cada câmara. (USTOSA E MEDEIROS, 2014).

O tanque 3 será o estágio onde ocorrerá a produção efetiva do gás metano com a temperatura mantida para a digestão das bactérias metanogênicas, termofílicas e TDH de 4 dias.

### 4.2.3 Volume Teórico de Metano

Para determinação da massa de metano, faz-se necessário o cálculo de sólidos totais voláteis. Segundo LUSTOSA e MEDEIROS (2014) apud PINTO (2000) o cálculo de STV é determinado pelo fator de inoculação vezes o valor de sólidos voláteis totais do esterco bovino determinado na tabela 4.3, vezes a quantidade de resíduos sólidos do RP.

Tabela 4.3. Parâmetro de características físico-químicas dos inóculos.

<b>Componentes</b>	<b>PH</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>	<b>Sólidos Totais – ST (%)</b>	<b>SVT (%)</b>
Esterco Bovino	7,2	80,0	20,0	84,5
Esterco Suíno	6,0	84,0	16,0	84,9
Rúmen Bovino	7,5	68,9	31,0	67,1
FORSUP	5,8	75,9	24,1	82,6

Fonte: LUSTOSA E MEDEIROS (2014) apud PINTO (2000).

$$STV = FI \times SVT \quad (08)$$

Onde:

STV: Sólidos totais voláteis (kg)

FI : Fator de inoculação;

SVT : Sólidos totais voláteis (%) (

De acordo com a equação estequiométrica abaixo pode-se obter a relação para determinar a massa de metano:

$$\text{MassaCH}_4 = \left( \frac{288}{293} \right) \times \text{STV} \quad (09)$$

Com o valor da massa específica do metano, será possível estimar o volume teórico do metano produzido.

### 4.3 UTILIZAÇÃO DO GÁS METANO

O metano produzido será utilizado diretamente como fonte energética para preparação dos alimentos na caldeira do Restaurante Popular. A relação de poder calorífico entre metano e o GLP (gás liquefeito de petróleo) é destacado na Tabela 4.4, que mostra um comparativo energético do biogás com outros combustíveis.

Tabela 4.4. Poder calorífico de alguns combustíveis

<b>Combustível</b>	<b>Kcal</b>
Madeira	4.500/kg
Diesel	8.500/kg
Gasolina	7700/litro
GLP (gás liquefeito de petróleo)	11.000/kg
Carvão Vegetal	7.620/kg
Querosene	8.800/litro
BPF (óleo combustível)	8.400/kg

Fonte: Adaptado de LUSTOSA e MEDEIROS, 2014.

A tabela a seguir mostra a relação do biogás com diferentes fontes energéticas, destacando o GLP, fonte da pesquisa:

Tabela 4.5. Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás

<b>Biogás (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Fonte energética</b>	<b>Equivalências</b>
1,63	Gasolina	1,00 (L)
1,80	Óleo diesel	1,00 (L)
2,20	GLP	1,00 (kg)
0,70	Energia	1,00 (kWh)

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2009.

## 4.4 VIABILIDADE ECONOMICA

### 4.4.1 Payback

Segundo MOURA et al. (2017) o Payback representa o tempo de retorno do investimento, em quantos dias, meses ou anos o valor investido vai ser pago e terá retorno positivo no fluxo de caixa.

### 4.4.2 Valor presente líquido (VPL)

O cálculo é realizado a partir da diferença entre os custos e remunerações relacionados a construção e instalação do biodigestor.

MOURA et al (2017) calcula o VPL, por meio da fórmula (10):

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{F_{cn}}{(1+i)^n} - I_0 \quad (10)$$

Onde:

$F_{cn}$ : Fluxo de caixa do projeto no período  $t$ ;

$i$ : Taxa de desconto;

$I_0$ : Investimento inicial.

