

DOI: <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2023.9.06>

Cómo citar:

Medina Suárez, R., Martín Vega, D., Pérez Benitez, M., & Velázquez Labrada, Y.R. (2023). Construção de um protótipo de biodigestor para obtenção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos. *Orange Journal*, 5(9), 50-60. <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2023.9.06>

Construção de um protótipo de biodigestor para obtenção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos

Construction of a biodigester prototype for obtaining biogas from organic solid waste

Recibido: 11 de mayo de 2023

Aceptado: 13 de junio de 2023

Escrito por:

René Medina Suárez¹<https://orcid.org/0000-0001-9387-3027>**Darlenis Martín Vega²**<https://orcid.org/0000-0002-7201-5696>**Mayelin Pérez Benitez³**<https://orcid.org/0000-0002-7599-8835>**Yunior Ramón Velázquez Labrada⁴**<https://orcid.org/0000-0002-8088-6686>

Resumo

O intenso processo de urbanização que se tem verificado nas grandes cidades, juntamente com o avanço tecnológico têm causado sérios problemas ambientais ao planeta, principalmente nos países menos desenvolvidos como é o caso de Angola. Nesse contexto, os resíduos sólidos tornaram-se num dos principais problemas a serem combatidos pela humanidade, uma vez que os mesmos são produzidos inevitavelmente nas actividades desenvolvidas pelo próprio homem. A busca por um novo padrão de desenvolvimento baseado no conceito de sustentabilidade tem-se tornado o foco dos processos produtivos. Assim sendo, energia e meio ambiente apresentam-se como sendo campos intimamente ligados, tanto em termos de pesquisa e desenvolvimento, como na implantação de tecnologia. Sistemas de biodigestão anaeróbica com geração de energia, mais especificamente a partir de resíduos sólidos urbanos, têm despontado como uma alternativa capaz de contribuir positivamente na busca por um novo padrão de desenvolvimento, uma vez que contribuem para solucionar problemas de emissão irresponsável de resíduos sólidos urbanos que reduzem desta forma os problemas de poluição ambiental. No presente trabalhos fez-se uma proposta do protótipo de biodigestor para obtenção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos.

Palavras Chaves: biodigestor, biodigestão anaeróbica, biogás, resíduos sólidos.

Abstract

The intense process of urbanization that has been seen in major cities, along with technological advances have caused serious environmental problems on the planet, especially in the least developed countries as is

¹ Mestre em Educação Superior. Engenheiro Mecânico. Centro Universitário Municipal San Luis, Universidade de Oriente, Cuba. Coordenador da Carreira de Engenharia de Processos Agroindustriais.

² Graduação em Contabilidade e Finanças. Centro Universitário Municipal San Luis, Universidade de Oriente, Cuba. Coordenador da Carreira de Graduação em Contabilidade e Finanças.

³ Doutor em Ciências Pedagógicas. Centro Universitário Municipal San Luis, Universidade de Oriente, Cuba. Professor de Geografia. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento "Monitoramento e gestão integrada dos ecossistemas costeiros frente às mudanças climáticas na região leste de Cuba. (ECOS)

⁴ Doutor em Ciências Pedagógicas. Centro de Estudos Multidisciplinares das Zonas Costeiras, Universidade de Oriente, Cuba. Professor de Biologia. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento "Monitoramento e gestão integrada dos ecossistemas costeiros frente às mudanças climáticas na região leste de Cuba. (ECOS)"





the case of Angola. In this context, the solid wastes have become one of the main problems to be tackled by mankind, since they are inevitably produced in the activities developed in the man himself. The search for a new pattern of development based on the concept of sustainability has become the focus of production processes. Therefore, energy and the environment they are presented as being closely linked fields, both in terms of research and development, as in the implementation of technology. Anaerobic digestion systems with power generation, specifically from municipal solid waste, have emerged as an alternative capable of contributing positively to the search for a new pattern of development, since they contribute to solve irresponsible emission problems of municipal solid waste thus reducing the problems of environmental pollution. In the present work, a proposal was made for a biodigester prototype to obtain biogas from organic solid waste.

Key Words: anaerobic digestion, biogas, digester, solid waste.

