

Santos, CAAS, Cutrim Jr, CF, Oliveira, LL, Silva, PHF, Maia, ICCD, Nascimento, BLM, Serra, MAAO & Façanha Filho, PF (2020). Anaerobic biodigester for sustainable biogas production on a rural property in the city of Açailândia, Maranhão, Brazil. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-25, e362974262.

Biodigestor anaeróbio para produção sustentável de biogás em propriedade rural da cidade de Açailândia, Maranhão, Brasil

Anaerobic biodigester for sustainable biogas production on a rural property in the city of Açailândia, Maranhão, Brazil

Biodigestores anaeróbios para la producción sostenible de biogás en una propiedad rural en la ciudad de Açailândia, Maranhão, Brasil

Recebido: 06/05/2020 | Revisado: 07/05/2020 | Aceito: 08/05/2020 | Publicado: 17/05/2020

Carlos Alberto Andrade Serra dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2436-3677>

Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Centro de Ciências Humanas Sociais Tecnologias e Letras, Universidade Estadual da Região

Tocantina do Maranhão, Brasil

Faculdade de Imperatriz Wyden, Brasil

E-mail: alberto.quimico@yahoo.com.br

Cledson Ferreira Cutrim Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1358-6795>

Centro de Ciências Humanas Sociais Tecnologias e Letras, Universidade Estadual da Região

Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: cledsoncutrim@hotmail.com

Lohana Lima Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4825-8759>

Centro de Ciências Humanas Sociais Tecnologias e Letras, Universidade Estadual da Região

Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: lohana9812@gmail.com

Paulo Henrique Freitas da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-916X>

Centro de Ciências Humanas Sociais Tecnologias e Letras, Universidade Estadual da Região

Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: paulopank16@gmail.com

Ismalia Cassandra Costa Dias Maia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9203-0869>

Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Programa de Pós-Graduação em Saúde e Tecnologia, Centro de Ciências Sociais, Saúde e
Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: ismalia.dias@ufma.br

Bruno Lucio Meneses Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7196-6502>

Centro de Ciências Humanas Sociais Tecnologias e Letras, Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: brunoimpma@hotmail.com

Maria Aparecida Alves de Oliveira Serra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0952-9560>

Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Programa de Pós-Graduação em Saúde e Tecnologia, Centro de Ciências Sociais, Saúde e
Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: cidinhaenfauhc@yahoo.com.br

Pedro de Freitas Façanha Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4979-7287>

Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: freitasfacanha@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo, a construção e implantação de um biodigestor anaeróbio de biomassa economicamente viável para a produção sustentável de biogás e biofertilizante natural, em uma propriedade rural no município de Açailândia-MA. A estimativa de geração de biogás foi baseada no percentual de sólidos voláteis da biomassa (esterco bovino) usada. Obteve-se geração diária de 300 Kg de esterco. Foi utilizada a metodologia gravimétrica para o cálculo percentual dos sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos. Foi calculada a carga orgânica do biodigestor, a estimativa do tempo de chama, tempo de luz e redução de tarifa energética. O sistema foi montado utilizando materiais de baixo custo. A produção de metano de 0,361 m³/dia, sendo possível manter a chama de um fogão doméstico em funcionamento por 49 min/dia ou utilizado para gerar aproximadamente 2,33 kW/h por dia ou manter uma

lâmpada a biogás acesa por 5h e 27 min/dia, podendo também estar obtendo uma economia na conta de energia de R\$ 1,30/dia. Além do gás, o processo de metanização do esterco bovino gerou um biofertilizante natural, que pode ser comercializado ou mesmo utilizado pelo proprietário do biodigestor. A queima direta do gás logo após a geração é benéfica, pois se trata de uma combustão completa, gerando apenas água e dióxido de carbono, bem menos poluente que o metano. A utilização de biodigestores e a metanização, são alternativas de substituição do gás liquefeito de petróleo, podendo possivelmente suprir a demanda de energia elétrica ou térmica e ainda reduzir de custos nas comunidades e empreendimentos rurais.

Palavras-chave: Biodigestão; Biofertilizante; Metanização.

Abstract

This work had as objective, the construction and implantation of an economically viable biomass anaerobic digester for the sustainable production of biogas and natural biofertilizer, in a rural property in the municipality of Açailândia-MA. The biogas generation estimate was based on the percentage of volatile solids in the biomass (bovine manure) used. A daily generation of 300 kg of manure was obtained. The gravimetric methodology was used to calculate the percentage of total solids, volatile solids, and fixed solids. The organic load of the biodigester was calculated, the estimated flame time, light time, and reduced energy tariff. The system was assembled using low-cost materials. Methane production of 0.361 m³/day, making it possible to keep the flame of a domestic stove in operation for 49 min/day or used to generate approximately 2.33 kW/h per day or to keep a biogas lamp on for 5h and 27h min/day, and may also be saving R \$ 1.30/day on the energy bill. In addition to gas, the process of methanization of cattle manure generated a natural biofertilizer, which can be commercialized or even used by the owner of the biodigester. Direct burning of the gas right after generation is beneficial, as it is complete combustion, generating only water and carbon dioxide, much less polluting than methane. The use of biodigesters and methanization are alternatives for replacing liquefied petroleum gas, which can possibly supply the demand for electrical or thermal energy and also reduce costs in communities and rural enterprises.

