

# DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NO MUNICÍPIO DE JATAÚBA - PE

Maria Emília de Freitas Sousa <sup>1</sup>  
Maria Luíza de Freitas Sousa <sup>2</sup>  
Adolf Hitler Cardoso de Araújo <sup>3</sup>

## RESUMO

O alto crescimento populacional e o conseqüente consumismo excessivo e contínuo de materiais geram uma quantidade bastante elevada de resíduos sólidos. Por essa razão e também pela inexistência de um gerenciamento adequado de resíduos, o meio ambiente sofre constantemente e diretamente os impactos gerados por esses materiais bastante variáveis. Na busca de um desenvolvimento cada vez mais sustentável, torna-se necessário o aprimoramento de técnicas já existentes e o desenvolvimento de novas para que possa existir uma redução e/ou eliminação dos danos gerados que atingem de forma significativa os âmbitos da saúde, da economia, do meio ambiente. Tendo em vista essa necessidade, este trabalho busca dimensionar e avaliar a viabilidade de digestores anaeróbios para a cidade de Jataúba – PE, com a finalidade de aplicação no tratamento de resíduos sólidos orgânicos.

**Palavras-chave:** Biodigestor, Anaerobiose, Matéria orgânica.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à contínua elevação no crescimento populacional e a conseqüente maior demanda de recursos e produtos, têm-se uma maior geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e em decorrência disso, do ineficiente gerenciamento e da falta de áreas para destinação torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de modos e processos eficazes quando se trata da sua disposição final ambientalmente adequada (JACOBI; BESEN, 2011).

A aplicação de modos ambientalmente inadequados de disposição final de RSU, nas formas de lixões e aterros controlados, continua sendo empregada no Brasil, acarretando assim em vários impactos ambientais como a degradação de áreas, emanação de odores, proliferação de vetores transmissores de doenças, poluição do ar, do solo, das águas superficiais e subterrâneas (ANDRADE; FERREIRO, 2011).

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, emiliasf97@gmail.com;

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, luisasf97@gmail.com;

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, adolfcardoso@gmail.com;

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), a ordem de prioridade deve ser empregada nos municípios em geral: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada apenas dos rejeitos. Ou seja, apenas os resíduos considerados rejeitos serão encaminhados para os aterros sanitários, estes rejeitos são resíduos sólidos que não possuem nenhuma possibilidade e recuperação e tratamento por processos tecnológicos.

No Brasil, mais de 50% dos resíduos sólidos correspondem a matéria orgânica e tal quantidade é disposta de forma inadequada no meio ambiente (BRASIL, 2010). Em decorrência desse elevado volume de resíduos torna-se necessário o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias com a finalidade de aplicar uma forma de disposição final adequada para esses compostos.

Uma das tecnologias que está sendo bastante empregada e apresentando bastante destaque é a da digestão anaeróbia, na qual através de um digestor os resíduos são processados na ausência de oxigênio através de reações de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A aplicação dessa alternativa apresenta alta relevância econômica devido a produção de biogás, um gás extremamente rico que pode ser convertido em energia, e também pela geração de um efluente rico em nutrientes que pode ser aplicado na agricultura na forma de biofertilizantes (XAVIER; JUNIOR, 2010).

Os biodigestores anaeróbios serão projetados para o município de Jataúba-PE, no qual apresenta uma coleta de resíduos realizada totalmente pela prefeitura municipal, ocorrendo de forma indiferenciada, através de caminhões de “lixo”, não havendo a coleta seletiva, disposição correta, ou uso de tecnologias que mitiguem esses problemas, dificultando ainda a ação de catadores que separam o material para reciclagem, situação esta totalmente divergente com a estabelecida pela Política Nacional de 2010, e tendem a se estender ainda mais devido ao crescimento populacional e o aumento no consumo per capita (OLIVEIRA, 2016).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo estudar e projetar digestores anaeróbios para a cidade de Jataúba, localizada em Pernambuco, estes sendo uma alternativa tecnológica para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos. E a partir do estudo será obtido um levantamento de dados sobre a geração, coleta e disposição final do município, gerando assim oportunidades de melhorias que abrangem os âmbitos econômicos, sociais e ambientais.