Introdução

A pesquisa sobre fontes alternativas de energias tem-se intensificado em todo planeta, tem-se verificado uma constante busca de alternativas para diminuir a poluição ambiental utilizando-se fontes energéticas menos agressivas para o meio ambiente. Por conta disso, alternativas como a que será apresentada neste trabalho vem se tornando cada vez mais atrativa. A cidade de Luanda registou nos últimos anos um elevado crescimento populacional, e como consequência disso, aumentou também a produção de resíduos sólidos, transformando muitos pontos da periferia da cidade em depósitos de lixo ao céu aberto. A produção per capita de resíduos em Angola está estimada em 0,46 kg/dia, segundo dados fornecidos pela Agência Nacional de Resíduos (Maio de 2015). Anualmente esta cifra chega a atingir 3,5 milhões de toneladas de lixo, sendo a cidade de Luanda responsável por mais de 1,3 milhões de toneladas de lixo, que apresenta na sua composição elevado volume de matéria orgânica putrescível, passível de fermentação. Da quantidade produzida, apenas uma pequena percentagem recebe tratamento ou disposição final adequada.

Desta forma, tem-se intensificado a busca por modelos de gestão mais viáveis que permitam uma melhor disposição e tratamento desses resíduos, diminuindo desta forma os impactos ambientais negativos, bem como o aproveitamento racional da matéria orgânica e acima de tudo a melhoria da qualidade de vida da população. Uma parte dos resíduos sólidos produzidos na cidade de Luanda é depositada no aterro sanitário dos Mulenvos, onde um dos tratamentos utilizados é o da digestão aeróbica, especialmente da fracção orgânica putrescível. A digestão aeróbica é um processo natural que ocorre na ausência de oxigénio e envolve a decomposição bioquímica da matéria orgânica realizada por um grupo específico de microrganismos. Deste processo resulta a produção de um gás rico em energia, o biogás e um efluente rico em nutrientes (Barcelos, 2021).

É importante realçar que a fraca capacidade de resposta das unidades de recolha aliado ao fraco investimento em grandes unidades de reciclagem e/ou tratamento adequado desses resíduos tem sido um dos grandes problemas na gestão dos mesmos, verificando-se em muitos casos a queima dos resíduos sólidos a céu aberto em muitos pontos da cidade, contribuindo dessa forma para a poluição ambiental. Assim coloca-se como problema científico: Como aproveitar os resíduos sólidos orgânicos para a obtenção de gás metano e diminuir a contaminação ambiental em Luanda?

Para a descrição real da situação proposta nesta pesquisa, o conteúdo teórico terá como pilares os seguinte objectivo: Construir um protótipo de biodigestor para a obtenção de gás metano a partir de resíduos sólidos orgânicos.

Quadro teórico

Desta forma, a digestão aeróbica assume-se como uma alternativa viável para o tratamento da fracção orgânica dos resíduos sólidos e vem sendo aceite com relevante aplicabilidade, visando à estabilização da matéria orgânica e o aproveitamento energético desses resíduos, em virtude das altas taxas de produção de biogás (Venegas, 2004).



A expansão dos processos de digestão aeróbica vem sendo condicionada devido à falta de configurações de sistemas de tratamento e, sobretudo aos cuidados operacionais necessários com a partida e operação do sistema. O processo de formação do biogás recebe o nome de biodigestão, tal processo ocorre naturalmente com toda matéria orgânica, mas é no aparelho denominado biodigestor onde este processo pode ser controlado e os produtos dessa reacção capturados e armazenados para posterior utilização. (Gonçalves, 2020)

Desta forma o aproveitamento do biogás oriundo do processo anaeróbico dos resíduos sólidos assume-se como mais uma das inúmeras iniciativas importantes que podem ser desenvolvidas no sentido de mitigar o efeito de estufa e tornar sustentável a matriz energética (Souza, 2019). O elevado volume de resíduos sólidos produzidos na cidade de Luanda, tem exigido a implantação de modelos de gestão mais eficazes, que permitam responder ao altíssimo volume de produção desses resíduos. Tem-se verificado repetidamente a implantação de modelos de gestão de resíduos que não têm resultado numa clara diminuição dos focos de lixo que se encontram espalhados em toda a cidade.