Keywords: Biodigestion; Biofertilizer; Methanization.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo, la construcción e implantación de un digestor anaeróbico de biomasa económicamente viable para la producción sostenible de biogás y biofertilizante

natural, en una propiedad rural en el municipio de Açailândia-MA. La estimación de la generación de biogás se basó en el porcentaje de sólidos volátiles en la biomasa (estiércol bovino) utilizada. Se obtuvo una generación diaria de 300 kg de estiércol. Se utilizó la metodología gravimétrica para calcular el porcentaje de sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos fijos. Se calculó la carga orgánica del biodigestor, el tiempo estimado de la llama, el tiempo de luz y la tarifa energética reducida. El sistema fue ensamblado con materiales de bajo costo. Producción de metano de 0.361 m³/día, lo que permite mantener en funcionamiento la llama de una estufa doméstica durante 49 min/día o generar aproximadamente 2.33 kW/h por día o mantener encendida una lámpara de biogás durante 5h y 27h min/día, y también puede estar ahorrando R\$ 1,30/día en la factura de energía. Además del gas, el proceso de metanización del estiércol del ganado generó un biofertilizante natural, que puede ser comercializado o incluso utilizado por el propietario del biodigestor. La combustión directa del gas inmediatamente después de la generación es beneficiosa, ya que es una combustión completa, que genera solo agua y dióxido de carbono, mucho menos contaminante que el metano. El uso de biodigestores y la metanización son alternativas para reemplazar el gas de petróleo licuado, que posiblemente puede abastecer la demanda de energía eléctrica o térmica y también reducir los costos en comunidades y empresas rurales.

Palabras clave: Biodigestion; Biofertilizante; Metanización.

1. Introdução

Os indicadores tecnológicos de produtividade e eficiência dos sistemas de produção aumentaram significativamente nas últimas décadas e, como resultado desse aumento na produção, ocorre exaustão do solo e dos recursos hídricos.

O ser humano sempre busca novos métodos e tecnologias que possam fornecer energia com menores impactos ambientais, assim, resíduos como estrume de gado, restos de comida, folhas de poda de árvores são produzidos em larga escala diariamente, o que suscita preocupações sobre o descarte de resíduos de instalações animais, uma vez que são potenciais poluidores quando descartados em cursos de água ou diretamente na água (Pereira *et al.*, 2018a).

O tratamento adequado para cada tipo de resíduo é uma forma eficiente para preservação de meio ambiente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) lei 12.305/10 dispõe como prioridade a não geração dos resíduos, além disso, ela implica em reuso e reciclagem de forma que sejam excluídos apenas os rejeitos (Neto & Moreira, 2010).

Rejeito é o resíduo que depois de esgotado todas as possibilidades de tratamento e reuso, não é mais economicamente e ambientalmente viável, só restando disposição final ambientalmente adequada (Vansetto & Ghisi, 2019).

Dos resíduos urbanos sólidos totais no Brasil, cerca de mais de 50% correspondem a resíduos orgânicos segundo a caracterização nacional de resíduos, publicada no Plano Nacional de Resíduos Sólidos em sua versão preliminar (Gomes *et al.*, 2014). Assim, a digestão anaeróbia como alternativa de tratamento biológico do resíduo orgânico, torna-se altamente viável no Brasil (Cruz *et al.*, 2019).

O biodigestor se apresenta como uma possibilidade para a fermentação anaeróbia, com capacidade de reduzir concentração de matéria orgânica (Bezerra *et al.*, 2014), permitindo valorizar um produto energético, o biogás, e obter um fertilizante cuja disponibilidade contribui para a rápida amortização dos custos de tecnologia instalada (Dotto & Wolff, 2012; Neto *et al.*, 2010).

A biomassa passa por uma fermentação anaeróbica, ocasionando um processo natural no qual microrganismos produzem o biogás (Gênero *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2015). Esse processo de biodigestão anaeróbia é realizado por diferentes microrganismos (Baldacin & Pinto, 2015) que naturalmente habitam o interior do estômago de animais, principalmente ruminantes.

As bactérias presentes atuam transformando compostos orgânicos complexos como proteínas e lipídios em compostos mais simples como dióxido de carbono (CO₂) e gás metano (CH₄). Esse processo é feito em quatro etapas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Pereira *et al.*, 2018).

O biogás é uma mistura de vários gases, mas os principais componentes são o gás carbônico e gás metano com concentrações de 40% e 60% da mistura respectivamente (Molino *et al.*, 2013).

A qualidade do gás proveniente da biodigestão anaeróbia é dependente da quantidade de metano em sua composição. Entre os gases presentes de forma minoritária do biogás destacam-se o gás nitrogênio (N₂) (0 a 7%), gás hidrogênio (H₂) (0 a 1%), amônia anidra (NH₃) (0 a 1%), gás oxigênio (0 a 2%) e gás sulfídrico (H₂S) (0 a 3%) (Pereira *et al.*, 2018).

No Brasil, o maior percentual dos biodigestores encontra-se em áreas rurais. O CH₄ que é liberado pelo processo de decomposição do esterco bovino é 12 vezes mais poluente que o CO₂, ao utilizar esse biogás para outros fins, minimiza-se sua liberação no ambiente, contribuindo com as metas de redução de gases poluentes emitidos na atmosfera (dos Santos & de Nardi Junior, 2013).

As principais vantagens dos mesmos são a degradação da matéria orgânica animal, redução de patógenos e coliformes, eliminação de odores, o uso do biogás gerado e do lodo gerado como biofertilizante (Pereira *et al.*, 2018). O esterco bovino é um dos compostos com maior eficiência para obter biofertilizante, pois já está associado à matéria orgânica com uma carga de microrganismos e bactérias decompositoras (Silva *et al.*, 2012).

O presente trabalho teve como finalidade construir um biodigestor para a produção de biogás e biofertilizante natural utilizando esterco bovino onde este fosse economicamente viável por fazer uso de materiais reutilizáveis, como alternativa para o descarte inadequado do esterco bovino e redução da emissão de gases poluentes em uma pequena propriedade rural na cidade de Açailândia – MA.

2. Metodologia

2.1 Design do estudo

Trata-se de um estudo descritivo exploratório com abordagem quantitativa com viés qualitativo como preconiza Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka (2018) que ocorreu na área rural em um município do nordeste brasileiro.

2.2 Quantificação da amostra

Os dados da quantidade de bovinos e geração de esterco foram obtidos em uma pequena propriedade rural localizada no município de Açailândia, fornecidos diretamente através de uma entrevista com roteiro semiestruturado com o proprietário e coleta de amostras *in situ*. No local do estudo existiam de 30 cabeças de gado, criados no método de pastagem.

