



Avaliação do funcionamento de um biodigestor de baixo custo

Evaluation of the functioning of a low cost biodigester

Edcleiton José de Lima¹; Raquel Maria da Silva²; Raquel da Silva Teles³;
Fernando Ferreira da Silva Dias⁴

¹ORCID: 0000-0002-3635-1369; Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), BRAZIL, cley1020kj@gmail.com (autor para correspondência)

²ORCID: 0000-0002-5503-2072; Pós-Graduação em Produção Agrícola-PPGPA, bolsista da Fundação de Amparo do Estado de Pernambuco (FACEPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), BRAZIL, raquel.maria18@hotmail.com.

³ORCID: 0000-0001-5116-672X; Graduanda em Engenharia Agrônoma na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), BRAZIL, raquelteles2015@hotmail.com

⁴ORCID: 0000-0002-8292-683X; Professor. Dr. na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), BRAZIL, fernando.f.s.dias@gmail.com

Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 10 de junho 2020; Aceito em: 14 de julho de 2020; publicado em 20 de 10 de 2020. Copyright© Autor, 2020.

RESUMO: As ações antrópicas vêm acarretando sérios danos ao meio ambiente ao longo dos anos, como a poluição de fontes de águas subterrâneas e superficiais, derrubada de árvores e matas nativas e o descarte inadequado de esgotos e dejetos de animais. Um dos problemas mais recorrentes é a utilização de fontes não renováveis, pensando nessa problemática: novas tecnologias foram desenvolvidas, como os biodigestores. Foi elaborado um biodigestor com materiais de fácil aquisição na cidade de Garanhuns-PE, sua construção foi realizada na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco com objetivo de avaliar a adaptação desse sistema e otimizar os processos que ocorrem em seu interior. Após a montagem do sistema foram feitos ajustes de otimização para verificar vazamentos e possíveis correções no funcionamento do projeto piloto. Foram avaliados o tempo de retenção hidráulica (TRH), volume de carga diária (VC), temperatura interna e externa do sistema, cálculo da pressão interna do biodigestor juntamente com a quantidade de biogás, análise de nove sólidos e pH do esterco bruto diluído na proporção 2:1 e do biofertilizante. O tempo de retenção hidráulica (TRH) foi de 30 dias e o volume de carga diária ideal foi de um litro de esterco em diluição a cada dois dias, o pH do biofertilizante se estabilizou em 7.2 estando na faixa ideal, as temperaturas observadas foram de 25°C no interior do biodigestor e a média na pressão do sistema foi de 0,943 atm. Houve reduções significativas no teor de sólidos, principalmente os sólidos totais e voláteis que são os principais precursores do gás metano. O biodigestor foi avaliado durante 30 dias e a produção total de biogás foi de 18 L. Conclui-se que é um sistema viável, tanto de modo técnico quanto de modo econômico, podendo ser implementando em zonas rurais ou urbanas e ser adaptado para maiores escalas.

PALAVRAS-CHAVE: biofertilizante, biodigestão, biogás.

ABSTRACT: Human actions have caused serious damage to the environment over the years, such as the pollution of ground and surface water sources, the felling of trees and native forests and the inadequate disposal of sewage and animal waste. One of the most recurring problems is the use of non-renewable sources, considering this problem: new technologies have been developed, such as biodigesters. A biodigester was elaborated with materials of easy acquisition in the city of Garanhuns-PE, its construction was carried out at the Federal University of Agreste de Pernambuco in order to evaluate the adaptation of this system and to optimize the processes that occur inside. After setting up the system, optimization adjustments were made to check for leaks and possible corrections in the operation of the pilot project. The hydraulic retention time (HRT), daily load volume (VC), internal and external temperature of the system, calculation of the internal pressure of the biodigester together with the amount of biogas, analysis of nine solids and pH of the diluted raw manure were evaluated. 2: 1 ratio and biofertilizer. The hydraulic retention time (HRT) was 30 days and the ideal daily load volume was one liter of manure in dilution every two days, the pH of the biofertilizer stabilized at 7.2 being in the ideal range, the observed temperatures were 25°C inside the biodigester and the average system pressure was 0.943 atm. There were significant reductions in the solids content, mainly the total and volatile solids that are the main precursors of methane gas. The biodigester was evaluated for 30 days and the total biogas production was 18 L. We conclude that it is a viable system, both technically and economically, and can be implemented in rural or urban areas and be adapted to larger scales.