Metodología

O aumento da quantidade de resíduos sólidos que são produzidos, tornou-se num grande problema ambiental. Por outro lado, é necessário levar em consideração que a terra é um sistema fechado, desta forma, devemos perceber que os resíduos sólidos são na realidade ou deveriam ser considerados matérias-primas para a produção de outros recursos, maximizando desta forma o uso de cada recurso antes do mesmo ser descartado.

São considerados resíduos sólidos urbanos todas aquelas substâncias ou objectos abandonados ou descartados de forma permanente por quem os produz, por considera-los sem utilidade para seu proveito, de forma geral são todos substâncias e objectos gerados pela comunidade urbana através dos processos de consumo e que normalmente apresentam-se no estado solido ou semi-sólido a temperatura ambiente. Desta forma, os materiais gerados através de actividades residenciais, comerciais, institucionais e de limpeza de espaços públicos são considerados como sendo resíduos sólidos urbanos. Os resíduos sólidos urbanos incluem os resíduos gerados pelas indústrias e estabelecimentos de saúde, sempre que não conter características toxicas nem perigosas. (Álvarez, 2022).

Disponibilidade da matéria-prima

O intenso crescimento demográfico de Luanda trouxe consigo uma grande produção de resíduos sólidos urbanos. Desta forma a gestão desses resíduos tornou-se num grande desafio, assim, urge a necessidade de um modelo híbrido e integrado que contemple diversas valências e as distintas vivências da cidade, aliada a necessidade de implementação de medidas de redução na produção de resíduos e perspectivar para médio – prazo um melhor sistema de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos. A constante implementação de modelos falhados fez com que a quantidade focos de lixo aumentasse em toda a cidade, tornando muitos pontos da cidade em lixeiras a céu aberto (Figura 1).



Figura 1. Lixeira a céu aberto. Fonte: Medina, 2017

De acordo com a Agencia Nacional de Resíduos, os resíduos sólidos urbanos que são produzidos apresenta elevado volume de matéria orgânica, que ao invés de serem descartados de forma irresponsável, poderiam ser reaproveitados. Por outro lado, verificou-se também a abertura de um elevado numero de superfícies comerciais que produzem um elevado volume de matéria orgânica passível tratamento anaeróbico através de biodigestores.

Dimensionamento do protótipo proposto

O primeiro passo para a implantação de um projecto de biodigestor é primeiramente a determinação do seu dimensionamento, que significa especificar o tamanho ideal do biodigestor de acordo o volume de biogás que se pretende produzir. (Oliveira, 2013) descreve que o volume do biodigestor pode ser calculado de acordo com a equação (1):

$$VB = Vc * TRH \quad (1)$$

De acordo co Karlsson (2022), a taxa de produção de gás (Gas Production Rate – GPR) descreve a razão entre o biogás produzido por unidade de volume de reactor, em um determinado tempo, equação (2):

$$GPR = \frac{Q_{BIOGAS}}{V} \quad (2)$$

As fórmulas apresentadas acima são facilmente aplicáveis para biodigestores com sistema de alimentação continua, ou seja aqueles em que a matéria orgânica é introduzida no biodigestor de forma contínua (diária), não sucedendo o mesmo para sistemas de alimentação descontínua estão de acordo o com Dixon (2020) e Barcelos (2021). A modelagem, ou seja, o desenho e dimensionamento do protótipo de biodigestor proposto neste trabalho, foram utilizados os programas de desenho AutoCAD R-14. (Figura 2)

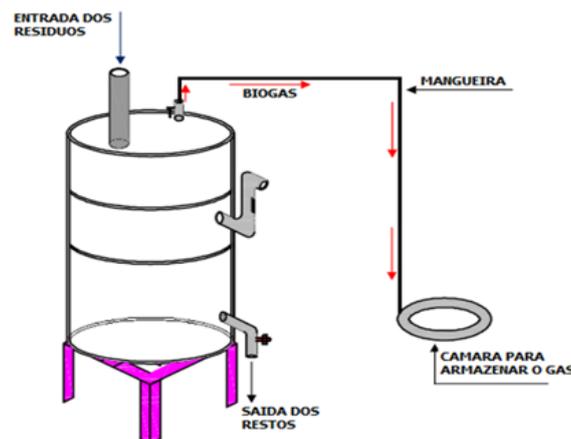


Figura 2. Protótipo de biodigestor. Fonte: Medina, 2017
Construção do protótipo de biodigestor proposto

Desta forma, apos a montagem de todos os componentes, a construção do protótipo termina anexando-se à de descarga do biogás uma mangueira, que por sua vez é conectada a uma câmara de ar para o devido armazenamento do biogás. Assim, apos terminar todas as etapas de construção, o protótipo deverá apresentar a seguinte configuração. (Figura 3).