## 2. ESTUDO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO

O tempo de projeto empregado será de 10 anos e o método aplicado será o aritmético, no qual o crescimento populacional é obtido segundo uma taxa constante. É um método utilizado para estimativas de menor prazo e o ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão (QASIM, 1985).

**Tabela 1** – População do ultimo censo e população estimada.

ANO	POPULAÇÃO TOTAL (hab)
2010	15.819
2018	17.070

Fonte: IBGE.

- Coeficientes

$$Ka = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} = \frac{17070 - 15819}{2018 - 2010} = 156,375$$

- Projeção

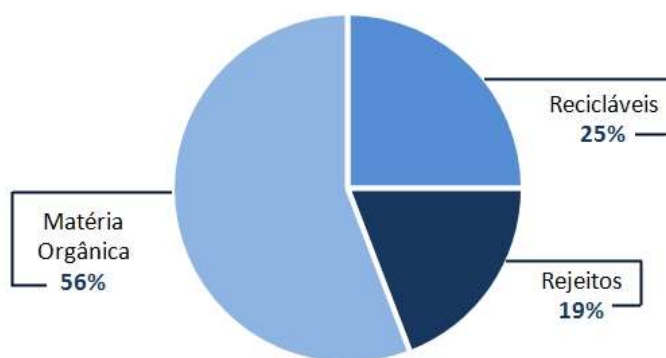
$$P_{2029} = P_0 + Ka \times (t - t_0) = 18.790 \text{ habitantes}$$

## 3. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO

Segundo uma estimativa do Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco, de julho de 2012, a taxa de geração per capita do município de Jataúba é em torno de 0,99 kg/hab.dia que tem como destinação final os lixões municipais.

Para a análise gravimétrica dos resíduos, foi tomado como base o levantamento gravimétrico presente no panorama da composição de resíduos sólidos urbanos no estado de Pernambuco, foram analisados os percentuais de vidro, metal, plástico e papel, de forma a identificar o potencial de material reciclável encontrado na massa de resíduos produzidos, assim como os valores equivalentes à matéria orgânica e a rejeitos.

Essa avaliação é importante para a valorização da coleta seletiva, uma vez que o estado perde cerca de R\$ 40 milhões por mês (valores estimados para 2012) com a falta de comercialização dos produtos recicláveis, assim como perde bastante espaço com a destinação final, uma vez que apenas os rejeitos devem ser dispostos adequadamente na natureza.



**Gráfico 1** - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos no Município de Jataúba.

Através da composição gravimétrica, podemos salientar a destinação de cada tipo de resíduos, esta sendo: recicláveis para as cooperativas, rejeitos para o aterro sanitário e matéria orgânica para digestores anaeróbios (BRASIL, 2010). Devido à alta porcentagem de matéria orgânica na composição gravimétrica, o emprego de digestores anaeróbios possui alta viabilidade e potencialidade.

### 3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Os dados da composição gravimétrica dos resíduos serão utilizados para o dimensionamento dos digestores anaeróbios do projeto. Adotando-se um horizonte de projeto de 10 anos, a quantidade anual de resíduos foi estimada através da geração per capita diária e da projeção populacional para a cidade de Jataúba, e com isso foi feita a multiplicação do valor obtido com 365 dias/ano.

A partir dessa geração anual de resíduos sólidos no município, a fração orgânica foi calculada e o dimensionamento dos digestores realizado.

