

# MODELAGEM ANALÍTICA, CONSTRUÇÃO E MANUSEIO DE UM BIODIGESTOR DE BAIXO CUSTO PARA USO RESIDENCIAL

Amanda Souza Fernandes <sup>1</sup>; João de Sá Brasil Lima <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *Com o aumento da preocupação em diminuir impactos ambientais e diversificar a matriz energética, estudos sobre fontes de energia renováveis se tornam cada vez mais comuns. Entre elas está o biogás, um subproduto oriundo do processo de decomposição anaeróbica da biomassa, que devido ao alto poder calorífico é utilizado como biocombustível em alternativa aos combustíveis fósseis na geração de energia. Dessa forma, o presente trabalho visa produzir o biogás para uso residencial, como por exemplo: acender a boca de um fogão. Para isso, objetiva-se dimensionar e construir um protótipo, além de verificar a viabilidade econômica do projeto e fazer uma validação posterior.*

## Introdução

Desde o período da Revolução Industrial (1769 – 1840) o uso da energia tornou-se essencial para o desenvolvimento humano. Porém, muitos dos recursos energéticos utilizados até os dias atuais, como derivados de petróleo (gasolina, diesel, GLP), gás natural e carvão mineral, geram preocupações por serem fontes não renováveis de energia. Além de poderem ficar escassos devido a crescente demanda, eles geram poluição e degradação ambiental, fazendo-se necessário o estudo e investimento em fontes alternativas de energia para um desenvolvimento mais sustentável. A partir de então, fontes renováveis e limpas passaram a ser implementadas, sendo as mais comuns: energia solar, eólica, hídrica e de biomassa. Da utilização da última, deriva um importante produto que é o foco desse trabalho: o biogás.

Uma das formas de produzir esse combustível oriundo da biomassa, ou biocombustível, é através do biodigestor, um equipamento que por meio da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos gera o biogás e o biofertilizante. Nesse processo, a biomassa é responsável por produzir energia, ou seja, qualquer resíduo orgânico, seja ele de origem animal ou vegetal, como por exemplo: excrementos, esgoto, lixo residencial e resíduos agrícolas, é utilizado como matéria-prima. Essas substâncias, ao serem depositadas em um reator com condições favoráveis a fermentação, sofrem uma reação química que produz um gás combustível capaz de ser transformado em energia elétrica, térmica e mecânica.

O biogás, objeto de estudo do presente trabalho, é composto majoritariamente de metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Entretanto, gases como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) podem estar presentes na mistura, e em grandes quantidades impossibilitam a combustão e conseqüentemente geração de energia. Nesse caso, basta que o biogás passe por um processo de purificação, onde os gases não combustíveis são removidos, aumentando o poder calorífico da mistura. Já o biofertilizante é um subproduto proveniente do substrato que alimenta o biodigestor. Esse uma vez que é processado pode ser utilizado como adubo, desde que atenda os requisitos exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Mediante ao contexto apresentado, esse projeto tem por objetivo dimensionar e construir um protótipo funcional de pequeno porte e baixo custo com a função de acender a boca de um fogão e, conseqüentemente, popularizar a tecnologia de biodigestão, visto que os modelos comerciais passíveis de serem implementados em residências custam cerca de dois salários mínimos (R\$ 2000,00). Inicialmente, foi desenvolvido um modelo analítico capaz de, com base na carga diária de resíduos orgânicos, estimar a produção de biogás para um determinado volume útil do reator e tempo de retenção. Com a intenção de validar o modelo desenvolvido

serão realizados testes, posteriormente, para levantar a curva de vazão mássica efetiva de gás, que ao ser integrada ao longo do tempo fornecerá a quantidade de biogás produzido.