2.3 Quantificação da geração de Biogás

A estimativa da quantidade de gás a partir da concentração de sólidos voláteis (SV) reduzida é um método bastante usado. A concentração de SV varia de acordo com o substrato seja ele vegetal ou animal, o teor de SV em bovinos leiteiros é de 33,17% dos sólidos fixos (Amaral *et al.*, 2004). Assim, uma tonelada de sólidos voláteis é capaz de produzir em média 400 m³ de CH₄ (Bahr *et al.*, 2006). Para determinação de produção de biogás utilizou-se a equação 1 abaixo:

$$X = \frac{SVa \times 400}{1000} \quad (1)$$

Onde:

SVa = Quantidade de Sólidos voláteis da amostra analisada;

X = Quantidade em m³ gerada diariamente.

2.4 Estimativa de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV)

Para a quantificação de ST, SF, SV fez-se uso da metodologia gravimétrica, presente na ABNT/NBR 10664(1989) (ABNT, 1989; Slapnig *et al.*, 2018). Para determinação de sólidos totais utilizou-se a equação 2 abaixo:

$$ST \% = \frac{(MS-MR) \times 1000}{VA} \quad (2)$$

Onde:

ST = Sólidos Totais em mg/L;

MS = Massa de amostra Seca em mg;

MR = Massa do recipiente em mg;

VA = Volume da amostra mL.

Para determinação de sólidos fixos, utilizou-se a seguinte equação 3:

$$SF \% = \frac{(MC-MR) \times 1000}{VA} \quad (3)$$

Onde:

SF = Sólidos Fixos em mg/L;

MS = Massa da amostra seca;

MR = Massa do recipiente em mg;

VA = Volume da amostra mL.

Para determinação dos sólidos voláteis utilizou-se a equação 4 abaixo.

$$SV \% = \frac{(ST-SF) \times 1000}{VA} \quad (4)$$

Onde:

SV = Sólidos voláteis;

ST = Sólidos Totais;

SF = Sólidos fixos;

VA = Volume da amostra em mL.

2.5 Potencial energético do biogás

O biogás no processo de queima possui alto poder calorífico e por ser um processo de combustão completa libera grande quantidade de energia. Esse processo é denominado de poder de queima.

Uma vez eliminado todo o gás carbônico do gás, seu poder calorífico pode chegar aproximadamente 12.000 kcal/m³ (Vieira *et al.*, 2016). O biogás terá um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 KWh/m³ de acordo com o percentual de metano presente na mistura, de 50 a 80%.

Portanto o potencial de geração do biogás é de em média aproximadamente 6,45 KWh/m³ sendo que para gases tratados esse valor sobe para 9,5 KWh/m³ (Coldebella *et al.*, 2008). Para obtenção do potencial energético do biogás, utilizou a seguinte equação 5 abaixo.

$$E = \frac{MG \times 6,45}{1} \quad (5)$$

Onde:

MG = Quantidade de metros cúbicos (m³) de CH₄ gerados no biodigestor;

E = Quantidade de energia em KWh/m³ que será gerada.

2.6 Escolha do modelo e sistema de digestão

A escolha do melhor método de utilização é importante e leva em consideração diferentes fatores tais como os sólidos totais do composto, o substrato a ser utilizado no biodigestor, o tratamento que esse substrato já foi submetido, as substâncias ingeridas anteriormente pelos animais nos quais disponibilizaram esse resíduo e o custo do projeto.

Os custos para implantação do biodigestor são variados, pois o processo pode ser contínuo ou batelado (descontínuo). O processo batelado perde cerca de 20 a 30% de

eficiência se comparado ao modelo contínuo, por ter uma menor quantidade de mistura e pela necessidade de abertura do reator para realimentação (Rodrigues *et al.*, 2015).

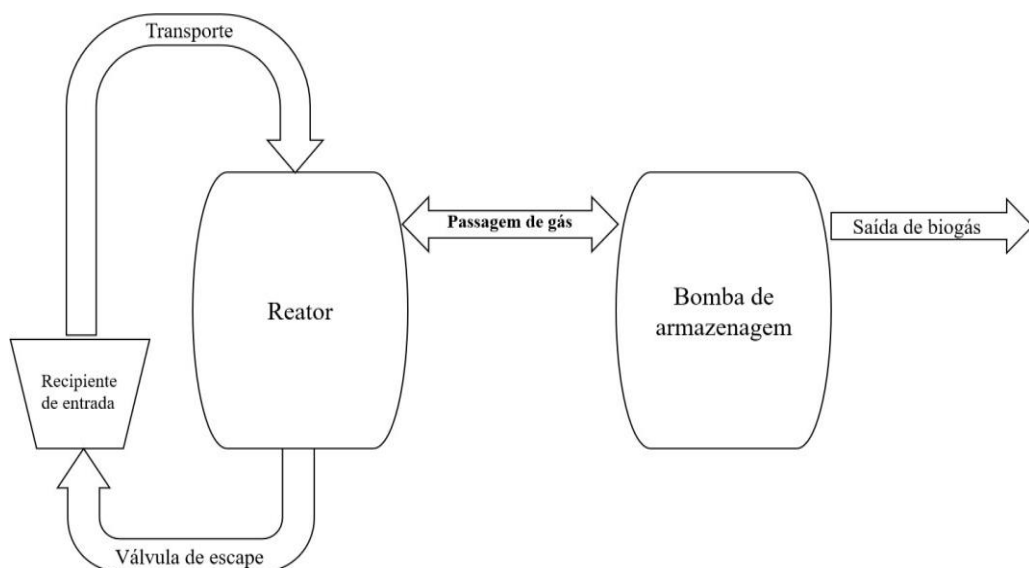
No método de pastagem o esterco do gado entra em contato direto com o solo, podendo assim na coleta conter partículas de outros materiais. É importante que o resíduo não apresente impurezas, tais como, areia, metais, pedras, pedaços de madeira, materiais plásticos, que podem desgastar o reator, entupir o sistema e formar camadas de espuma (Silva *et al.*, 2019).

Para melhor adaptação ao uso do esterco bovino, o sistema de conter uma fase de entrada, que é o reservatório onde, inicialmente será feita a homogeneização do substrato com água, com proporção de 60% de água e 40% de esterco.