**Tabela 2** - Estimativa de geração anual de resíduos sólidos orgânicos (2019 a 2029)

Ano	Geração per capita de RSU (kg/dia)	Fração orgânica dos RSU (%)	Projeção populacional (hab)	Geração de resíduos orgânicos (t/d)	Geração de resíduos orgânicos (t/ano)
2019	0,99	52	17383	8,95	3266,3
2020	0,99	52	17539	9,03	3295,6
2021	0,99	52	17696	9,11	3325,0

2022	0,99	52	17852	9,19	3354,4
2023	0,99	52	18008	9,27	3383,8
2024	0,99	52	18165	9,35	3413,2
2025	0,99	52	18321	9,43	3442,6
2026	0,99	52	18477	9,51	3471,9
2027	0,99	52	18634	9,59	3501,3
2028	0,99	52	18790	9,67	3530,7
2029	0,99	52	18790	9,67	3530,7

Os resíduos domésticos possuem um teor de aproximadamente 20% de sólidos totais (LEITE et al., 2009), e tendo esse conhecimento podemos calcular o seu valor anual para o ano de 2029:

$$ST = GRO \times 0,20 = 3530,7 \frac{t}{ano} \times 0,20 = 706,14 \text{ toneladas de ST/ano}$$

ST sendo os sólidos totais (t/ano) e GRO sendo a geração anual de resíduos sólidos (t/ano).

Destes sólidos totais, apenas a fração orgânica (corresponde aos sólidos voláteis) será aplicada nos digestores anaeróbios, e a mesma corresponde a aproximadamente 85% (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008). Através da equação abaixo, temos:

$$SV = ST \times 0,85 = 706,14 \times 0,85 = 600,22 \text{ t de SV/ano}$$

Onde:

SV - Sólidos voláteis (t/ano)

A eficiência dos sistemas anaeróbios é obtida a partir de dados de demanda química de oxigênio (DQO). Como se trata de resíduos orgânicos, a DQO é estimada a partir da relação DQO/SV=1,15 kg/kg (valor empregado por engenheiros projetistas de digestores). A geração anual de DQO então foi obtida pela equação abaixo:

$$DQO = SV \times 1,15 = 600,22 \times 1,15 = 690,25 \text{ toneladas de DQO/ano}$$

#### 4. DIGESTORES ANAERÓBIOS

O biodigestor anaeróbio é um sistema fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, que geralmente conta com um sistema de entrada de matéria

orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo para retirada de subprodutos (REIS, 2012).

Os biodigestores anaeróbios podem ser classificados quanto ao teor de sólidos, quanto às formas de alimentação e quanto ao número de estágios. Em relação ao teor de sólidos, podem ser classificados em baixo teor de sólidos para digestores com resíduos apresentando menos que 15% de sólidos totais, e alto teor de sólidos para 20% a 40% de sólidos totais (PROSAB, 2003).

Em relação ao número de estágios, podem ser classificados em sistemas de um estágio, de dois estágios ou sistemas multi-estágios. Em sistemas de um estágio, todas as reações de decomposição da matéria orgânica ocorrem simultaneamente em um único reator. Para sistemas com mais de um estágio, possuem dois ou mais reatores e as diferentes câmaras podem ser constituídas de câmaras construídas separadamente ou pode se tratar de uma única câmara separada internamente por paredes (PROSAB, 2003).

Quanto à forma de alimentação, temos sistemas de alimentação contínua e descontínua. Nos sistemas de alimentação contínua há introdução de substratos de forma constante e regular nos reatores e ao mesmo tempo em que ocorre a alimentação, um volume igual ao de entrada é removido em forma de resíduos tratados, resultando em uma produção contínua de biogás. Nos sistemas de alimentação descontínua, ou em batelada, há preenchimento total do biodigestor em uma única vez com os resíduos frescos, podendo ou não ser adicionado um inóculo. Ao término do período de tratamento, os resíduos já estabilizados, são removidos e nova batelada de resíduos é introduzida para ser iniciado um novo ciclo (PROSAB, 2003).

## 5. DIMENSIONAMENTO DO DIGESTOR ANAERÓBIO

O cálculo do volume necessário para o digestor depende do volume de substrato a ser inserido. Tendo conhecimento que os resíduos orgânicos devem apresentar um teor de sólidos em torno de 20%, faz-se necessária uma diluição inicial, para que o substrato adquira um teor de sólidos em torno de 17%, que é teor de sólidos requerido pela tecnologia escolhida. Esta diluição pode ser feita com recirculação de efluente do próprio sistema.