Figura 3. Protótipo de biodigestor proposto. Fonte: Medina, 2017

Resultados e discussão

Carga do protótipo proposto

Para a realização do ensaio do protótipo, a matéria – prima utilizada foi essencialmente constituída por resíduos de cozinha e também por cascas de banana. (Figura 4 a, b)



a)



b)

Figura 4. Matéria - prima utilizada. Fonte: Medina, 2017

A colheita dos resíduos de cozinha foi feita em locais distintos de forma a obter a maior diversidade possível, ao passo que as cascas de banana foram obtidas em mercados e em locais ao longo de vias públicas onde houvesse comercialização das mesmas, assim, as quantidades estipuladas. (Tabela 1).

Tabela 1.

Matéria - prima utilizada.

Resíduo	Quantidade
Cascas de banana	18 kg
Sobras de alimento	35 kg
Água	100 litros

O material orgânico acima mencionado teve de ser desfeito (triturado) em pequenas partes de forma a facilitar que os micro-organismos se possam alimentar das mesmas. Após a introdução do material orgânico, o protótipo foi selado hermeticamente, de maneira a evitar possíveis fugas de gás, estão de acordo com Pukasiewicz (2020) e Van (2021).

Operação do protótipo proposto

Após ter sido selado hermeticamente, o protótipo permaneceu no local durante um período de 15 dias, em seguida abriu-se a válvula de descarga do gás e começou-se a partir daí por um período de 7 dias a pesar diariamente a câmara de ar para determinar a massa de biogás (m_B). Desta forma, a massa de biogás produzida diariamente será a diferença entre a massa pesada diariamente (m_{PD}) e a massa da câmara de ar vazia (m_C), assim, equação 3:

$$m_B = m_{PD} - m_C \quad (3)$$

A evolução do processo de motorização da massa de gás produzida (Tabela 2)

Tabela 2.
Massa de gás produzido.

Dias	Massa da câmara de ar vazia (m_C) Kg	Massa pesada diariamente (m_{PD}) Kg	Massa de biogás Produzido (m_B) Kg
1	0,635	0,687	0,052
2	0,635	0,717	0,082
3	0,635	0,778	0,143
4	0,635	0,896	0,261
5	0,635	1,073	0,438
6	0,635	1,229	0,594
7	0,635	1,229	0,594

No gráfico 1 é apresentado o crescimento da massa de biogás produzido durante o tempo de retenção hidráulica da matéria – prima.