O tanque, reator ou biodigestor possui duas bombas, a primeira onde ocorrem todas as etapas da degradação da matéria e geração do biogás de forma anaeróbia, e a segunda utilizada para armazenagem do biogás. No primeiro compartimento é diluído o substrato com água e feito a homogeneização, até a formação de uma substância pastosa, o tanque será batelado de ordem descontínua (Figura 1).

A válvula de escoamento é o registro acoplado na parte inferior lateral do primeiro tanque, onde ocorrerá o processo de fermentação do esterco bovino. A retirada de material deve se feita a cada 40 dias, evitando a aglutinação do material formando uma bola espessa que prejudica o funcionamento do reator. A quantidade retirada deve ser reposta na mesma proporção (Xavier & Lucas Júnior, 2010).

Figura 1- Esquema do sistema de biodigestão.



Fonte: Autor.

A Figura 1 acima mostra de forma simplificada o sistema do biodigestor que possui recipiente de entrada onde ocorre a homogeneização do substrato, válvula de escape onde ocorre o processo de fermentação e o reator que é conectado a bomba de armazenagem que permite a retirada o biogás.

2.7 Carga orgânica do biodigestor

A carga orgânica do biodigestor vai variar de acordo com o tamanho do reator e material utilizado, pois cada composto pode gerar diferente quantidade de gás. Para esterco bovino a quantidade de espaço livre dentro do reservatório de produção anaeróbia é de 28%, dos 72% restantes deve-se destinar a matéria orgânica e água (Xavier & Lucas Júnior, 2010). O teor de água ideal na mistura para o reator anaeróbio é de 60 a 90% de água (Dotto & Wolff, 2012). O Cálculo para obtenção de carga orgânica a ser utilizada é feita á partir das equações 6 e 7 respectivamente. Subtraindo o espaço total do reator (ET) pelo espaço livre do reator (EL) obtemos a carga total da mistura (CTM), após isso, e usa-se o valor na equação 7 calculando a carga orgânica total da mistura em quilogramas.

$$EL = ((ET - (ET \times 0,28))) \quad (6)$$

Onde:

EL = Espaço livre no reator em L ou Kg;

ET = Espaço total do reator em L ou Kg.

$$CO = ((CTM - (CTM \times 0,6))) \quad (7)$$

Onde:

CO = carga orgânica da mistura em Kg;

CTM = Carga total da mistura em Kg.

2.8 Estimativa de tempo de chama e tempo de luz

Com o crescimento do uso do biogás como energia limpa e renovável, várias empresas começaram a fazer uso desse composto, possibilitando assim o surgimento de

produtos adaptados para utilizar o biogás como fonte de alimentação (Tinel & Ribeiro, 2013). O cálculo para estimativa de tempo de chama foi é obtido usando a equação 8.

$$TC = \frac{MG \times 60}{0,45} \quad (8)$$

Onde:

MG = Quantidade de metros cúbicos (m³) de CH₄ gerados no biodigestor;

TC = Tempo de chama estimado em minutos.

Uma lâmpada incandescente adaptada a biogás, com potência de 60-100 W e consumo de 0,07 m³/h (Proença & Machado, 2018). O cálculo para estimativa de tempo de luz, foi obtido a partir da seguinte equação 9.

$$TL = \frac{MG \times 60}{0,07} \quad (9)$$

Onde:

MG = Quantidade de metros cúbicos (m³) de CH₄ gerados no biodigestor;

TL = Tempo de luz estimado em minutos.

2.9 Redução de tarifas energéticas

Com o uso do biogás para geração de energia, esta pode ser para a empresa responsável pelo fornecimento de energia da rede elétrica, assim, obtendo uma redução direta na conta de energia. O KW/h no estado do Maranhão com tarifa residencial normal é de em média 0,56091 centavos/KW (Equatorial, 2019). O cálculo para a estimativa de redução de custos na conta de energia pode ser obtido a partir da seguinte equação 10 abaixo.

$$EE = E \times 0,56091 \quad (10)$$

Onde

EE = Economia de energia em reais;

E = Quantidade de energia em KWh/m³.

2.10 Materiais e custos

Os materiais para construção do biodigestor podem ser variados dependendo do uso da quantia investida ou da intenção do possuinte. O custo para construção de um reator anaeróbio de 50L é em média R\$ 91,00, se for utilizado apenas um reator (Viera *et al.*, 2016). Assim, montou-se um orçamento para construção de um reator de 50L (Tabela 1).

Tabela 1 - Custo dos produtos da construção do biodigestor.

Produto	Unidades	Valor unitário
Bomba de 50 L	2	R\$ 25,00
Registro de 20 mm	4	R\$ 2,00
Cano 20 mm	1	R\$ 11,00
Registro 25 mm	2	R\$ 6,00
Luva 20 m superior	3	R\$ 2,00
Adaptador soldável 20 mm	3	R\$ 2,00
Luva 25 mm superior	1	R\$ 3,00
Adaptador soldável 125 mm	1	R\$ 3,00
Adaptador de fogão	1	R\$ 5,00
Joelho de 20 mm	1	R\$ 2,20
Mangueira de 1/2 polegada para fogão	1	R\$ 2,00
Bico da mangueira	3	R\$ 4,50
PHmetro visual	1	R\$ 20,00
Total		R\$ 129,77

Fonte: Autor.

A Tabela 1 acima detalha os materiais adquiridos para a construção do reator proposto. Todos apresentaram um baixo custo financeiro entre dois e vinte e cinco reais a unidade. Os de maior preço foram a bomba de armazenagem de gás e o pHmetro visual. O gasto total com material foi de apenas R\$ 129,77.

2.11 Montagem do reator

Para montagem de um biodigestor, deve-se tomar uma série de cuidados com os procedimentos e principalmente com a vedação do sistema, pois a entrada de oxigênio no

sistema de digestão elimina as bactérias anaeróbias, que inclui o grupo das metanogênicas responsáveis pela produção de metano (Arruda *et al.*, 2012). Esta montagem deve seguir etapas, como a produção da parte superior para alimentação e saída de gás, parte inferior para retirada de matéria e a vedação do sistema (Dotto & Wolff, 2012).