KEYWORDS: bio-fertilizer, biodigestion, biogas.

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental que acontece ao redor do mundo é resultado da rápida expansão das ações antrópicas, como a emissão de gases poluidores, derrubada de áreas florestais e a contaminação de águas pelo manejo inadequado de efluentes ou dejetos de animais, dentre outros fatores. A exploração de recursos naturais deve ser realizada de maneira consciente, visto que as mudanças acarretadas no meio ambiente são demasiadas graves e podendo ser irreversíveis, sendo necessário o desenvolvimento tecnológico, gerencial e institucional para que práticas sustentáveis sejam realizadas (FASOLIN et al., 2014).

Atualmente novas tecnologias estão sendo usadas para solucionar o uso de fontes não renováveis como os combustíveis fósseis, desta maneira constituem os biodigestores pois utilizam como fonte energética resíduos orgânicos e tem como produto resultante energia descentralizada (biogás) e adubos (biofertilizante) e contribuem para a redução de compostos nitrogenados e gases que acarretam o efeito estufa (ITO, 2016). A integração entre sustentabilidade e atividades agropecuárias é uma relação estreita que está sendo cada vez mais desenvolvida no âmbito rural, sendo assim sistemas como os biodigestores são desenvolvidos e a partir deles podem agregar valor aos dejetos que anteriormente seriam descartados de forma inadequada (QUADROS et al., 2015).

A utilização de biodigestores tem-se ampliado gradativamente, devido a diversos novos modelos que estão sendo implementados em ambientes rurais e caseiros, visando atingir desta forma as mais diversas camadas da população, sendo necessárias algumas adaptações dependendo de cada região, considerando o clima, temperaturas anuais, tipo e disponibilidade de insumos, etc (MATA-ALVAREZ et al., 2014). O biogás é o produto obtido após a decomposição da biomassa, porém sua completa e otimizada produção depende de diversos parâmetros como o pH, a temperatura do sistema, o tipo de dejetos utilizado, dentre outros (SOARES et al., 2017).

Sistema como os biodigestores apresentam viabilidade econômica, pois seus modelos podem ser adequados à condição de cada produtor e os recursos para manutenção e funcionamento provêm do próprio local, tendo como produto final energia e adubo (PASINI et al., 2019). A produção de biogás oriunda da biodigestão apresenta vantagens significativas em comparação com outras formas de energia (OLIVEIRA,

SOUZA & FRANCISCO, 2017). Portanto, o uso de biodigestores, além de agregar valor aos dejetos de animais, é uma fonte de energia limpa e renovável (SILVA et al., 2015).

Neste trabalho foram apresentados dados que comprovam que a utilização de biodigestores na cidade de Garanhuns-PE pode ser realizada tanto no meio rural quanto de forma caseira no meio urbano, elucidando que alguns ajustes devem ser realizados a fim de que possam ser otimizados para o melhor funcionamento de acordo com as características climáticas da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Biodigestor

O biodigestor foi elaborado e construído como um protótipo onde foram utilizados materiais de fácil aquisição encontrados na cidade de Garanhuns – PE com coordenadas geográficas “08°53’25” S; 36°29’34” O, e altitude média de 896 m com temperatura média de 21°C (CANUTO et al., 2019). A montagem foi realizada no Laboratório de Meio Ambiente da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco. Uma mistura com água e sabão foi utilizada nos orifícios do sistema para verificar vazamentos e para otimizar o sistema. Na Figura 1 observa-se o esquema simplificado do biodigestor, com entrada de esterco e saídas de gás e esterco líquido e sólido estabilizados.

Figura 1. Esquema simplificado do biodigestor.