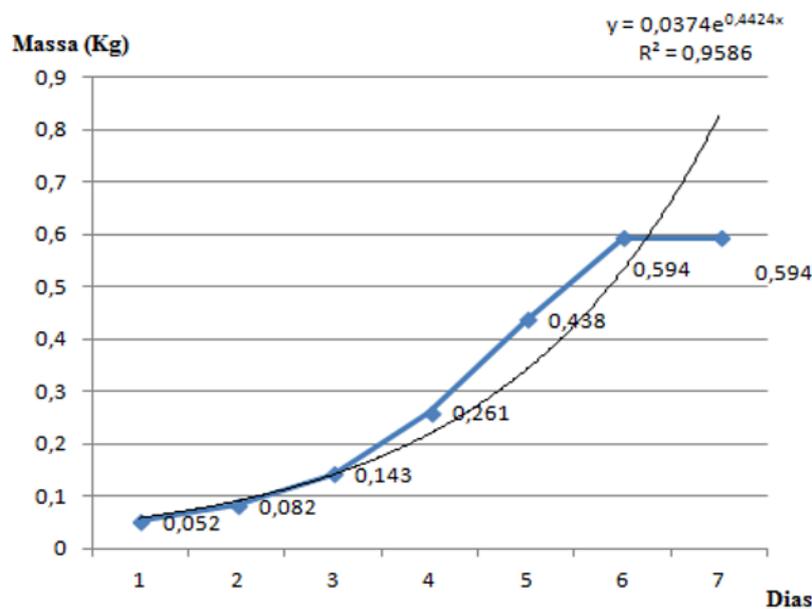


Gráfico 1. Comportamento da massa de biogás produzido

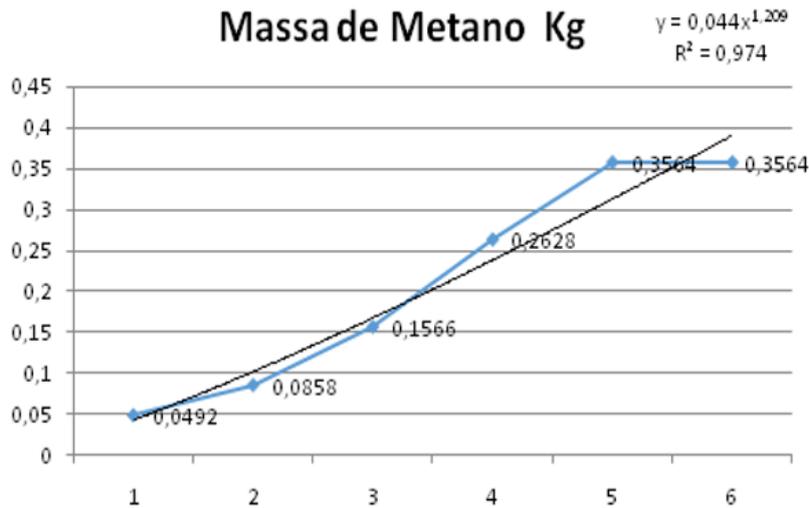
De acordo com a gráfica 1, vemos que a linha de tendência exponencial apresentou um melhor comportamento com valor de $R^2=0,9586$, que corresponde ao maior valor de massa de biogás produzido. Partindo da massa de biogás obtida e considerando a matéria – prima utilizada, considera-se que podemos obter uma percentagem de metano na ordem dos 60%, segundo Chanakya (2019), daqui podemos dizer que a massa de metano obtida é representada na tabela 3, no gráfico 2. Por outro lado, mediante a massa de metano obtida, podemos determinar o volume de metano obtido, ver gráfico 3, tomando como densidade do metano $0,717\text{Kg/m}^3$, mediante a equação 4:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Tabela 3.
Massa e volume de gás metano produzido.

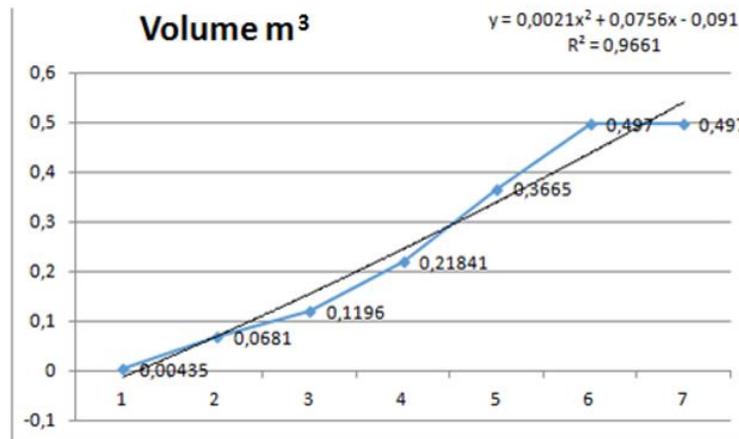
Dias	Massa de Metano Produzido (Kg)	Volume de Metano Produzido (m ³)
1	0,0312	0,00435
2	0,0492	0,0681
3	0,0858	0,1196
4	0,1566	0,21841
5	0,2628	0,3665
6	0,3564	0,4970
7	0,3564	0,4970

Onde se pode apreciar que a massa de metano produzida apresenta um comportamento linear, gráfica 2, onde a maior regressão está em $R^2=0,974$.



Gráfica 2. Comportamento da massa de metano produzido.

No caso do volumen, pode-se observar, ver gráfica 3, que a mesma se comporta de forma poligonal dado pela equação de regressão e o valor de $R^2=0,9661$.



Gráfica 3. Comportamento do volumen do gás metano produzido.