### 3.9.3 Taxa interna de retorno (TIR)

O objetivo da TIR é a comparação com outros tipos de investimentos e verificar se o projeto é válido. Para calcular essa taxa é necessário o conhecimento dos fluxos de caixa do projeto. O cálculo é realizado por meio do software Excel, que possui uma equação direcionada para essa taxa.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

A primeira etapa consistiu em coletar os dados dos resíduos gerados na produção das refeições e na segunda etapa foram coletados os dados dos rejeitos após as refeições. A demanda de usuários do Restaurante Popular varia em torno de 600 à 700 refeições servidas em épocas de alta temporada. Já em períodos de férias, julho e dezembro, o número cai para 500 usuários.

Os contêineres foram identificados e suas massas foram aferidas em balança analógica enquanto ainda se encontravam vazios. Após o horário do almoço, as massas dos contêineres já contendo os resíduos foram novamente aferidas. A tabela 5.1 mostra as informações recolhidas nos 45 dias de coleta. Como cada contêiner recebe um tipo diferente de resíduo, oriundo das diferentes etapas de produção, foi necessário montar uma amostra composta considerando as diferentes proporções dos seguintes tipos de resíduos:

- Restos de alimentos crus como: cascas, folhas inapropriadas para consumo e alimentos deteriorados;
- Resto de alimento dos pratos, ou seja, aqueles que foram servidos nos pratos, mas não foram consumidos.

A tabela abaixo mostra os dados coletados nas duas etapas. Resíduos da cozinha e os resíduos do restaurante.

Tabela 5.1. Dados da pesagem de 45 dias do RP.

Dias de Coleta	Resíduos Cozinha	Resíduos Restaurante	Soma dos resíduos
06/09/2017	8,35	30,14	38,49
11/09/2017	5,58	24,67	30,25
12/09/2017	5,35	21,67	27,02
13/09/2017	6,55	19,25	25,8
14/09/2017	6,11	22,3	28,41
15/09/2017	7,38	27,5	34,88
18/09/2017	5,12	25,23	30,35
19/09/2017	5,8	22,44	28,24
20/09/2017	7,85	23,48	31,33
21/09/2017	5,77	23,5	29,27
22/09/2017	7,9	28,6	36,5
25/09/2017	5,34	28,23	33,57
26/09/2017	6,18	20,89	27,07
27/09/2017	9,00	27,78	36,6
28/09/2017	5,85	26,67	32,52
29/09/2017	7,59	27,58	35,17

30/09/2017	5,21	25,25	30,46
01/10/2017	4,00	18,89	23,37
02/10/2017	8,65	29	37,65
03/10/2017	5,98	25,74	31,72
04/10/2017	7,12	26,33	33,45
05/10/2017	6,12	29,13	35,25
06/10/2017	4,86	19,64	24,5
07/10/2017	9,85	23,86	33,71
08/10/2017	7,55	26,78	34,33
09/10/2017	6,78	30,13	36,91
17/10/2017	5,56	25,35	30,91
18/10/2017	8,79	26,35	35,14
19/10/2017	5,1	21,51	26,61
20/10/2017	7,36	23,49	30,85
23/10/2017	6,23	26,34	32,57
24/10/2017	6,78	17,23	24,01
25/10/2017	7,42	26,14	33,56
26/10/2017	4,48	21,35	25,83
27/10/2017	8,26	28,56	36,82
30/10/2017	5,58	33,13	38,71
31/10/2017	6,21	25,34	31,55
01/11/2017	7,1	20,84	27,94
03/11/2017	6,97	27,1	34,07
06/11/2017	5,17	26,13	31,3
07/11/2017	6,34	22,05	28,39
08/11/2017	7,58	24,17	31,75
09/11/2017	6,21	23,96	30,17
10/11/2017	8,94	28,45	37,39
13/11/2017	7,36	26,89	34,25
TOTAL	299,58	1129,06	1428,64

Fonte: Autores, 2017.

Onde:

RSOD-RP= Resíduos Sólidos Orgânicos Degradáveis gerados pelo RP. O cálculo é realizado através da equação (02):

$$\text{Massa total média diária de RSDO-RP} = 31,747 \text{ Kg}$$

Considerando os dados propostos o biodigestor deve ser dimensionado para tratar uma quantidade de resíduo correspondente a 1428,64 kg/45 dias, o que corresponde a 31,747 kg/dia considerando que os resíduos são gerados de segunda a sexta. O RSO-RP representa o valor médio de RSOD, que será utilizado para dimensionar o biodigestor para compensar a variação semanal haja vista que aos sábados e domingos não há expedientes.