## Material e Métodos

Este projeto foi realizado a partir do método de pesquisa descritiva, onde foram consultados materiais previamente publicados a fim de coletar dados para dimensionar o biodigestor e prever a quantidade de gases gerados pela decomposição dos resíduos inseridos, além de verificar a economia gerada pelo uso desse equipamento. O desenvolvimento do trabalho foi realizado em seis etapas que abrangem o estudo das seguintes áreas: determinação da carga diária, caracterização do substrato, previsão da geração de biogás, dimensionamento, construção e viabilidade econômica.

### Carga diária

A produção média de resíduos orgânicos por dia em uma residência pode ser calculada a partir da Equação 1.

$$P_d = P_o \cdot N \quad (1)$$

Onde:

$P_d$  – produção diária de resíduos orgânicos [ $kg \cdot dia^{-1}$ ]

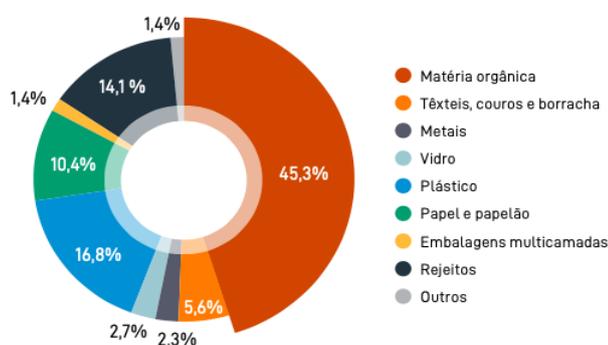
$P_o$  – produção unitária de resíduos orgânicos [ $kg \cdot dia^{-1} \cdot pessoa^{-1}$ ]

$N$  – número médio de pessoas por residência [*pessoas*]

Inicialmente, com o objetivo de dimensionar um dispositivo que atende a necessidade da maior parte das residências brasileiras de maneira otimizada, foram feitas pesquisas relacionadas a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e ao número médio de moradores por domicílio no Brasil.

Segundo o Panorama de 2020 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) a produção de resíduos sólidos no país representa 79,6 milhões de toneladas ao ano. Destes resíduos tem-se que a fração orgânica corresponde a 45,3% do RSU na composição média nacional, como observado na Figura 1. Isso mostra que aproximadamente cento e setenta quilogramas (170 kg) de resíduos orgânicos são descartados por pessoa durante o período de um ano, ou seja, a produção unitária de resíduos ( $P_o$ ) equivale cerca de quatrocentos e setenta gramas (470 g) por dia.

Figura 1 – Gravimetria do RSU no Brasil.



Fonte: Panorama ABRELPE, 2020.

Em complemento, para determinar a carga diária a ser inserida no biodigestor, foram levantados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) voltadas a verificar

a média nacional de habitantes por residência ( $N$ ). De acordo como os dados mais recentes encontrados, do ano de 2019, da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio (PNAD) esse número equivale a 2,9 pessoas, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Número médio de moradores por domicílio.

Variável - Número médio de moradores (Pessoas)
Brasil
Ano - 2019
2,9

Fonte: IBGE – Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio Contínua Anual – 1ª visita.

### Caracterização físico-química do substrato

Esta etapa consiste em fazer um levantamento da composição química do substrato, uma vez que os lixos residenciais possuem características heterogêneas devido a variedade de resíduos descartados. Nesse estudo as quantidades dos elementos químicos, como: carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O) e enxofre (S), são determinados em massa percentual.

A composição elementar dos resíduos orgânicos foi obtida através da consulta ao artigo de Garcia et. al. (2017), onde os teores de C, H, N e O ( $\%_{elem}$ ) foram determinados por meio da oxirredução de duas amostras de restos de alimentos coletadas em parceria com o município de Bertiooga, esses teores correspondem a 46,00%, 6,70%, 1,80% e 27,78%, respectivamente. Para essa análise utilizou-se o equipamento Vario EL Cube, que verifica a composição de materiais orgânicos. Assim, o número de mol de cada elemento do substrato é calculado pela Equação 2.

$$n_{elem} = \frac{P_d \cdot \%_{elem}}{100 \cdot M_{elem}} \quad (2)$$

Onde:

$n_{elem}$  – número de mols do elemento [ $mol$ ]

$\%_{elem}$  – fração do elemento no substrato [ $\%_{massa}$ ]

$M_{elem}$  – massa molar elemento químico [ $g \cdot mol^{-1}$ ]

Com a fórmula molecular mínima do substrato definida torna-se possível equacionar a reação química simplificada da decomposição anaeróbica e, por meio da conservação de massa, fazer o balanceamento das substâncias envolvidas. Essa análise consiste em um sistema de equações, que relaciona os produtos com reagentes, e, assim, permite prever a geração de biogás.