Para cálculo da quantidade de líquido a ser adicionada ao substrato utilizou-se a seguinte equação:

$$L_{\text{diluição}} = \frac{ST}{0,17} - \text{GRO}$$

$$L_{\text{diluição}} = \frac{706,14 \text{ t de ST/ano}}{0,17} - 3530,7 \frac{\text{t}}{\text{ano}} = 623,06 \frac{\text{t}}{\text{ano}}$$

Onde: GRO - Volume anual de resíduos sólidos gerados (t/ano)

Assumindo-se que o peso específico do substrato é igual ao peso específico da água (1 t/m<sup>3</sup>), o valor da massa de substrato calculada (em t/ano) corresponde ao volume de substrato (m<sup>3</sup>/ano). Sendo o volume de substrato diário:

$$V_s = 623,06 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \times \frac{1 \text{ ano}}{365 \text{ dias}} = 1,70 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Calculando o volume do digestor:

$$V_{\text{digestor}} = V_s \times \text{TDH} = 1,70 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 28 \text{ dias} = 47,60 \text{ m}^3$$

Adotou-se 50 m<sup>3</sup> para o volume do digestor.

## 5.1 PARÂMETROS FUNDAMENTAIS DE OPERAÇÃO

Os parâmetros adotados se baseiam tanto em valores retirados da literatura técnica, quanto em valores empíricos praticados por engenheiros projetistas de plantas de biogás (Tabela 3).

**Tabela 3** - Parâmetros adotados no dimensionamento do digestor

Parâmetros adotados	Unidade	Valor	Observações
Sólidos Totais (ST)	%	20	Deublein e Steinhauser (2008)
Fração orgânica (SV/ST)	%	85	Deublein e Steinhauser (2008)
DQO/SV	kg/kg	1,15	
Geração de metano por DQO degradada	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgDQO	0,35	
Eficiência de conversão de DQO	%	85	
Teor de CH <sub>4</sub> no biogás	%	55	Deublein e Steinhauser (2008)
Potencial energético do CH <sub>4</sub>	kWh/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	9,94	

Eficiência de conversão de metano em energia elétrica	%	40	Considerando turbinas a gás
Sólidos totais do substrato no reator	%	17	
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	dias	28	Deublein e Steinhauser (2008)

**Tabela 4 - Parâmetros calculados no dimensionamento do digester.**

Parâmetros calculados	Unidade	Valor
ST	t/ano	706,14
SV	t/ano	600,22
DQO	t/ano	690,25
Ldiluição	t/ano	623,06
Vdigester	m <sup>3</sup>	50,00
Vmetano	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ano	205.349,37

O digester anaeróbio terá um volume necessário de 50 m<sup>3</sup>, construído em alvenaria, de formato trapezoidal, com comprimento total de 10 metros, largura de 4 metros e profundidade de 2 metros. O digester operará com alto teor de sólidos, visto que a quantidade de sólidos totais dos resíduos da cidade em questão é de 20%, e o sistema contará com um único reator de alimentação contínua.

## 5.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para estimar a geração anual de biogás, considerando uma eficiência de conversão de DQO em metano de 85% e a relação de geração de metano por DQO degradada (Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgDQO) de 0,35.

Calculou-se o volume de metano:

$$V_{\text{metano}} = \text{DQO} \times 0,35 \times 0,85$$

$$V_{\text{metano}} = 690,25 \times 10^3 \frac{\text{kg DQO}}{\text{ano}} \times 0,35 \frac{\text{Nm}^3\text{CH}_4}{\text{kgDQO}} \times 0,85$$

$$V_{\text{metano}} = 205.349,37 \frac{\text{Nm}^3\text{CH}_4}{\text{ano}}$$

Cada m<sup>3</sup> de metano corresponde a 9,94 kWh de energia. Calculou-se o potencial energético do biogás gerado, para o volume horário de metano.



$$PE = \left( \frac{205.349,37 \text{ Nm}^3\text{CH}_4}{8760 \text{ h}} \right) \times 9,94 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3\text{CH}_4} = 233,00 \text{ kW}$$

A partir do potencial energético calculado, uma parte pode ser aproveitada como energia térmica ou elétrica. Para a tecnologia de turbinas a gás, a eficiência de conversão de energia a ser convertida em eletricidade pode chegar a 40%. No caso de aproveitamento elétrico e térmico (co-geração), até 50% da energia pode ser aproveitada na forma de calor (vapor).