## 5.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO

A segunda etapa constitui no dimensionamento teórico do biodigestor com base no valor de RSOD-RP. O peso total da mistura diária que alimentará o biodigestor (PTMD) é representado pela soma da média do RSOD-RP, do inoculante, do NaCO<sub>3</sub> (tamponamento) e o teor de umidade da mistura que segundo BARCELOS (2009) e LUSTOSA (2014) utilizaram-se os seguintes parâmetros de cálculo.

- Inoculante (Si) - FI (Fator de inoculação) = 0,2
- Tamponamento - NaCO<sub>3</sub> = 0,06 kg/kg de inoculante
- Teor de Umidade (T.U) = 0,58 L/kg de inoculante

Para o cálculo, utilizou-se a seguinte equação (01):

$$ST_i = 7,93675 \text{ Kg}$$

A quantidade de NaCO<sub>3</sub> é calculada por meio da equação (03):

$$\text{Tamponamento} = 0,476205 \text{ Kg}$$

- H<sub>2</sub>O (água). Fator que relaciona o percentual de H<sub>2</sub>O com o teor de umidade encontrado na matéria orgânica, equação (04):

$$\text{H}_2\text{O} = 4,603315 \text{ Kg}$$

O cálculo do peso total da mistura- diária (PTMD) é dado pela equação (05):

$$\text{PTMD} = 44,76327 \text{ kg}$$

### 5.2.1 Volume total do biodigestor

Para determinação do volume ocupado pela mistura considerou a densidade de cálculo no valor de 1000 Kg/L. Sendo a densidade da mistura ser superior ao valor considerado, o valor obtido será superior ao real, sendo esse volume adicional margem da demanda do biodigestor.

De acordo com a equação (06) calculamos o volume adicionado diariamente:

$$V_D = 0,04476 \approx 0,05 \text{ m}^3$$

### 5.2.2 Tempo de Detenção Hidráulica – TDH

Tempo de detenção hidráulica ou período de detenção hidráulica é o tempo que o material permanece no interior do biodigestor, ou seja, tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor.

De acordo com a tabela 4.2, o tempo de detenção hidráulica pode ser calculado de acordo com o inoculante utilizado, no caso do EB, por exemplo, o TDH pode passar de duas semanas, juntamente com a eficiência do biodigestor (BARCELOS, 2009).

$$\text{TDH (inoculante - EB)} = 14 - 18 \text{ DIAS}$$

$$\text{Eficiência do biodigestor} = 69\% \text{ a } 74\%$$

### 5.2.3 Volume dos Tanques

O volume dos tanques 1 e 2 serão dimensionados para atender o período de 4 dias de tempo de detenção e um volume adicional destinado a ocupação dos gases produzidos. Assim, calcula-se o volume dos tanques 1 e 2 através da equação (7):

$$\text{VolTanque}(1 \text{ e } 2) = 0,05(\text{m}^3) \times 4(\text{dias}) \times 1,2(\text{Vol.gases})$$

$$\text{VolTanque}(1 \text{ e } 2) = 0,24 \approx 0,3 \text{ m}^3$$

O cálculo de volume do tanque 3 será realizado utilizando o TDH de 4 dias, com a temperatura do meio constante para digestão na última etapa de digestão anaeróbia com as bactérias metanogênicas termofílicas, fase onde o gás metano é produzido.

$$\text{VolTanque}(3) = 0,05(\text{m}^3) \times 4(\text{dias}) \times 1,3(\text{Vol.gases})$$

$$\text{VolTanque}(3) = 0,26 \approx 0,3 \text{ m}^3$$

## 5.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS ATRAVÉS DO BIODIGESTOR PROPOSTO

Primeiramente ocorrerá a coleta dos RSOD-RP, em seguida a matéria será mantida no depósito de RSOD por um período de 4 (quatro) dias para permitir que a matéria tenha o mesmo período de degradação no estágio 1. Os resíduos sólidos acumulados por quatro dias no depósito de RSOD-RP terão suas dimensões reduzidas no triturador mecânico, após a redução das partículas o material será misturado com água e inoculante para estabelecer o teor de umidade e o fator de inoculante respectivamente na fração calculada.