Os parâmetros utilizados foram realizados por Oliveira (2004) no qual avaliou um biodigestor em funcionamento com esterco de suínos, sendo eles: a diluição 2:1 sendo uma parte de esterco para duas partes de água, o pH e temperaturas ideais, o Tempo de Retenção hidráulica (TRH) e o Volume de Carga Diária (VC), sendo este dado pela seguinte equação: $VC = \frac{VB}{TRH}$

Análise de pH

Após serem realizadas as recargas de 1 litro de dejetos bovinos diluído na proporção de 2:1 a cada dois dias no biodigestor, posteriormente são retiradas amostras de 30 gramas do biofertilizante e do esterco bruto em diluição para que sejam feitas as análises de pH e avaliadas de acordo com sua variação ou mudança no interior do sistema.

Cálculo da pressão interna do biodigestor

A pressão absoluta é calculada devido à diferença no nível de água entre a mangueira da câmara de ar e do selo d'água. A equação foi deduzida e a pressão medida regularmente, sendo encontrada a seguinte equação: $P_1 = P_2 + \rho g \Delta H$ (HALLIDAY & RESNICK, 2009). Após serem feitas as medições foi feita uma média dos valores.

ANÁLISE DE SÓLIDOS

O protocolo de análise de sólidos presente no Standard Methods (1998) determina como uma análise semiquantitativa, onde segue o padrão de filtragem, secagem, calcinação e pesagem, porém esta deve ser analisada de maneira crítica pois a relação com as partículas presentes ou a natureza química das amostras podem sofrer alterações e/ou perdas durante a execução do processo.

As nove frações de sólidos estão apresentadas nos métodos 2540 B, C, D e E do Standard Methods e estão separadas devido a sua capacidade volátil e ao tamanho das partículas. As frações de sólidos estão enumeradas a seguir:

- 1 – Sólidos totais (ST)
- 2 – Sólidos dissolvidos totais (SDT)
- 3 – Sólidos suspensos totais (SST)
- 4 – Sólidos fixos totais (SFT)
- 5 – Sólidos voláteis totais (SVT)
- 6 – Sólidos dissolvidos fixos (SDF)
- 7 – Sólidos dissolvidos voláteis (SDV)
- 8 – Sólidos suspensos fixos (SSF)
- 9 – Sólidos suspensos voláteis (SSV)

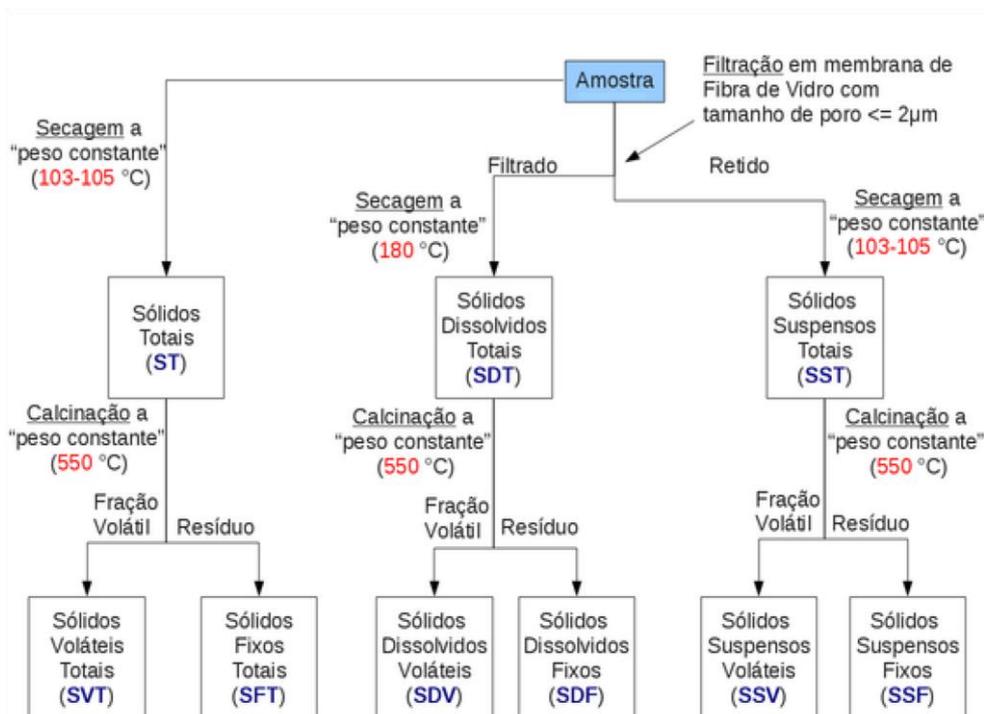
A quantificação de sólidos foi realizada com amostras de 30 gramas do biofertilizante e do esterco em diluição. Essas amostras foram postas em cadinhos e então colocadas no forno mufla à uma temperatura de 105°C por 2 horas e a diferença de peso entre elas é caracterizada como o teor de Sólidos Totais (ST), após esse processo a mesma amostra foi colocada sob 550°C por 30 minutos, onde ocorreu a calcinação a peso constante e obteve-se a fração volatizada que corresponde aos Sólidos Voláteis Totais (SVT) e a fração que ficou retida corresponde aos Sólidos Fixos Totais (SFT).