Entretanto, nem todo o resíduo inserido no reator é convertido em gás. O substrato é dividido em umidade e sólidos totais (ST). O último por sua vez é formado por dois grupos: os sólidos fixos (SF) que representam os minerais presentes nos alimentos e os sólidos voláteis (SV), a parcela realmente biodegradável. Então, foi feito uso dos dados obtidos no trabalho de Gartner (2018), que classificou os aspectos físico-químicos dos resíduos sólidos orgânicos produzidos em um condomínio residencial em Camboriú, Santa Catarina. Nesse estudo foi observado que 18,70% dos compostos analisados representam os sólidos totais ( $\%ST$ ), onde 92,81% destes são sólidos voláteis ( $\%SV$ ). Assim, na medida em que a carga diária estimada corresponde a 1410 g, a matéria orgânica efetivamente decomposta é calculada pela Equação 3:

$$P_e = \frac{P_d \cdot \%ST \cdot \%SV}{100^2} \quad (3)$$

Onde:

$P_e$  – matéria orgânica efetivamente decomposta [ $g \cdot dia^{-1}$ ]

$\%ST$  – sólidos totais [% massa]

$\%SV$  – sólidos voláteis [% massa]

### Previsão de consumo e geração

A previsão do consumo de água e da geração de biogás é feita com base na proporção estequiométrica encontrada anteriormente (1:10:16:11:1). A massa molecular das substâncias é obtida a partir da somatória das massas atômicas dos elementos, que foram retiradas de White (2016), assim como as massas específicas. O volume das substâncias é calculado pela equação abaixo:

$$V_{subst} = \frac{X \cdot M_{subst}}{\rho_{subst}} \quad (4)$$

Onde:

$V_{subst}$  – volume [L]

$X$  – coeficiente estequiométrico

$M_{subst}$  – massa molar da substância [ $g \cdot mol^{-1}$ ]

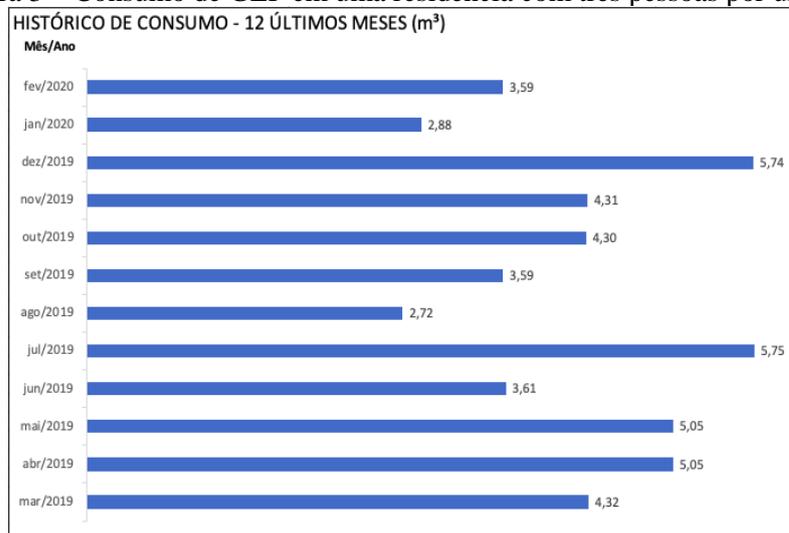
$\rho$  – massa específica [ $g \cdot L^{-1}$ ]

Esta análise foi realizada para 1 mol da molécula estimada, que posteriormente deve ser corrigida. Na geração de biogás o ajuste ocorreu para a carga efetiva de matéria orgânica decomposta calculada pela Equação 3, enquanto o consumo de água foi mensurado para a carga diária total. Esses valores corrigidos são obtidos pela multiplicação entre o volume encontrado na Equação 4 por um fator de correção (FC), que é indicado pela divisão entre a massa efetivamente fermentada ( $P_e$ ) e a massa de um mol do substrato, exceto para a água.