Após a mistura o material será transportado para a bombona onde ocorrerá o primeiro estágio de degradação da matéria orgânica no processo de hidrólise, com a quebra em moléculas menores realizada pelas bactérias mesofílicas na proporção calculada. Nesse estágio a matéria orgânica permanecerá no tanque durante o período de quatro dias, em seguida o material será transportado para o segundo estágio onde ocorrerá a degradação das moléculas em ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio que serão utilizados no terceiro estágio onde ocorrerá a produção de biogás (CH<sub>4</sub>) pelas bactérias metanogênicas termofílicas.

O percolado produzido na terceira etapa entrará no sistema como inoculante, melhorando a eficiência na produção de gás metano sendo utilizado como tamponamento da solução.

Figura 5.1. Fluxograma do processo do biodigestor proposto.



Fonte: AUTORES, 2017.

### 5.3.1 ESPECIFICAÇÃO DO BIODIGESTOR PROPOSTO

O biodigestor proposto será composto por um triturador mecânico e três bombonas de polietileno de 300 litros, interligadas de alimentação contínua.

O biodigestor atenderá as seguintes características:

- Elevada resistência química;
- Impermeável

- Resistências a altas temperaturas;
- Boa resistência a impactos;
- Baixa absorção de umidade e estabilidade térmica.

#### 5.4 PRODUÇÃO TEÓRICA DO GÁS METANO

De acordo com a equação estequiométrica definida por BARCELOS (2009) pode-se obter a relação para determinação da massa de metano.

A partir da equação (08) utilizando o fator de inoculação 0,2 e o STV do EB de 84,5%, e massa diária dos RSDOS-RP de 31,47 Kg, encontramos o valor de SVT de 5,36 Kg (LUSTOSA e MEDEIROS, 2014 apud PINTO, 2000).

$$STV = (0,2 * 0,845 * 31,47) = 5,36 \text{ Kg}$$

Para determinar a massa de metano, utilizou-se a equação (11):

$$\text{MassaCH}_4 = 1,656 \text{ Kg}$$

Com o valor da massa específica do metano ( $0,717 \text{ kg/m}^3$ ), será possível estimar o volume teórico do metano produzido através da equação (12). Assim:

$$\text{VolCH}_4 = 2,31 \text{ m}^3$$

BARCELOS (2009) mostra a relação do gás metano obtido experimentalmente, valor de  $0,11 \text{ m}^3$ , com o calculado teoricamente,  $0,068 \text{ m}^3$ . Como esperamos realizar o controle dos fatores que influenciam a produção de biogás, ao fazer o comparativo com o trabalho citado encontramos o volume de gás produzido experimentalmente no valor de  $3,737 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$  superior ao volume encontrado teoricamente de  $2,31 \text{ m}^3$ .

O gás metano produzido será utilizado diretamente como fonte energética para a utilização na preparação dos alimentos nos fogões do restaurante popular.

#### 5.5 CONSUMO DE GLP PELO RESTAURANTE POPULAR

Portanto a produção de gás metano no biodigestor será  $2,31 \text{ m}^3$  disponível para a produção de alimento no Restaurante Popular do município de Santarém. Dados fornecidos

pela Administração do RP mostram que o consumo de gás de cozinha utilizado para aquecimento das caldeiras é de 135 Kg de GLP a cada cinco dias.

O biodigestor terá capacidade de produção equivalente a 11,55 m<sup>3</sup> de metano em um período de cinco dias – o que corresponde a uma semana de funcionamento do RP. Ao considerar o uso de três botijas P45kg com o valor médio de R\$ 309,00 reais cada. A produção do biogás será responsável pela diminuição dos gastos com GLP com retorno financeiro de R\$ 227,13 no período de 20 dias.