Para determinação dos Sólidos Dissolvidos (SD) foi realizada uma filtração das amostras em membrana de fibra de vidro com porosidade de 2 micrômetros, a parte filtrada é pesada e posteriormente colocada à 180°C por 1 hora e 30 minutos para obtenção dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). As amostras de Sólidos Dissolvidos Voláteis e (SDV) e Sólidos Dissolvidos Fixos foram determinadas à 550°C por 30 minutos.

A borra que fica retida no filtro foi pesada e posteriormente colocada sob temperatura de 105°C por 2 horas, dessa maneira obteve-se o teor de Sólidos Suspensos Totais (SST). A fração que corresponde aos Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e aos Sólidos Suspensos Fixos (SSF) foi caracterizada à 550°C como as frações já mencionadas acima.

Na Figura 2 pode ser observado o diagrama para análise de amostras. Dessa forma foram adquiridas as nove frações de sólidos para caracterização das amostras de entrada e saída do reator biológico.

Figura 2. Esquema das nove frações de sólidos presente no ensaio da “série de sólidos”.



Fonte: Standard Methods (1998)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após sua montagem foram calculados o Tempo de Retenção hidráulica que foi de 30 dias, o volume total do biodigestor é de 15 litros e a carga diária de abastecimento dada pela seguinte equação:

VC = Valor de Carga Diária (Matéria orgânica + água) (L/dia).

VB = Volume do Biodigestor (L).

TRH = Tempo de Retenção Hidráulica (dias).

Sendo: $VC = \frac{VB}{TRH}$

VC = 0,5 (L/dia).

Portando, as recargas foram realizadas a cada dois dias, sendo colocado 1 litro de diluição de esterco (33,34%) + água (66,66%) e coletadas amostras para análises de pH, temperatura e sólidos.

Decorrido 30 dias de funcionamento do biodigestor, sendo feitas agitações diárias, foram realizadas as primeiras recargas, a temperatura média ambiente foi de 21°C e a temperatura interna do biodigestor foi constante a 25°C, sendo inferior a temperatura recomendada por Gonçalves (2018) que avaliou o efeito da temperatura na produção de biogás, onde constatou que a temperatura de 31°C foi a mais eficiente no funcionamento de um biodigestor. A faixa ideal para produção de biogás é a mesófila que segundo Kunz et al.; (2019) o seu ponto ideal é de 37°C, valores abaixo ou acima podem prejudicar a produção de metano e também como elucida Kunz & Saqib (2016) parâmetros como a temperatura não obstante no seu ideal pode causar a dissociação da amônia e por consequência causar um efeito inibitório.