A utilização desse gás em larga escala permitiria que a humanidade reduzisse drasticamente o consumo de petróleo, sendo esta redução somada à não emissão directa na atmosfera do biogás se tornariam ferramentas contra o combate à emissão de gases de estufa e consequentemente mitigadoras do aquecimento global, estão de acordo o com Matos (2022).

Utilidades o biogás:

- No fogão;
- No aquecimento de água;
- Em motores térmicos;
- No lampião a gás
- Na substituição de energia eléctrica em equipamentos cujo tempo de funcionamento não é contínuo, como por exemplo na iluminação eléctrica.

Vantagens dos biodigestores

- Não implica altos custos com a sua operação;
- Dispensa o consumo de energia eléctrica, dado que dispensa o uso de bombas, motores, painéis eléctricos etc.
- Contribui para gerenciamento dos resíduos sólidos;
- Produz um biogás rico em metano, combustível de elevado poder calorífico, que pode ser recuperado para a produção de energia térmica e eléctrica;
- Os produtos gerados nesse processo (biogás e biofertilizante) substituem os derivados de petróleo, permitindo economia na obtenção de outras fontes de energia e fertilizantes químicos;
- Impede que os gases de efeito estufa, em especial o metano, seja libertado para a atmosfera;
- Minimiza gastos com a destinação de resíduos e contribui para o aumento da vida útil de aterros sanitários;
- Previne a libertação de odores e a proliferação de insectos;

Proposta do plano de Manutenção técnica

O correcto funcionamento de um biodigestor exige que se tenha de levar em consideração certos cuidados relativos ao seu manuseio. Assim, para cada período compreendido entre a introdução da matéria orgânica no biodigestor e a respectiva descarga, propõe-se o seguinte plano de manutenção, estão de acordo o com Jack (2019).



ORANGE JOURNAL

- Lavar o recipiente com bastante água de forma que os restos do material degradado que se encontram no interior do recipiente sejam expulsos para fora, procedimento este que faz-se com a válvula de descarga aberta.
- Verificar o possível entupimento das válvulas ou do canal de alimentação.
- Realizar teste de vazamento na válvula de descarga dos restos através da introdução de água até um nível acima da mesma.
- Revisão das uniões soldadas onde haja possibilidade de fugas de gás.
- Revisão da mangueira de forma a prevenir eventuais entupimentos ou vazamento de gás.

Proposta do sistema de protecção e higiene durante a instalação e funcionamento.

A falta de cuidado ao manusear um sistema de biodigestor durante o seu período de funcionamento pode causar variações bruscas na pressão interna dos mesmos, o que aumenta consideravelmente o risco de ocorrência de explosão. Dessa forma, propõe-se aqui as seguintes medidas:

- Utilizar um funil e luvas de borracha para realizar a operação de introdução do material a ser degradado, evitando dessa forma o desperdício do material a ser degradado.
- Em caso em que se tenha deixado cair o material a ser degradado, deve-se efectuar a devida limpeza, de formas a evitar o mau cheiro.
- Após carregado o sistema não deve-se abrir as válvulas nem provocar pancadas ou agitações bruscas do sistema.
- Evitar o uso de materiais que possam funcionar como fonte de calor e provocar a possível inflamação do gás.
- Instalar o biodigestor em local arejado.
- A descarga do material degradado deve ser feita em local seguro.

Análise económica do projecto

Analisar a os custos de um projecto significa estimar e analisar as perspectivas de desempenho financeiro do produto e dos associados resultantes do projecto. A mesma é realizada com os dados disponíveis até então na fase que antecede o seu desenvolvimento. Assim na tabela 4 são apresentados os custos relativos a construção do protótipo.

Tabela 4.

Aba planejados de custos

Material	Quantidade	Preço/Unidade (kzs)	Custo total (kzs)
Recipiente metálico	1	3.000,00	3.000,00
Válvula para colheita do biogás	1	1.000,00	1.000,00
Válvula para descarga dos produtos finais	1	1.900,00	1.900,00
Tubo PVC	3	400,00	1.200,00
Cotovelo 90°	3	200,00	900,00
Mangueira	1	500,00	500,00
Eléctrodo para soldadura	50	-	1.500,00
Silicone	3	600,00	1800,00
Barras de ferro	9	-	2.200,00
Braçadeira	2	100,00	200,00
Mão – de – obra	2	5.000,0	10.000,0
Fios de linho	3	250,00	750,00
TOTAL			24.950,00

Tal como pode ser visto através da tabela 4, os custos são relativamente baixos, o que permite considerar o projecto como sendo economicamente viável.