## 5.6. VIABILIDADE ECONÔMICA

Após os cálculos foi realizado a análise de investimento inicial na construção do biodigestor proposto, como pode ser observado na tabela 5.3.

Tabela 5.2 – Gastos com o biodigestor.

<b>ORÇAMENTO PREVISTO PARA A CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO (R\$)</b>
BOMBONAS DE 300 L	3	1170
TORNEIRAS	3	50
MANGUEIRAS DE PVC FLEXIVEL 100 mm	2 metros	125
Tubo PVC 1”	3 metros	18,64
Tubo PVC 75 mm	2 metros	25,90
Adaptador com anel 20 mm ½”	6	10,00
Adaptador curto 75 mm ½”	5	50,00
T DE 1 ”	4	23,6
Joelho 90° 20 mm 1 ”	6	42,3
Joelho 90° 75 mm	4	29,96
Resina epóxi com endurecedor	1	12,5
Espigão fixo NPT ½ ”	2	45,00
Espuma de poliuretano 2 m	1	30,00
Niple ½ ”rosca PVC	2	45,00
Medidor de vazão	2	120,00
Cola soldante PVC rígido	1	3,25
Manômetro	2	70
Triturador	1	300

Instalação		300
Mão de obra		300
<b>TOTAL</b>		<b>2771,15</b>

Fonte: Autor (2018).

Como observado na tabela acima, os gastos iniciais com o biodigestor ficaram na faixa de R\$ 2771,15. Na tabela 5.3 é mostrado a economia gerada pela utilização do biodigestor no restaurante popular no período de 2 anos.

Tabela 5.3 – Economia gerada com a utilização do biodigestor

<b>Período (Mês)</b>	<b>Quantidade P45</b>	<b>Remuneração Biogás</b>	<b>Fluxo de caixa</b>
0	0	R\$ 0,00	-R\$ 2.771,15
1	12	R\$ 227,00	-R\$ 2.544,15
2	12	R\$ 227,00	-R\$ 2.317,15
3	12	R\$ 227,00	-R\$ 2.090,15
4	12	R\$ 227,00	-R\$ 1.863,15
5	12	R\$ 227,00	-R\$ 1.636,15
6	12	R\$ 227,00	-R\$ 1.409,15
7	12	R\$ 227,00	-R\$ 1.182,15
8	12	R\$ 227,00	-R\$ 955,15
9	12	R\$ 227,00	-R\$ 728,15
10	12	R\$ 227,00	-R\$ 501,15
11	12	R\$ 227,00	-R\$ 274,15
12	12	R\$ 227,00	-R\$ 47,15
13	12	R\$ 227,00	R\$ 179,85
14	12	R\$ 227,00	R\$ 406,85
15	12	R\$ 227,00	R\$ 633,85
16	12	R\$ 227,00	R\$ 860,85
17	12	R\$ 227,00	R\$ 1.087,85
18	12	R\$ 227,00	R\$ 1.314,85
19	12	R\$ 227,00	R\$ 1.541,85

20	12	R\$ 227,00	R\$ 1.768,85
21	12	R\$ 227,00	R\$ 1.995,85
22	12	R\$ 227,00	R\$ 2.222,85
23	12	R\$ 227,00	R\$ 2.449,85
24	12	R\$ 227,00	R\$ 2.676,85

Fonte: Autores, 2018.

### 5.6.1 Payback

Por meio da tabela 5.4 é possível verificar o Payback de 13 meses para suprir os gastos com a construção do biodigestor. Para ter um retorno positivo no fluxo de caixa, percebe-se facilmente, a partir da Tabela 5.4 que o tempo de retorno de investimento foi de um pouco mais de um ano. Com a ajuda do *software* Excel foi possível obter o tempo exato do *Payback*, simples 1 ano e 1 mês e *Payback* descontado de 1 ano e 4 meses.

### 5.6.2 Valor presente líquido (VPL)

Para o cálculo utilizamos a equação (10) e o valor da taxa de desconto buscamos no mercado a taxa com melhor atratividade com o valor de 3,40 % ao mês (BANCO CENTRAL DO BRASIL, acesso em 18/04/2018).