Uma bomba de 50 litros foi utilizada para armazenagem do produto durante a fermentação anaeróbia. Foram feitos dois furos de 20 mm na parte superior da bomba e um furo na parte inferior esquerda para a entrada e retirada de material. Nos primeiros furos, uniram-se três pedaços de cano de 20 mm, dois canos com 15 cm e um cano com 25 cm. Utilizando dois registros, colocou-se o cano de 25 cm no centro e os registros nas laterais, esse foi utilizado para alimentação do reator. No segundo furo foi acoplado um cano de 20 mm, um registo e o bico de mangueira, esse utilizado para retirada do gás. Na arte inferior esquerda externa, colocou-se o cano de 20 mm e um registo, de forma reta, na parte interna adaptou-se o cano com um joelho no formato de L, virado para baixo, conectando as duas partes. Após isso, foi feita a verificação da vedação de todas as conexões para garantir que não houvesse vazamentos e favorecesse o processo de metanização (Figura 2).

Figura 2- Válvula de efluente, vista externa / interna.



Fonte: Autor.

A Figura 2 acima mostra a parte externa inferior esquerda do reator com a válvula de efluentes por onde é feita a retirada de material de dentro do reator. A parte interna o cano em forma de “L” virado para baixo para a retirada do material depositado no fundo do reator.

Figura 3- Biodigestor e bomba de armazenagem.



Fonte: Autor.

Pode-se observar o sistema completo na Figura 3 acima, reator indicado pela seta preta e bomba de armazenagem de gás indicado pela seta vermelha. A parte superior do biodigestor com a válvula de alimentação (seta azul), válvula de retirada de gás (seta verde) e a válvula de direcionamento do gás (seta amarela) para a bomba de armazenagem. Após o período de geração de gás o reator começa a inchar pelo fato do gás ocupar todo o espaço livre do recipiente e faz-se necessário abrir a válvula precise de válvula de retirada de gás, ou acionar a válvula para passagem do gás para a bomba de armazenagem.

2.12 Operação do biodigestor

O biodigestor foi acondicionado em local arejado submetido à temperatura ambiente em todo período do estudo. A primeira retirada de substrato ocorreu após 40 dias, quando o sistema estava estabilizado e gerando gás. Após a estabilização do biodigestor, diariamente era retirado o gás produzido e feito o teste de chama. Este procedimento ocorreu atestar a qualidade do gás e se repetiu durante 60 dias. Não foram realizados teste de temperatura

interna do sistema, ou substâncias presentes no gás, por falta de equipamentos para tais medidas.

2.13 Teste de queima

Esse teste verificou a inflamabilidade do gás, proveniente do biodigestor batelado, para verificar se a quantidade de metano era suficiente para ocorrer combustão.

Figura 4- Teste de chama.



Fonte: Autor.

A Figura 4 acima mostra o teste de chama realizado utilizando meio do bico de fogão acoplado a saída de gás do biodigestor, pode-se observar que o teste foi positivo e produziu uma chama que atendeu as expectativas, pois a mesma mostrou que o biogás produzido era inflamável.

3. Resultados e Discussões

3.1 Produção de resíduo na propriedade

No local do estudo existiam 30 cabeças de gado. Assim, na fazenda são gerados diariamente 300 Kg de esterco. A amostra coletada para deposição no biodigestor foi de 14 Kg.

Tabela 2- Geração de esterco na propriedade.

Total dia (Kg)	Total Mês (Kg)	Total ano (Kg)
300	9000	109500

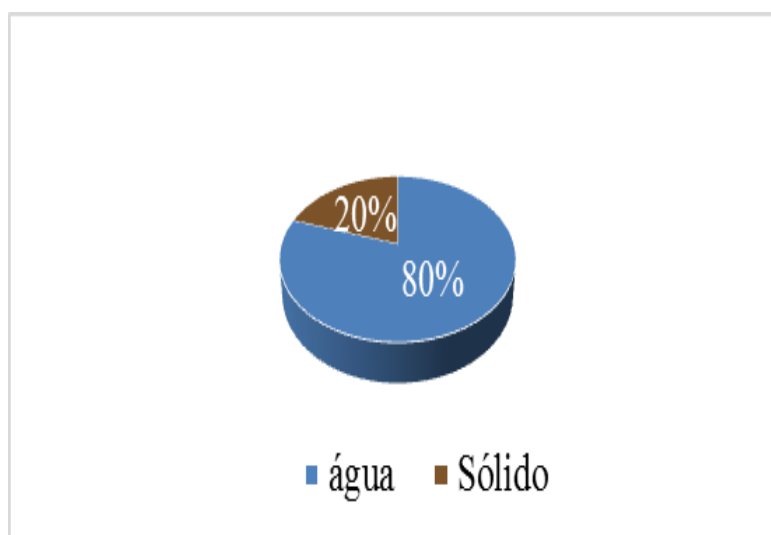
Fonte: Autor.

A Tabela 2 mostra os dados da estimativa de geração de esterco produzido por dia que foi de 300 Kg, projetando 9000 Kg por mês. Se for considerada ausência de óbito de gado em um ano e produção de esterco continua, a propriedade pode gerar o equivalente 109500 Kg quase 110 toneladas de esterco por ano, tornando ainda mais essencial uma destinação para estes resíduos.

3.2 Quantificação de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV)

Para determinação de sólidos totais, a partir da amostra de 10 g que após a secagem obteve-se 1,986 g e utilizou-se a equação 2 para calcular que 80% da amostra era água e 20% era sólido.

Gráfico 1- Percentual de sólidos totais presentes no esterco bovino.