### Equivalência energética

Para o biogás produzido foi proposto acender a boca de fogão. Então, com o intuito de verificar se o combustível produzido é capaz de substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP) utilizado no preparo de alimento, foi feito o levantamento do consumo de gás durante 12 meses em uma residência de 3 pessoas, a fim de comparar a eficiência de ambos.

Figura 3 – Consumo de GLP em uma residência com três pessoas por um ano.



Fonte: Adaptado da fatura da Comgás.

A informação de equivalência utilizada para a análise está de acordo com Pain (2018) que obteve resultados mostrando correspondência entre 1 m<sup>3</sup> de biogás e 0,572 m<sup>3</sup> de GLP. Esse estudo é feito levando em consideração o poder calorífico e a eficiência média de combustão (POMPERMAYER; JUNIOR, 2003).

### *Dimensionamento e construção*

Para dimensionar o tanque de decomposição foram utilizadas as informações de geração média de resíduos nas residências brasileiras, calculado pela Equação 1, além do volume de água necessário (0,46 L), obtido por meio dos dados presentes na seção de Previsão de consumo e geração. Ademais, é conhecido que o tempo de retenção hidráulica (TDH), ou seja, o tempo de permanência do substrato no reator para que ocorra decomposição pode variar de 10 a 25 dias, dependendo das condições de temperatura. Uma vez que o dispositivo desenvolvido busca simplicidade de manuseio, ele não possui um sistema de controle de temperatura, então, para um biodigestor operado a temperatura ambiente foi estipulado um TDH de 25 dias.

Para realizar essa previsão é necessário conhecer a densidade aparente da matéria orgânica, que equivale a  $\rho = 1213 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , retirada de Silva e Santos (2010), um trabalho que objetivou estimar a densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados. Logo, o volume útil da câmara de decomposição é calculado pela Equação 5.

$$V_d = \left( \frac{P_d}{\rho} + V_{H_2O} \right) \cdot TDH \quad (5)$$

Onde:

$V_d$  – volume útil do reator [L]

$\rho$  – massa específica do resíduo [ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ ]

$V_{H_2O}$  – volume diário de água [ $\text{L} \cdot \text{dia}^{-1}$ ]

Após o dimensionamento foi elaborada uma lista de materiais necessários para a fabricação do protótipo, além de uma representação em CAD do modelo e desenhos de detalhe para auxiliar a montagem. Dentre os materiais utilizados estão: uma bombona de 50 L, 2 metros de mangueira 3/8” para gás, 5 adaptadores macho para mangueira com espigão, 5 braçadeiras, um flange 32 mm, um registro de esfera 32 mm, 2 anéis de vedação para tubo de 4”, tubos de PVC com diâmetros de 32 e 100 mm e um par de caps para os respectivos tubos.

### *Viabilidade econômica*

O método utilizado para realizar a análise de viabilidade econômica foi uma simplificação do *Payback*, que determina o tempo necessário para recuperar a aplicação inicial de capital investido. Esse indicador difere do *Payback* descontado por não considerar o valor do dinheiro no tempo, ou seja, as taxas de juros do mercado não são descontadas. Neste cálculo, o tempo para o retorno financeiro é um pouco menor, visto que os cálculos não são realizados com os valores atualizados. O tempo de retorno é calculado pela divisão entre o valor do equipamento (R\$ 370,43) e a economia gerada pelo uso do biodigestor (R\$ 55,43).