O investimento inicial considerado foi o gasto realizado para a construção do biodigestor, com valor de R\$ 2771,15. O resultado do VPL para esse investimento, aproximadamente de R\$ 1.901,74 em um período de 36 meses. MOURA et al (2017) explica que ao encontrar um valor positivo para o VPL, significa que o investimento é atrativo.

### 5.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Foi possível calcular a TIR no EXCEL, a partir da função homônima do software. O valor calculado para esse projeto foi de 82% ao ano. Em comparação com a taxa de retorno do mercado (Banco central do Brasil) de 49% ao ano, percebeu-se que este projeto é bastante atrativo, visto que a taxa de retorno é maior que TMA anual do Mercado.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Ao comparar os resultados calculados teoricamente para a produção de biogás, no valor de 2,31m<sup>3</sup> gás utilizando resíduos sólidos orgânicos gerados pelo Restaurante Popular de Santarém com o consumo semanal (dias uteis) de três botijas de tamanho P45 – possui 45 Kg para a produção das refeições nos fogões do RP, foi possível a verificação da economia juntamente com a parcela ambiental do projeto com uma destinação correta do lixo ao reaproveitar a matéria orgânica que seria descartada.

Concluimos que mesmo não atendendo totalmente a demanda semanal de consumo energético das botijas de GLP, por meio da produção de biogás dos RSOD-RP calculamos que poderá reduzir em 6% o consumo dos cilindros p45 utilizados como fonte de energia térmica dos fogões.

Diante desses resultados, o objetivo do projeto foi satisfeito, pois a economia mostrou-se favorável, diminuindo gastos com os cilindros já utilizados e no tópico de sustentabilidade o projeto como um todo pode comprovar a reutilização da matéria orgânica que teria um descarte inadequado, aumentando a produção de metano e sendo ambientalmente prejudicial, tornando-se uma fonte para a obtenção de energia alternativa com uma finalidade adequada.

Além de melhorias proporcionais ao meio ambiente, efetuou-se a análise econômico-financeira em relação ao investimento proposto. Constatou-se que a implantação do biodigestor no RP alcançou um valor total de R\$ 2771,15.

De acordo com a análise de viabilidade a partir dos custos de implantação e payback apresentados na pesquisa, o biodigestor se apresentou como uma alternativa viável para a implantação em restaurante popular, visto que o custo com gás de cozinha é alto, inicialmente o biodigestor não irá substituir as botijas de p45, o biogás será agregado diariamente ao uso das botijas. A economia inicial será de R\$ 227,13 em 20 dias de operação. Analisando o tempo de retorno para recuperar o investimento inicial encontra-se *Payback simples* de 13 meses *Payback* descontado de 16 meses. A TIR é alta, tornando o projeto atrativo é viável.

Desta forma conclui-se que, mesmo que o investimento para a construção, implantação do biodigestor apresente um valor alto, este projeto é um investimento bastante atrativo.

## **6.2 RECOMENDAÇÕES**

Construção de um biodigestor caseiro para validação dos resultados teóricos.

Recomenda-se calcular a geração e emprego do biofertilizante obtido por meio dessa técnica e suas atribuições tanto economicamente quanto ambientalmente.

Analisar e acompanhar o mercado internacional de créditos de carbono provenientes de projetos que visem essas atividades de geração de energia a partir de rejeitos orgânicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos – classificação NBR – 10.004-2004**.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**.10.006-2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos**. 10.007-2004.

ALBERTONI, T. A. (2013). **Caracterização física dos resíduos sólidos gerados em restaurante universitário**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de engenharia Ambiental). Universidade tecnológica federal do Paraná- Campos Londrina.

ALVES, S. DE M; MELO, C. F. M. DE; WISNIEWSKI, A. **Biogás; uma alternativa de energia no meio rural**. EMBRAPA. Belém – Pará, 1980.

ARRUDA, M. H; AMARAL, L. DE P; PIRES, O. P. J; BARUFI, C. R. V. **Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia alternativa**. Revista científica de agronomia da Faculdade de Agronomia e engenharia florestal, Garça, ano 1. nº 2, dez. 2002.