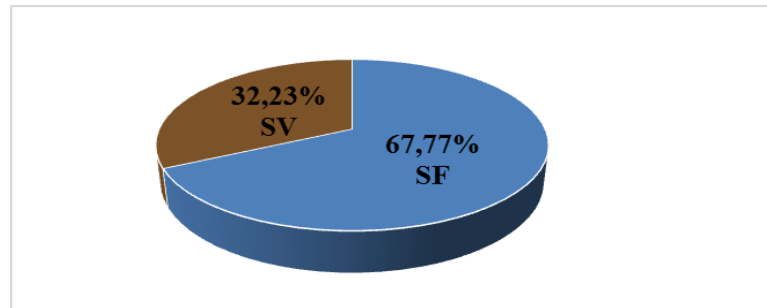


Fonte: Autor.

O Gráfico 1 acima mostra que a maior parte da amostra era composta por água com percentual de 80% na cor azul, quatro vezes maior que a quantidade de sólido de 20% observado na cor marrom.

Os sólidos totais obtidos (1,986 g) foram calcinados e após 1 hora obteve-se 1,3469 g sendo esta a massa de SF. Através das equações 3 e 4 foram calculados os percentuais de SF e SV respectivamente.

Gráfico 2 – Percentual de sólidos voláteis e sólidos fixos do esterco bovino.



Fonte: Autor.

No Gráfico 2 visualizam-se os percentuais de sólidos fixos (SF) representados pela cor azul e sólidos voláteis (SV) representados pela cor marrom. O percentual aproximado de SF foi de 67,77%, a maior região do gráfico equivalente a 1,3469 g obtidos após a calcinação dos sólidos totais. Os SV representados pela cor marrom eram 32,23% estimado em 0,640 g. Somando-se 1,3469 g e 0,640 g, obtêm-se exatamente 1,986 g a massa de sólidos totais.

3.3 Dimensionamento do reator

O espaço total do reator utilizado foi de 50 L (seu volume) ,assim, usando as equações 6 obteve-se um espaço livre de 14 L dimensionando o biodigestor. Subtraindo 50 L por 14 L de acordo com a equação 7 obtivemos a carga total da mistura igual a 36 L. Isso implicou que para a mistura de 36 L, 14 Kg seriam de esterco e 22 litros seriam de água.

3.4 Geração de biogás

A carga orgânica de 14 Kg depositada no biodigestor possuía 20% de ST, equivalente a 2800 g, sendo 32,23% de SV que é aproximadamente 902,44 g, calculou-se usando a equação 1 a quantidade m³ de biogás/dia a ser produzida.

Tabela 3 - Produção de biogás com base na quantidade em Kg de esterco e SV.

Esterco bovino/Kg	Sólidos voláteis/g	m ³ de biogás/dia
14	902,44	0,361
300	19,338	7,735

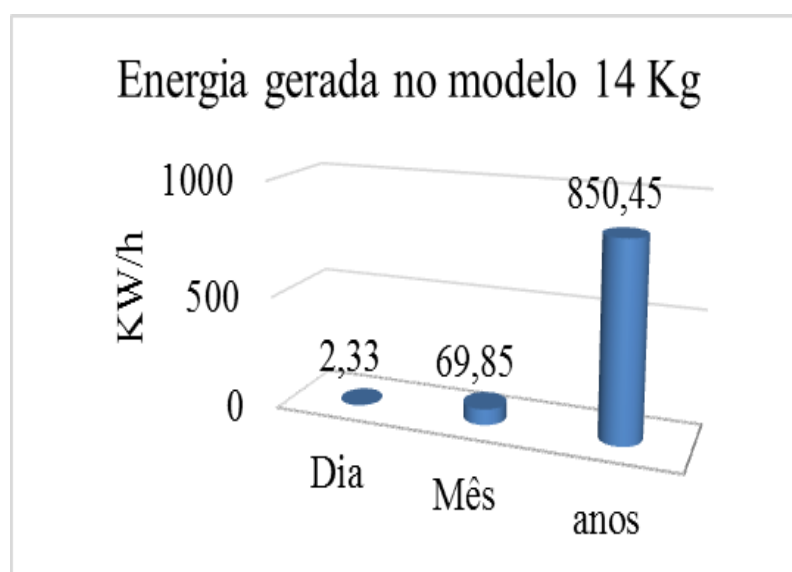
Fonte: Autor.

A Tabela 2 mostra a produção de gás do modelo de biodigestor proposto de 14 Kg e de um modelo de 300 Kg, a quantidade de em gramas de sólidos voláteis e o volume em metros cúbicos por dia produzidos por cada biodigestor. Conforme a tabela, a produção diária do biodigestor foi de 0,361 m³/dia (361 litros/dia) de gás para biodigestor de 14 kg. A produção diária da fazenda é de 300 Kg de esterco que possuem 902,44 de SV e projetando a construção de um ou vários biodigestores para suportar essa carga de matéria orgânica, a produção de gás seria de 7,735 m³/dia (7735 litros/dia).

3.5 Geração de energia

O gás de biodigestores com teor de 50% a 80% terá uma eficiência de 4,95 KWh/m³ a 7,92 KWh/m³. Em média o m³ de gás gera aproximadamente 6,45 KWh e no modelo de 14 Kg o resultados mostram eficiência na geração de energia .

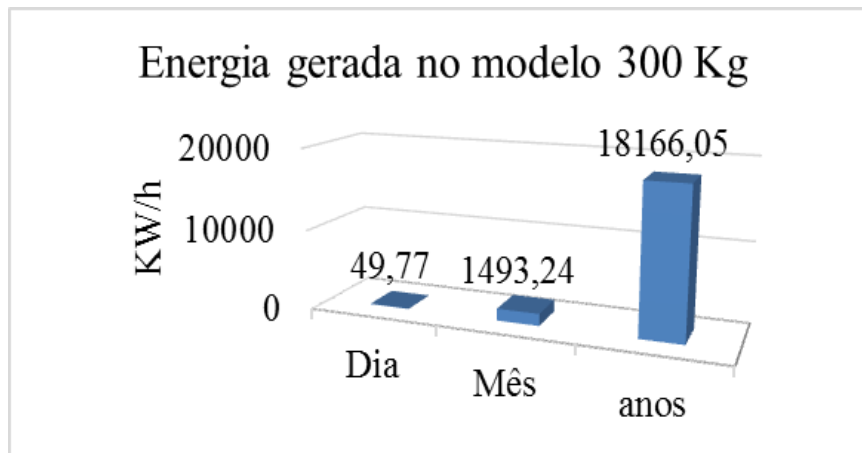
Gráfico 3 - Estimativa de energia de gás gerada no modelo de 14 Kg.