Na Tabela 1 observa-se que o pH do biofertilizante variou de ácido para próximo do neutro, estando na faixa ideal para o funcionamento dos organismos metanogênicos. Kunz et al.; (2019) verificaram que o pH ótimo para as bactérias metanogênicas varia de 6.7 à 7.5 e seu maior potencial é notado quando o pH torna-se próximo do neutro, porém pH abaixo de 6.7 pode comprometer seriamente a produção de gases, corroborando com o pH apresentado nesse trabalho, pois a partir da 11ª recarga o biofertilizante estabilizou com pH próximo a neutro.

Os solos brasileiros apresentam-se ácidos em sua maioria, desta forma o uso de biofertilizante com pH de 7,2 contribui para elevação do pH a fim de que se tenha um melhor desenvolvimento das plantas cultivadas. O biofertilizante fornece nutrientes para as plantas, melhora as características químicas e os atributos físicos do solo (ALENCAR et al., 2015). Além do nitrogênio, outros nutrientes como potássio, cálcio, fósforo e magnésio são encontrados no biofertilizante (MENDONÇA et al., 2016).

A variação de pH ocorreu devido ao acúmulo de ácidos orgânicos voláteis no biodigestor, provocando uma queda no pH e desestabilizando o funcionamento dos organismos responsáveis pela a biodigestão, porém o sistema restabeleceu o pH de modo gradativo, este efeito foi visto em estudos realizados por Vedrenne et al. (2008) no qual avaliou que a diluição do substrato adequada evita o acúmulo de amônia livre e de ácidos voláteis.

Tabela 1. Resultados do pH das amostras do biofertilizante e do esterco bruto (diluição).

Recargas	pH	
	Bruto (diluído)	Biofertilizante
1 ^a	7,2	6,6
2 ^a	7,3	6,6
3 ^a	7,2	6,6
4 ^a	7,1	6,6
5 ^a	7,4	6,6
6 ^a	7,8	6,6
7 ^a	7,9	5,9
8 ^a	7,8	5,9
9 ^a	7,5	6,3
10 ^a	7,6	6,8
11 ^a	7,8	7,2
12 ^a	7,9	7,2
13 ^a	7,7	7,2
14 ^a	7,9	7,2
15 ^a	7,9	7,2

O pH do biofertilizante era inicialmente levemente ácido na faixa de 6,6 e, posteriormente, houve uma queda para 5,9, esse declínio foi observado em estudos sobre digestão anaeróbica realizados por Aryal et al., (2018) que descreveu que a fase de hidrólise é caracterizada pela transformação dos resíduos por meio das bactérias hidrolíticas, após esse processo a fase acidogênese é a responsável pela fermentação desses compostos e formam os ácidos orgânicos e CO₂, fator que ocasionou a queda do pH no interior do biodigestor (pH<7), posteriormente nas fases de acetogênese e metanogênese, respectivamente, houve o aumento gradual do pH.

A segurança do sistema deve ser monitorada, como exemplifica Konrad et al. (2016) que descreveu o deslocamento do fluido no tubo em U, avaliando a produção de gases em conjunto com a pressão em seu interior, da mesma forma foram realizadas as medições da pressão interna do biodigestor e calculada de acordo com o deslocamento que houve entre às mangueiras da câmara de ar e do selo d'água, os valores encontrados dos deslocamentos diários foram anotados e então uma média de 0,943 atm foi obtida.

O volume de biogás produzido em um mês foi de 18 litros, estimativa também avaliada por Galbiatti et al. (2010) em um estudo com biodigestores do tipo batelada no qual produziu biogás a partir de esterco bovino e obtendo-se que após 30 dias de operação produziu 50% de gás metano. Os dejetos de animais produzem em média de 50% a 80% de gás metano (MOURA et al., 2017), desta forma a produção média de gás metano foi estimada em 9L. A relação entre o volume de substrato e o volume de gás metano em litros (L) foi de 377 L/m³, valor inferior ao encontrado por Matos (2016) no qual constatou que biodigestores com esterco bovino a relação é de 500 L/m³, porém em diferentes condições experimentais.