BARCELOS, B.R. **Avaliação da partida da digestão anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos inoculados com diferentes resíduos agropecuários**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 90 p. 2009.

BONTURI, G. de L.; VAN DIJK, M. **Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais**. Revista Ciências do Ambiente On-Line, v.8, n.2, p.88-95, 2012.

BRASIL (2010) **Diretrizes Nacionais para Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007)**. Brasília: Diário Oficial da União, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2007-2010/2007/lei/11445.htm> (Acessado em: 06/03/2018).

BRASIL (2016). Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos> (Acessado em: 06/03/2018).

BRUMMELER, E.T. (1993) **“Dry Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste”**. 193 p. Tese de Doutorado – Wageningen Agricultura University; Wageningen, the Netherlands.

COLDEBELLA, A; SOUZA, S. N. M. DE; SOUZA, J. DE; KOHELER, A. C.(2006) **Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás da Bovinocultura de Leite**. Cascavel - Paraná.

COMASTRI FILHO, J.A, (1981). **Biogás: independência energética do Pantanal Mato-Grossense**. EMBRAPA, Corumbá – MS, Circular técnica número, 9. Outubro, 1981.

COSTA, F. X; LUCENA, A. M. A. DE; TRESENA, N. DE L; GUIMARAES, F. S; GUIMARAES, M. M. B; SILVA, M. M. P. DA; GUERRA, H. O. C.(2004). **Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do Campus I da Universidade Estadual da Paraíba**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, volume 4 – número 2.

DEGANUTTI, R; PALHACI, M. DO C. J. P; ROSSI, M; TAVARES, R; SANTOS, C. DOS. (2002) **Biodigestores Rurais: Modelos Indiano, Chinês e Batelada**. In: **40 encontro de energia meio rural**. São Paulo, 2002. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP. São Paulo, 2002.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido. **Biogás: Uma Alternativa de Energia no Meio Rural**. Belém – Pará, 1980.

FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas. **Biogás substitui botija de gás de cozinha em comunidades do interior do Amazonas.** Amazonas, 2015. Disponível em: [www.fapeam.am.gov.br/biogas-substitui-botija-de-gas-de-cozinha-em-comunidades-do-interior-do-amazonas/](http://www.fapeam.am.gov.br/biogas-substitui-botija-de-gas-de-cozinha-em-comunidades-do-interior-do-amazonas/) (Acessado em: 06/03/2018).

FAUSTINO, Jucele de Jesus (2013). **Lixo Orgânico em Santarém, PA – Problemática e Oportunidades.** Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, 2013.

FNR. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização.** Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha, 2010.

FONSECA, F. S. T; ARAÚJO, A. R. A. DE; HENDGES, T. L. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas - MA: um estudo de caso.** In: congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Porto Alegre, Julho, 2009. Universidade Estadual do Maranhão. Maranhão, 2009.

FORESTI, E; FLORÊNCIO, L; HAANDEL, A. V; ZAIAT, M; CAVALCANTI, P. F. F. **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio.** Capítulo, 2. In: CAMPOS, J. R. (coordenador). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. PROSAB, Rio de Janeiro, 436 p. 1999.

GONÇALVES, H. F. E; LIMA, R. S., WEISS, V. A. B; MENEZES, V. S. (2009) **O Biodigestor como princípio de sustentabilidade de uma propriedade rural.**

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

LUSTOSA, G. N; MEDEIROS, I. H. B. DE. **Proposta de um Biodigestor Anaeróbio Modificado para Produção de Biogás e Biofertilizante a Partir de Resíduos Sólidos Orgânicos.** Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília – DF, dezembro de 2014.

MELO, R. A; JUNIOR, A. DE P. S. A; UCHÔA, M. B. DE C; BARBOSA, F. R; MELO, N. X. **Análise da Viabilidade Técnica de Geração de Energia Elétrica por Biogás**

**Proveniente de Resíduos Orgânicos.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza – Ceará, 15 a 18 de setembro de 2015.