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Valor do equipamento}}{\text{Economia}} \quad (6)$$

## **Resultados e Discussão**

Primeiro foi calculada, utilizando a Equação 1, a produção diária de resíduos orgânicos em uma residência ocupada por três (3) pessoas, média nacional segundo dados do IBGE. Para

determinar a carga também foram considerados os dados de geração de lixo orgânico, fornecidos pela ABRELPE, que corresponde a aproximadamente 470 g por pessoa em um dia ( $P_o$ ). Isso resulta em um total de 1410 g de resíduos a serem inseridos no biodigestor por dia ( $P_d$ ).

Em seguida, para determinar o número de mols de cada elemento constituinte do substrato, que possui características heterogêneas, utilizou-se a Equação 2. Os dados empregados podem ser observados na Tabela 1, junto dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Massa molar, percentual em massa e número de mols de cada elemento.

Elementos	Massa Molar [g · mol <sup>-1</sup> ]	Percentual [% massa]	Nº aproximado de mols
Carbono	12,01	46,00	54
Hidrogênio	1,01	6,70	94
Nitrogênio	14,01	1,80	2
Oxigênio	16,00	27,78	24

Fonte: Autor.

Com a finalidade de se obter a fórmula mínima, o número de mols calculado para cada elemento foi dividido pelo menor valor encontrado, cujo é dois (2). Por fim, a molécula resultante foi  $C_{27}H_{47}O_{12}N$  de massa molar igual a 555,86 g · mol<sup>-1</sup>. Então, com o equacionamento da reação química simplificada da decomposição anaeróbica de compostos orgânicos, o número de mols de cada elemento dos produtos é relacionado com o dos reagentes por meio do balanço de massa, representado em um sistema de equações.



Com o objetivo de se obter os menores coeficientes estequiométricos inteiros foi adotado o valor de A equivalente a um (A = 1).

$$\begin{cases} 27 + 0 \cdot B = 1 \cdot D + 1 \cdot E + 0 \cdot G \\ 47 + 2 \cdot B = 4 \cdot D + 0 \cdot E + 3 \cdot G \\ 12 + 1 \cdot B = 0 \cdot D + 2 \cdot E + 0 \cdot G \\ 1 + 0 \cdot B = 0 \cdot D + 0 \cdot E + 1 \cdot G \end{cases}$$

Para o conjunto de equações descrito acima foram alcançados os seguintes coeficientes numéricos: B = 10; D = 16; E = 11; G = 1. Logo, a reação de decomposição anaeróbica dos resíduos alimentares descartados em uma residência é representada a seguir:



Na Tabela 2 são apresentados tanto o consumo de água quanto a produção de gases, em litro, para 555,86 g de matéria orgânica fermentada. Esses valores foram alcançados pela aplicação da Equação 4.

Tabela 2 – Massa molecular, coeficiente numérico, massa específica e volume.

Substâncias	Massa Molecular [g · mol <sup>-1</sup> ]	Coefficiente Estequiométrico	Massa Específica [g · L <sup>-1</sup> ]	Volume [L]
Água (H <sub>2</sub> O)	18,02	10	998,00	0,18
Metano (CH <sub>4</sub> )	16,05	16	0,67	383,28
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	44,01	11	1,82	266,00
Amônia (NH <sub>3</sub> )	17,04	1	0,73	23,34

Fonte: Autor.

Nos cálculos de previsão realizados até o momento foi considerado que toda a matéria orgânica é decomposta. Entretanto, como visto na seção de Caracterização físico-química do substrato apenas a parcela volátil dos chamados sólidos totais (ST) sofre decomposição. Assim, através dos dados gerados por Gartner (2018), a massa de resíduos efetivamente decompostos foi definida pela Equação 3, fazendo-se uso da base de cálculo observada na Tabela 3.

Tabela 3 – Base de cálculo para determinar os resíduos orgânicos efetivamente decompostos.