Fonte: Autor.

O Gráfico 3 mostra os resultados da geração de energia do gás para o modelo de 14 Kg calculada através da equação 5 onde foi obtida uma estimativa de geração de energia de 2,33 KWh/dia, 69,85 KWh/mês e 850,45 KWh/ano ,esses resultados mostraram que o biodigestor tem um.

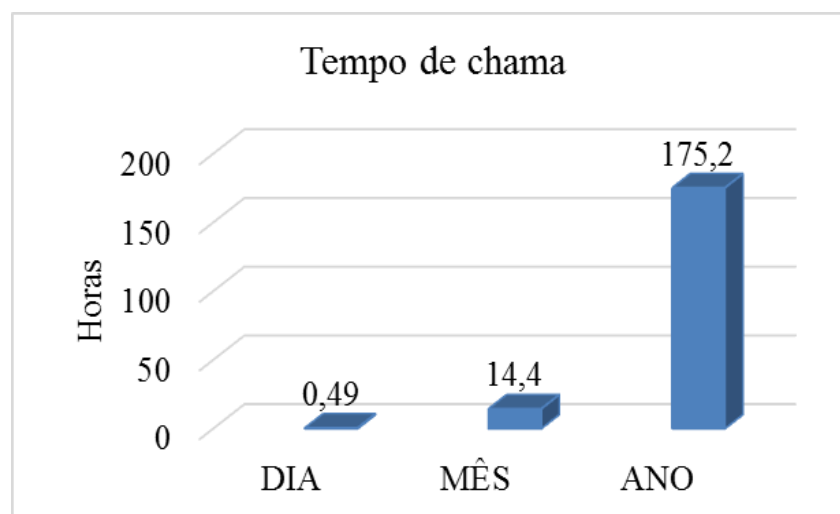
Gráfico 4 - Estimativa de geração de energia de gás gerada no modelo de 300 Kg.



Fonte: Autor.

O Gráfico 4 mostra a estimativa geração de energia do gás utilizando o modelo de 300 Kg também por dia, mês e ano calculados utilizando a equação 5. Os dados obtidos foram de 49,77 KWh/dia, 1493,24 KW/mês e 18166,05 KWh/ ano, mostrando que a utilização desse modelo gera possui alta geração de energia .

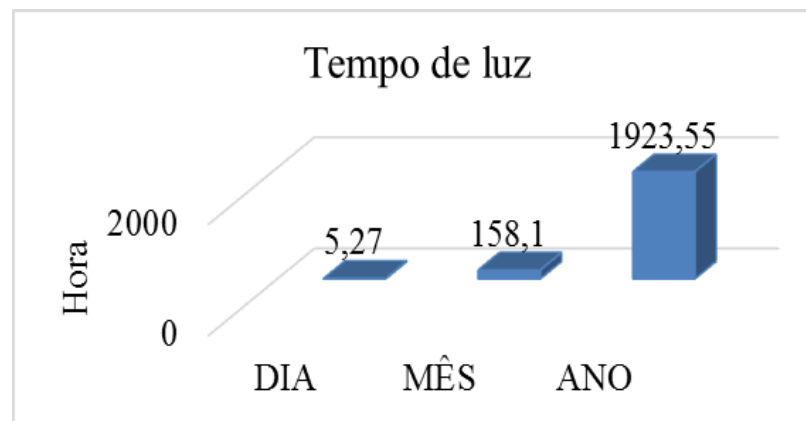
Gráfico 5- Tempo de permanência de chama em boca de fogão a biogás.



Fonte: Autor.

O Gráfico 5 mostra os resultados de tempo de chama (TC) por dia, por mês e por anos de 49 min/dia foi calculado a partir da equação 8 para um fogão modelo cooktop queimador duplo com consumo de 45 m³/hora. Analisando o gráfico observou-se que a chama de um fogão pode ser mantida acesa por um período de 49 minutos/dia, 14,4 horas/mês e 175,2 horas/na com a taxa de produção de 0,361 m³ do biodigestor de 14 Kg. Esses resultados mostram que o tempo de chama é bastante satisfatório.

Gráfico 6- Tempo de permanência de luz em lâmpada de 100 W a biogás.



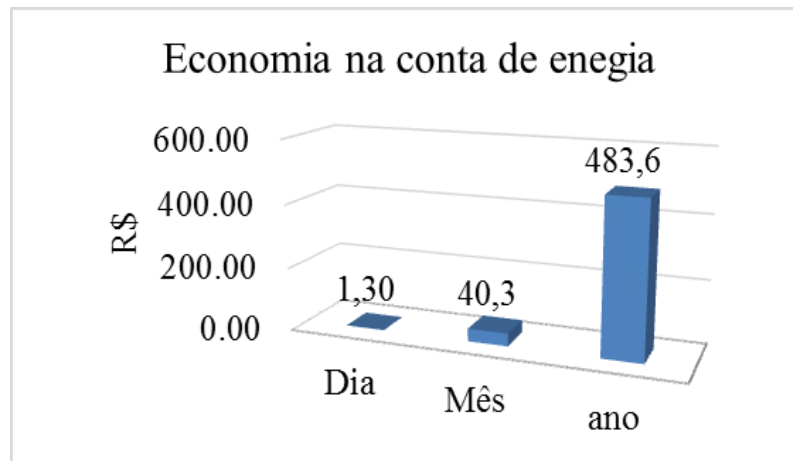
Fonte: Autor.