Pode ser observado na Tabela 2 que os sólidos suspensos voláteis (SSV) ocorre uma diminuição de 3,97% para 0%, indicando que após 30 dias de digestão ocorreu a biodigestão dos materiais, culminando na estabilização do material final. Isso também foi observado pelo aroma do esterco, que praticamente não se sentia no material estabilizado. As análises de sólidos foram realizadas com as amostras do biofertilizante e do esterco bruto em diluição (Tabela 2) e foram retiradas de acordo com o cronograma que foram feitas as recargas.

Os teores de sólidos voláteis totais (SVT) conferem a produção de gases resultantes da biodigestão anaeróbica, essa transformação foi notada após o período de retenção hidráulica de 30 dias, verificando uma redução de 18,40% de SVT presente na fração bruta para menos de 1% na fração estabilizada. Em um estudo com gado leiteiro realizado por Fernandes (2016) o autor obteve valores bem próximos para esta variável, onde foi verificado uma diminuição de 18,18% a 19,13% na redução de sólidos voláteis totais.

Os sólidos totais presentes antes da biodigestão juntamente com os sólidos voláteis são convertidos em biogás logo após sua entrada no reator anaeróbico, esse processo pode ser notado na significativa redução destes sólidos, onde Orrico et al. (2016) em um estudo com dejetos bovinos quantificou reduções nos ST e SV para obtenção de biogás.

Os valores de pH estão diretamente ligados a produção de biogás, pois a redução de sólidos totais resulta em um substrato com pH mais ácido, como foi verificado na redução de 19,35% de sólidos totais para valores inferiores a 2%, em contraste com valores de pH de 5,9 à 7,2, concordando com estudos de Cantrell et al. (2008) que

estudou a relação de sólidos totais com os valores de pH, constatando que quanto maior o teor de ST o pH do substrato tinha caráter ácido.

Os teores de ST e SV presentes nesse trabalho obtiveram reduções significativas e o resultado foi a produção de biogás, os valores encontrados nesse trabalho foram de 19,35% e 18,70% respectivamente, resultados semelhantes foram encontrados por Amaral et al. (2004) que estudou um biodigestor de modelo indiano onde constatou os valores de 24,47% de ST e 26,49% de SV, sendo posteriormente transformados em biogás por meio da biodigestão.

As frações orgânicas que serão volatizadas no interior do biodigestor são os sólidos voláteis, que estão presentes nas frações de sólidos totais (ST) e sólidos fixos (SF), desta maneira constituem um dos principais parâmetros para estimar a produção de gás metano, uma vez que fatores relevantes como o pH e a temperatura não estão nos parâmetros propostos afetam a produção da fração volátil, portanto a produção de biogás tende a diminuir. Desta forma os valores encontrados nesse trabalho estão dentro das frações elucidadas por Bulhões e Mussolin (2016) que definiu que os teores de sólidos voláteis são resultantes de processos fermentativos, concluindo que quanto maior a biomassa, maior a formação de sólidos, e conseqüentemente, ocorre uma maior produção de biogás.

Tabela 2. Análises de sólidos no decorrer de 30 dias de biodigestão.

Sólidos	Percentual de sólido de acordo com as recargas (%)															
	Bruto	Dias de análise														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
ST	19,35	0,65	1,26	0,87	0,61	0,47	0,83	0,86	0,8	0,49	0,64	0,56	0,76	0,81	0,70	0,4
SVT	18,7	0,38	0,99	0,59	0,38	0,31	0,46	0,63	0,50	0,31	0,38	0,33	0,41	0,40	0,50	0,3
SFT	0,65	0,27	0,27	0,28	0,22	0,15	0,37	0,23	0,20	0,18	0,26	0,23	0,35	0,41	0,20	0,1
SDT	0,48	0,36	0,54	0,46	0,36	0,25	0,39	0,60	0,40	0,02	0,37	0,26	0,34	0,79	0,50	0,0
SDV	0,34	0,22	0,42	0,3	0,26	0,17	0,24	0,44	0,30	0,01	0,23	0,11	0,24	0,44	0,20	0,0
SDF	0,14	0,14	0,12	0,15	0,09	0,08	0,15	0,16	0,20	0,01	0,14	0,15	0,1	0,35	0,30	0,0
SST	4,37	0,17	0,77	0,33	0,11	0,02	0,18	0,13	0,10	0,05	0,12	0,02	0,18	0,09	0,10	0,0
SSV	3,97	0,05	0,73	0,12	0,06	0,01	0,03	0,03	0,10	0,01	0,08	0,01	0,04	0,03	0,10	0,0
SSF	0,41	0,13	0,04	0,21	0,05	0,01	0,15	0,1	0,10	0,04	0,04	0,01	0,14	0,06	0,10	0,0