Descrição	Dados
Massa total de material orgânico [g]	1410,00
Umidade [%]	81,30
Sólidos totais [%]	18,70
Sólidos voláteis [%]	92,81
Resíduo orgânico decomposto [g]	244,71

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Garcia e Gartner, 2021.

A massa calculada corresponde a aproximadamente 244,71 g de resíduos e é utilizada para corrigir os volumes previstos anteriormente para a reação de decomposição com um mol ou 555,86 g de  $C_{27}H_{47}O_{12}N$ . Na tabela abaixo o fator de correção dos produtos (metano, gás carbônico e amônia) se dá pela divisão entre a massa efetivamente decomposta e a massa de um mol do substrato. Já o FC da água foi corrigido para a massa total de material orgânico (1410 g), uma vez que não é desejado que ela seja o reagente limitante da reação.

Tabela 4 – Volume corrigido para 244,71 g de resíduos decompostos.

Substâncias	Fator de Correção (FC)	Volume para 1 mol do substrato [L]	Volume corrigido [L]	Volume Corrigido [ $m^3$ ]
Água (H <sub>2</sub> O)	2,54	0,18	0,46	4,60e-4
Metano (CH <sub>4</sub> )	0,44	383,28	168,64	0,17
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	0,44	266,00	117,04	0,12
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,44	23,34	10,27	0,01

Fonte: Autor.

Dessa forma, tem-se que para cada 1410 g de resíduos inseridos no biodigestor é consumido 0,46 L de água e produzido 0,17  $m^3$  de metano, 0,12  $m^3$  de gás carbônico e 0,01  $m^3$  de amoníaco.

Em seguida, a partir da fatura de consumo de GLP foi calculado o consumo médio da residência e, a partir das informações de Pain (2018), realizada a equivalência energética para verificar se a produção de metano supre a necessidade da residência exclusivamente no preparo de alimentos. A proporção está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Equivalência energética do GLP com relação ao biogás.

Tipo de gás	Equivalência energética	Consumo médio
GLP [ $m^3$ ]	0,572	4,24
Biogás [ $m^3$ ]	1	7,41

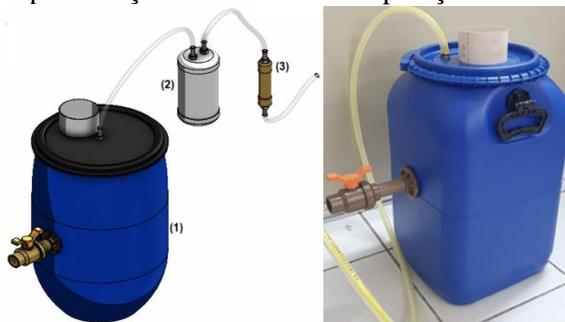
Fonte: Autor.

Para um mês contendo 30 dias é possível observar que a quantidade de biogás produzida nesse período ( $0,17 \cdot 30 = 5,10 m^3$ ) é capaz de atender a maior parte do consumo necessário de 7,41  $m^3$  de biogás, como apresentada na Tabela 5.

Finalizado os cálculos de previsão, o projeto seguiu para etapa de dimensionamento e construção do protótipo. Para definir o volume da câmara de fermentação foi utilizada a

Equação 5, que resultou em um tanque com 40,6 L de espaço útil. Porém, por questões de projeto foi utilizado uma bombona de 50 L. Antes de iniciar a fabricação em si foram feitas a listagem de materiais apresentada anteriormente, o modelo em CAD e os desenhos técnicos para auxiliar a montagem.