Conforme apresentado na tabela 3, com o protótipo, são produzidos 0,497 m³ de metano, suficiente para gerar o gás que é necessário em média para ser utilizado na confecção de alimentos durante um mês numa casa, com um custo total de 24.950,00 kzs, o que constitui menos da metade do salário médio do país estudado. Supondo que o protótipo tenha uma vida útil estimada de 3 anos, obtém-se uma economia de aproximadamente 39.850,00 kzs. Uma vez construído o protótipo, ele trabalhará com matéria-prima sem custo, sendo este único e exclusivamente desperdício alimentar.

Conclusões

Actualmente em Luanda, as taxas de produção de resíduos sólidos é muito alta, assim, a elaboração de legislação que obrigue alguns agentes comerciais, especificamente aqueles que geram grandes quantidades de resíduos com alta taxa orgânica a adotarem mecanismos que permitam a separação da fracção orgânica desses resíduos para posterior aproveitamento para a produção de biogás, evitando o desperdício dos mesmos e a contaminação do meio ambiente.

A construção do protótipo proposto, provou ser possível a produção de biogás, e assume-se como uma alternativa às fontes de energia renováveis, tendo em conta as inúmeras aplicações a que pode ser destinado. No presente trabalho verificou-se a produção de uma pequena quantidade de biogás, o que justifica-se na medida em que não era objectivo a produção de uma quantidade considerável de biogás, mas sim a demonstração da possibilidade e da viabilidade de produção de biogás utilizando o protótipo aqui apresentado.

É importante ressaltar aqui a simplicidade de instalação, manuseio e manutenção do protótipo de biodigestor proposto no presente trabalho, tornando desta forma a sua implementação e divulgação relativamente simples e proveito.

Referências bibliográficas

- Alvarez, J. (2022). Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. Cornwall: IWA Publishing.
- Barcelos, B. (2021). Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbica da fracção orgânica de resíduos sólidos orgânicos. (Dissertação de Mestrado do programa de tecnologia ambiental e recursos hídricos) da Universidade de Brasília, 90 p.
- Chanakya, H.N., Ramachandra, T.V., Guruprasad, M., & Devi, V. (2019). "Micro – treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas". *Environ Monit Assess*, 135, 115-121.
- Dixon, N. (2020). Removal of pathogenic organisms from the effluent of an upflow anaerobic digester using waste stabilization ponds, *Water Science Tech.*, 31.
- Gonçalves, S.C. (2020). Efeito da agitação mecânica na biodigestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 53p.
- Jack, M. (2019). "Desenho de Estruturas De Aço, Método LRFD". Segunda Edição. México: Alfaomega.
- Karlsson, T., Konrad, O., Lumi, M., Schmeier, N. P., Marder, M., Casaril, C. E., ... & Pedroso, A. G. (2022). Manual básico de biogás. 1ª ed. Univates: Lajeado.
- Matos, A. T. (2022). Tratamento de resíduos agroindustriais. Curso sobre tratamento de Resíduos Agroindustriais, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa.
- Medina, R. (2017). Projeto de um hidrociclone para produção de biodiesel. Projecto de fim de curso para obtenção do grau de Bacharelato em Engenharia Electromecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade Agostinho Neto. Angola.
- Nogueira, N. (2020). Biomassa Energética. Caracterização da Biomassa. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis.
- Oliveira, L.B., & Rosa, L.P. (2013). Brazilian waste potencial: energy, environmental, social and economic benefits. *Energy Policy*, 181-198.
- Pukasiewicz, S. R. (2020). Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma indústria processadora de soja. SP, Brasil: XI SIMPEP Bauru.



**ORANGE JOURNAL**

- Souza, C.E. (2019). “Biodigestor: limpeza do ambiente e rentabilidade, manual do ambiente”. São José do rio preto.
- Van, A. (2021). Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente, Epgraf, Campina Grande, 240 p.
- Venegas, M. (2004). Heat and mass transfer during absorption of ammonia vapour by $\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$ solution droplet. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(12-13), 2653-2667.