ST – Sólidos totais; SVT – Sólidos voláteis totais; SFT – Sólidos fixos totais; SDT – Sólidos dissolvidos totais; SDV – Sólidos dissolvidos voláteis; SDF – Sólidos dissolvidos fixos; SST – Sólidos suspensos totais; SSV – Sólidos suspensos voláteis; SSF – Sólidos suspensos fixos

O uso de biodigestores caseiros de pequeno porte podem ser adaptados para diferentes regiões levando em consideração a condição social dos indivíduos, partindo desta premissa, Santos et al. (2017) propôs um modelo indiano de biodigestor de pequeno porte, construído com materiais de baixo custo e de forma simples e prática, no qual demonstrou eficiência e viabilidade e que os custos para a implementação e manutenção desse sistema se torna irrisório frente aos benefícios por ele apresentado.

A melhor forma de desenvolver novas tecnologias que sejam voltadas para o uso de biodigestores é por meio de pesquisas como elucida Kretzer et al. (2015) que avaliou a criação e adaptação desses sistemas no meio acadêmico de modo que seja estimulado o uso de fontes renováveis no meio urbano e rural. O protótipo apresentado possui as características propostas por Aquino et al. (2014) que utilizou biodigestores de pequena escala como modelo extensionista e com um custo total de 100 reais, constatando que deve haver acessibilidade para que a sociedade tome conhecimento do uso e dos seus benefícios, gerando economia, renda e ao mesmo tempo contribuindo para o meio ambiente.

É importante salientar os aspectos ambientais, onde os resíduos ambientais são diminuídos de maneira significativa no reaproveitamento de resíduos rurais para produção de biogás e insumos como o adubo orgânico. Tendo o produtor do sítio ou fazenda vantagens, já que o custo da construção do sistema para o dimensionamento utilizado no estudo em painel foi de R\$ 120, e o preço comercial do gás de 13kg hoje é de R\$ 60.

CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade, tanto técnica como econômica, para incrementar um biodigestor de pequena escala no meio rural ou de forma caseira. A produção de biogás foi de 18L sendo aproximadamente 9L de metano. E ainda levando em consideração as vantagens ambientais e produtivas. Desta forma, torna-se viável e prático a construção de um sistema de biodigestor, podendo ser adaptado para maiores escalas.

REFERÊNCIAS

1. ALENCAR, Tiago Leite et al. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 39, n. 3, may/june, 2015.
2. AMARAL, Cecília Maria Costa do et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Ciência Rural*. vol. 34, n.6, p.1897-1902, nov-dez, 2004.
3. AQUINO, Gerismar Tomaz et al. O uso do biogás no âmbito rural como proposta de desenvolvimento sustentável. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*. Vol. 5, n.1, p. 140-149, jan-jun, 2014
4. ARYAL, Nabin et al. An overview of microbial biogas enrichment. *Bioresource Technology*, v. 264, p. 359–369, june, 2018.
5. BULHOES, R.; MUSSOLIN, W. *Potencial regional de produção de biogás no Paraná. Agricultura e agronegócio paranaense*. Apucarana: Fecea. 2016.
6. CANTRELL, Keri B et al. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology*, Essex, v.99, n.17, p.7.941-7.953, nov, 2008.
7. CANUTO, Crislany et al. Biochar e esterco bovino aumentam a eficiência no uso de água da alfaca. *Diversitas Journal*. Vol 4, n. 3, Pág, 1084, set-dez, 2019.
8. FASOLIN, Luiza Betânia; KAVESKI, Itzhak David Simão; CHIARELLO, Tânia Cristina, MARASSI, Rodrigo Barraco; HEINN, Nelson. Relação entre o Índice de Sustentabilidade e os Indicadores Econômico-financeiros das empresas de energia brasileiras. *Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET)*. v. 18, n. 2. Mai-Ago, p. 955-981, 2014.
9. FERNANDES, Álvaro José. *Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos*. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
10. GALBIATTI, João A. et al. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.4, p.432–437, april, 2010.