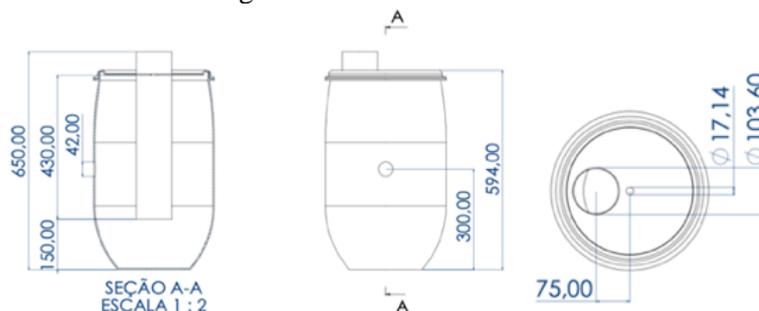
Figura 4 – Representação em CAD em comparação com o modelo real.



Fonte: Autor.

O biodigestor, como pode ser visto na Figura 4, é formado pela câmara de decomposição (1), por um filtro de água com soda caustica (2) e um filtro de palha de aço (3) para que o biogás possa ser purificado.

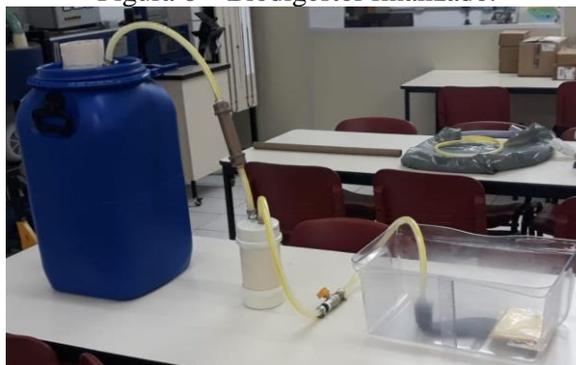
Figura 5 – Desenho de detalhe.



Fonte: Autor.

Na Figura 5 é apresentada as principais cotas do projeto. Na vista superior, que se encontra na direita, estão os furos do canal de entrada do substrato ( $\varnothing 103,60$ ) e da saída de gás ( $\varnothing 17,14$ ) com uma distância entre centros de 75 mm. No primeiro furo foi posicionado o tubo de esgoto de  $\varnothing 100$  mm e 430 mm de comprimento. Já no orifício de saída foi acoplado um adaptador com espigão para fazer a conexão da mangueira. Ainda, a 300 mm da base do equipamento foi feito um furo de  $\varnothing 42$  mm, onde está montado o conjunto formado pelo flange e pelo registro, que por sua vez estão conectados por um pequeno tubo de  $\varnothing 32$  mm. Nessa abertura é feita a retirada do biofertilizante.

Figura 6 – Biodigestor finalizado.



Fonte: Autor.

Na montagem dos filtros de palha de aço e água foram empregados tubos de Ø32mm e Ø100 mm, respectivamente. Esses foram fechados por caps e vedados com anéis de vedação para prevenir possíveis vazamentos de gás. A entrada e saída de gás no interior dos filtros foi feito através de adaptadores com espigão posicionados nos caps, onde foi conectada a mangueira. Todas as conexões entre os espigões e as mangueiras foram presas por braçadeiras. Este equipamento foi projetado para que possa ser acoplado a uma câmara de armazenamento de gás ou conectado a um fogão. O sistema pode ser observado pela Figura 6.

Por fim, a viabilidade econômica do biodigestor foi ponderada. Ao final da etapa de montagem os gastos foram contabilizados e o custo do equipamento ficou em torno de trezentos e setenta reais e quarenta e três centavos (R\$ 370,43).

Figura 7 – Preço médio de revenda com base nos dados da ANP.

GLP (R\$/13 kg)		
Estado	Contribuição Preço Petrobras na Revenda	Preço Médio Revenda <sup>(1)</sup>
AL	46,72	94,80
AM	46,23	101,16
BA	46,98	91,76
CE	47,29	102,12
ES	45,83	95,71
MA	47,29	99,63
MG	47,48	100,75
PA	47,00	103,41
PE	46,46	91,62
PR	47,05	101,55
RJ	45,49	89,48
RN	46,55	105,05
RS	47,69	98,38
SC	48,16	106,69
SP	47,13	97,42

Fonte: Petrobras, 2021.