Sendo assim, consideramos turbinas à gás, de maneira que 50% da energia seja aproveitada na forma de energia térmica e 40% na forma de energia elétrica, totalizando um aproveitamento de 90% da energia, considerando 10% perdidos nos processos do sistema a ser utilizado.

Vale destacar que o município de Jataúba possui clima semiárido, não sendo necessários sistemas de aquecimento, de modo que a energia térmica pode ser aproveitada em processos industriais futuros, já que atualmente a cidade não possui indústrias com essa demanda.

Com base em Deublein e Steinhauer (2008), considerou-se que a planta consumirá em torno de 20% da energia elétrica gerada, nas etapas de aquecimento do substrato, agitadores, bombeamento, entre outras.

**Tabela 5 – Potenciais calculados.**

Potencial energético	kW	233,00
Potencial elétrico (40%)	kW	93,20
Potencial térmico (50%)	kW	116,50

Calculou-se a média de consumo mensal de energia elétrica residencial para o município, com base nos dados da Companhia de Eletricidade de Pernambuco (CELPE).

**Tabela 6 – Dados de consumo de energia elétrica.**

Jataúba (2018)	Residencial
Consumo de energia elétrica	5.913 MWh
Consumidores de energia elétrica	6.836 consumidores

**Fonte:** CELPE, 2018.

$$\text{Média de consumo} = \frac{5.912 \times 10^3 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \times \frac{1 \text{ ano}}{12 \text{ meses}}}{6.836 \text{ residências}} = 72,01 \text{ kWh/mes}$$

Descontando o consumo de energia elétrica da própria planta (20% da energia gerada), a potência elétrica disponível para comercialização seria de 74,56 kW, o suficiente para abastecer aproximadamente 745 residências.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da alta potencialidade de tratamento dos resíduos orgânicos através do digestor de 50 m<sup>3</sup> com capacidade de tratar cerca de 600,22 toneladas/ano, pode-se afirmar que o potencial de energia elétrica através do biogás gerado, disponível para comercialização seria de 74,56 kW, o suficiente para abastecer aproximadamente 745 residências.

Logo, o digestor anaeróbio é uma opção viável de tratamento para os resíduos sólidos desse município, por se tratar de um tratamento simples, de fácil execução, que não requer grandes áreas para sua instalação e que gera um importante recurso econômico que é o biogás e o biofertilizante.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 6, n. 1, 2011.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos** (PNRS).

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

IBGE, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jatauba/panorama>>. Acesso em: set. 2019.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

OLIVEIRA, D. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Municipais de Jataúba – PE. 2016. Disponível em: <[https://prezi.com/xo\\_wnyqbkwed/diagnostico-dos-residuos-solidos-municipais-de-jatauba-pe/](https://prezi.com/xo_wnyqbkwed/diagnostico-dos-residuos-solidos-municipais-de-jatauba-pe/)>. Acesso em: set. 2019.

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.

QASIM, S. R. Waste water treatment plants: planning, design and operation. New York: Holt, Rinehartand Winston, 1985 apud VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67.

CELPE. Companhia de Eletricidade de Pernambuco. Governo do Estado de Pernambuco. Consumidores de energia elétrica. 2018. Disponível em: <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=426&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=426&Cod=3)>. Acesso em: set. 2019.

REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2012. 79f.

XAVIER, C. A.; JÚNIOR, J. L. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, p. 212-223, 2010.