11. GONÇALVES, Maria Nalesso. *Os efeitos da temperatura na produção de biogás em biodigestores*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
12. ITO, Minoru; GUIMARÃES, Diego Duque; AMARAL, Gisele Ferreira. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. *BNDES Setorial*. n. 44 , p. 125-156, set. 2016.
13. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
14. KONRAD, Odorico et al. Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro - industrial wastes in a large scale demonstration plant. *Acta Scientiarum Technology*. v. 38, n.4, p. 415 - 421, oct-dec, 2016.
15. KRETZER, Stéfano Gomes et al. Educação ambiental em gestão de resíduos e uso de biodigestor em escola pública de Florianópolis. *Revista Eletrônica de Extensão*. Vol 12, n. 19, pág. 2-15, 2015.
16. KUNZ, Airton et al. *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. Concórdia: Sbera, 2019.
17. KUNZ, Airton; MUKHTA, saqib. Hydrophobic membrane technology for ammonia extraction from wastewaters. *Engenharia Agrícola*, v. 36, n. 2, p. 377-386, mar-abr, 2016.
18. MATA-ALVAREZ, J. et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 36, p. 412-427, augut, 2014.
19. MATOS, Camila Ferreira. *Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção*. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração Sistemas Agrícolas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.
20. MENDONÇA, Henrique Vieira et al. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. *Agronegócio e Meio Ambiente*. Vol.9, n. 4, pag. 973-987, Jan, 2016.
21. MOURA, Renan Souza et al. Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais. *ForScience: revista científica do IFMG*. V. 5 , n. 3 , jul./dez. 2017.

22. OLIVEIRA, Leandro, Gasparello et al. Tratamento de dejetos suínos: oportunidades de conversão em energia. *Gestão Industrial*. V. 13, n. 3, p. 22-36, set./nov. 2017.
23. OLIVEIRA, Paulo Armando V. de et al. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas praticas*, EMBRAPA:SANTA TEREZA, 2004.
24. ORRICO, Ana C. A. et al. Codigestão anaeróbia dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. V. 36, n. 3, pag 537-545, mai-jun, 2016.
25. PASINI, Fernando et al. Viabilidade de implantação de um biodigestor em uma granja de suínos. *Holos Environment*. Vol. 19, n. 1, p. 60-9, abril, 2019.
26. QUADROS, Danilo Gusmão et al. Análise econômica do biodigestor para aproveitamento dos dejetos da caprinocultura na agricultura familiar nordestino. *Energia na Agricultura*. Vol 30, n 1, pag 01-10, jan-março, 2015.
27. SANTOS, Sidney José. et al. Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar. *PUBVET – Medicina Veterinária e Zootecnia*. v.11, n.3, p.290-297, Mar, 2017.
28. SILVA, Francisco Felipe Maia et al. Implicações e possibilidades para o ensino a partir da construção de biodigestor no IFRN – Campus Apodi. *HOLOS*, Vol 6, n 31, pag 315-327, nov, 2015.
29. SOARES, Carla Monique Tietz; FEIDEN, Armin.; TAVARES, Sidnei Gregório. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. *Pesquisas Agrárias e Ambientais, Nativa*. Vol.5, p.522-528, dez, 2017.
30. STANDARD METHODS. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20a ed. 1998.
31. VEDRENNE, F. et al. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. *Bioresource Technology*. Vol.99, n.1, p.46-155, Jan, 2008.