Então, a partir dos dados de revenda nos estados brasileiros da semana do dia 26/09 a 02/10, disponibilizados pela Petrobrás, tem-se que o preço médio de um quilograma de GLP fica cerca de R\$ 7,60. Esse dado junto da equivalência energética realizada anteriormente, mostra que o uso do biodigestor ajuda na redução de aproximadamente 68,8% do gás de cozinha. Para uma melhor visualização da economia gerada as informações de consumo foram organizadas na Tabela 6, considerando a densidade média do GLP de  $2,50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Tabela 6 – Gasto mensal com GLP para dois cenários divergentes.

Cenário	Consumo médio de GLP [ $\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ ]	Gasto mensal [R\$]
Sem biodigestor	4,24	80,56
Com biodigestor	1,32	25,13

Fonte: Autor.

Em uma residência que faz uso do biodigestor projetado nota-se uma economia de cinquenta e cinco reais e quarenta e três centavos (R\$ 55,43) ao mês. Dessa forma, o tempo de retorno do investimento é calculado por meio da Equação 6, resultando em um período de aproximadamente 7 meses.

## Conclusões

Por meio da previsão de geração do biogás ( $5,10 \text{ m}^3$ ) proporcionada pelo uso do equipamento, projetado e construído para abastecer um fogão, e da comparação energética do mesmo com o GLP é possível concluir que apesar da produção não suprir totalmente a demanda ( $7,41 \text{ m}^3$ ), esse dispositivo ajuda na redução considerável do uso de gás liquefeito de petróleo,

ou como é popularmente chamado o gás de cozinha. Essa redução corresponde a 68,8% do consumo de GLP e gera uma economia de R\$ 55,43 por mês, após o período de retorno do investimento (7 meses). Além disso, o objetivo de popularizar a tecnologia de biodigestão foi atingida, uma vez que é um projeto de pequeno porte (50 L), baixo custo (R\$ 370,43) e fácil manuseio. Essas características permitem produzir o biogás em locais menores e de forma mais barata, quando comparado aos principais biodigestores comerciais (R\$ 2000,00).

### Referências Bibliográficas

- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2021) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo.
- Garcia, A.; Mendonça, M.A.; Santos, J.L.D.; Teixeira, C.E.; Manéo, F.P. (2017) Determinação da Composição Elementar, Poder Calorífico e o Potencial de Produção de Biogás de Amostras da Fração Biodegradável de Resíduos Domiciliares. *In: Congresso ABES/Fenasan. nº 27. São Paulo. 7 p.*
- Gartner, G.L. (2015) Geração de Biogás Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos em Condomínios Verticais Residenciais: Estudo de Caso no Condomínio Marquês de Firenza. Orientador: George Luiz Bleyer Ferreira, Me. 53 p. TCC (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019) Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio Contínua Anual. Censo 2019.
- Karlsson, T.; Konrad, O.; Lumi, M.; Schmeier, N.P.; Marder, M.; Casaril, C.E.; Koch, F.F.; Pedroso, A.G. (2014) *Manual Básico de Biogás*. 1ª edição. rev. [S. I.]: Univates. 69 p.
- Nazarro, M.S. (2016) Desenvolvimento de um Biodigestor Residencial para Tratamento dos Resíduos Sólidos Orgânicos. Orientador: Eng. Dr. Marcio Antonio Andrade Nogueira. 79 p. TCC (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Pain, J.V. (2018) Aplicação do Biogás Produzido a partir de Dejetos de Gado Leiteiro como Fonte Alternativa de Energia em uma Queijaria. Orientador: Profa. Dra. Elaine Virmond. 36 p. TCC (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade federal de Santa Catarina, Araranguá.
- Silva, M.C. (2010) Densidade Aparente de Resíduos Sólidos Recém Coletados. *In: V congresso de pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Fortaleza – CE.*
- White, F.M. (2016) *Fluid Mechanics*. 8ª edição. Nova Iorque, McGraw-Hill Education. 848 p.