MENDONÇA, Jucélia Cabral. **Influência da Tinta de Impressão na Digestão Anaeróbia do Papel Jornal.** Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE A FOME. **Manual Programa Restaurante Popular.** Brasília, 2004. Disponível em: [http://www.ieham.org/html/docs/Manual\\_Programa\\_Restaurantes\\_Populares.pdf](http://www.ieham.org/html/docs/Manual_Programa_Restaurantes_Populares.pdf). (Acessado em 06/03/2018).

MOURA, R. S.; CARPIO, R. C.; MACEDO, C. F. DE C.; PINHEIRO, D. S.; FIGUEIREDO, L. S.; JUNIOR, L. C. F. **Análise da Viabilidade do Uso de Biodigestores em Propriedades Rurais.** Artigo. Revista: For Science. IFMG, Formiga, v.5, n.3, e00282, jul./dez. 2017.

NASCIMENTO, V. F; S, A.(2015). **Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.**Rev. Ambient. Água vol. 10 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2015.

NEVES, V.L.T.(2010) **Construção de biodigestor para produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino.** Tese (Graduação em Tecnologia em B combustíveis) – Faculdade de Tecnologia.

OLIVEIRA, Rafael Deléo. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

OLIVER, P. M; NETO, A .A S; QUADRO, D G; V, R,E. (2008) **Cartilha de Práticas Agroecológicas -Manual de Treinamento em Biodigestão**–Instituto Winrock, Fevereiro, 2008. p. 08-31

PAULA, A. DE; HAIDUKE, I; SANTOS, K. C. DOS; FORTE, L. A; RIPKA, C. A. **Sustentabilidade Ambiental – Uso do Biogás Gerado no Tratamento de Dejetos Animais em Atividade de Suinocultura.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza – Ceará, outubro de 2015.

PEDRO, M.M.R.; CLARO, J.A.C.S.(2010) **Gestão de Perdas em Unidade de Restaurante Popular: Um Estudo de Caso em São Vicente**. São Paulo, Qualitas Revista Eletrônica, v.9, n.1, p.1-10, 2010.

PINTO, D. M. C. L. **Avaliação da partida da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos inoculados com percolado**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 175 p. 2000.

PROBIOGÁS, Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. **Catálogo de Tecnologias e Empresas de Biogás**. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2015.

PROSAB. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; **Rede Cooperativa de Pesquisas/ Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás**. Coordenador: Cassini, S. T., 2003.

REIS, Alexsandro dos Santos. **Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestor Anaeróbio**. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012.

RESTAURANTES POPULARES. Roteiros de implantação, 2007. Disponível em: [http://www.ufjf.br/renato\\_nunes/files/2011/04/Roteiro-de-Implantacao.pdf](http://www.ufjf.br/renato_nunes/files/2011/04/Roteiro-de-Implantacao.pdf) (Acessado em: 06/03/2018).

ROCHA, Camila Marçal Da. **Proposta de Implantação de um Biodigestor Anaeróbio de Resíduos Alimentares**. Juiz de Fora, 2016.

RODRIGUES, Ana Alice Lopes de Sousa. **Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. Universidade de Aveiro. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Portugal, 2005.

SANTOS J. S. et al. **Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar – PUVET**, 2017.

SILVA, L. V.(2012). **Biodigestor: fonte alternativa de gás “limpo” e adubo orgânico que contribuem para redução do efeito estufa**. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012 IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais

SOARES, E.S F.(2011) **Estudo Da Caracterização Gravimétrica E Poder Calorífico Dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (mestrado em ciências em engenharia civil.)

Universidade federal do rio de janeiro

SOTTI, Gustavo de. **Biogás de Digestão Anaeróbia dos Resíduos Orgânicos de Restaurante Universitário com Efluente Sanitário**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito. **Efeito da Variação Gradual da Taxa de Recirculação do Lixiviado em Reatores Anaeróbios Híbridos na Digestão da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

VITORATTO, Elso. **Tratamento de Efluentes Líquidos Orgânicos – Sistemas Anaeróbio**. Faculdade Oswaldo Cruz. 2004.