É mostrado no Gráfico 6 acima que utilizando uma lâmpada com potência equivalente a 100 W para biogás, que possui taxa de consumo de 0,07 m³/h, é possível manter essa lâmpada acesa por 5 horas e 27 minutos/dia, 158,1 h/mês e 1923,55 h/ano com a taxa de produção diária do biodigestor de 14 Kg. Construindo um ou vários biodigestores para suportar a carga de 300 Kg de esterco gerada na fazenda equivalente a 7,735m³/dia de biogás, teria a capacidade de manter o TC por 17 horas/dia e TL de 110 horas.

3.6 Economia na conta de energia

A construção do biodigestor do modelo de 14 Kg se mostrou promissor principalmente em possibilitar economia na conta de energia elétrica. Esses resultados são apresentados no Gráfico 7 e foram calculados a partir da equação 10.

Gráfico 7- Economia na conta de energia.



Fonte: Autor.

O gráfico acima mostra que a partir da taxa de produção de KWh do biodigestor de 14 Kg pode-se obter economia de aproximadamente R\$ 1,30/dia, R\$ 40,3/mês e R\$ 483,60/por ano. A construção do modelo de 300 Kg que possibilitaria uma economia de R\$ 27,00/dia, R\$ 837,57/mês e R\$ 10189,52/ano. Estes valores obtidos reforçam que a construção dos modelos de biodigestores apresentados no presente estudo podem ser potencialmente sustentáveis.

4. Considerações Finais

A digestão anaeróbia e geração de biogás são formas eficazes de tratamento de resíduos, pois contribuem com a redução da emissão de gases do efeito estufa. O baixo custo de montagem e operação deste biodigestor é uma vantagem, pois pode produzir eletricidade e biofertilizantes, minimizando os custos da utilização dos mesmos.

A manutenção diária do biodigestor é importante. Processos como verificação da vedação e retirada do gás devem ser realizados para evitar inviabilização de operação do sistema, devendo o mesmo ser mantido em local arejado e longe do fogo, pois o biogás é altamente inflamável.

Os resíduos produzidos na localidade onde ocorreu o estudo no município de Açailândia-Ma, mostraram-se potencialmente capazes de produzir uma boa carga de biogás, onde as condições climáticas da região podem favorecer o processo de biodigestão.

O presente estudo sugere que implantação de biodigestores seja uma alternativa viável de suprimento de energia local, redução de tarifas energéticas, e destinação de dejetos animais devido à economia observada. Assim, estima-se que a construção desse sistema seja vantajosa devido ao baixo custo de montagem e operação, podendo ser expandido para um de maior capacidade de armazenamento.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de outros tipos de materiais, elaboração de novos modelos de reatores, análise da viabilidade e qualidade dos biofertilizantes produzidos para que os biodigestores possam ter maior eficiência e eficácia.

Referências

ABNT, RDJ. (1989). Águas-Determinação de Resíduos (Sólidos)-Método Gravimétrico: NBR 10664. *Rio de Janeiro, 14*.

Bahr, T, Fricke, K, Hillebrecht, K, Kolsch, F & Reinhard, B. (2006). Clean Development Mechanism, Abfallbehandlung und Methangasoxidation zur Minimierung von Methangasemissionen. *Müll und Abfall, 6(06)*, 291.

Baldacin, ACS, & Pinto, GMF. (2015). Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. *Revista Eletrônica FACP, 7*, 1-47.

Bezerra, KLP, Ferreira, AHC, Cardoso, E, Monteiro, JM, Amorim, IS., Júnior, H, & Silva, R. (2014). Uso de biodigestores na suinocultura. *Nutritime, Viçosa, Mg, 11(275)*, 3714-3722.

Coldebella, A, Souza, SNM, Ferri, P & Kolling, EM. (2008). Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. *Informe Gepec, 12(2)*, 44-55.

Cruz, H, Barros, R, Santos, I & Tiago Filho, G. (2019). Estudo do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás de digestão anaeróbia de resíduos alimentares. *Research, Society and Development, 8(5)*, e3785811.

Dotto, RB & Wolff, DB (2012). Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. *Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas, 13(1)*, 13-26.

Equatorial. (2019). Agencia WEB, Cobrança de tarifas. Acesso em 12 dezembro 2019, Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#residencial-normal>

Gênero, LC, Guerini, M, Torres, Q, Frigo, EP, & Zanon, E. (2013). Produção de hidrogênio a partir do biogás. *Acta Iguazu*, 2(1), 29-42.

Gomes, MHSC, Oliveira, EC, Bresciani, LP & da Silva Pereira, R. (2014). Política nacional de resíduos sólidos: perspectivas de cumprimento da Lei 12.305/2010 nos municípios brasileiros, municípios paulistas e municípios da região do ABC. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, 7, 93-109.

Molino, A, Nanna, F, Ding, Y, Bikson, B, & Braccio, G. (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel*, 103, 1003-1009.

Neto, EDD, Alvarenga, LH, de Melo Costa, L, Nascimento, PH, Silveira, RZ, & de Melo Leite, LH. (2010). Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua. *exacta*, 3(2).

Neto, PN & Moreira, TA. (2010). Política nacional de resíduos sólidos-reflexões a cerca do novo marco regulatório nacional. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, (15), 10-19.

Slapnig, PE, Vasconcelos, EC & Janissek, PR. (2018). Comparação de partículas totais em suspensão via determinação gravimétrica com amostragem de grande e pequeno volume no estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, (50), 26-38.

Pereira, LC, Balbino, MV, Viana, LS, Farias, NDSN, Xavier, RDR, Ramos, WQ & Antonio, J. (2018a). Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais1. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 7(4), 406-422.

Pereira, AS, Shitsuka, DM, Parreira, FJ & Shitsuka, R. (2018b). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em: 15 maio 2020.

Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Pereira, V, Ferreira-Jr, JM, Martinez, GAS & Tomachuk, CR. (2015). Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. *HOLOS*, 8, 242-251.

Proença, CA & Machado, GCXMP. (2018). Biodigestores como tecnologia social para promoção da saúde: Estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. *Saúde em Redes*, 4(3), 87-99.

Rodrigues, NS, Blans, NB & Scindwein, MM. (2018). Uso de biodigestores para impulsionar a sustentabilidade ambiental/Use of biodigestors to impulse environmental sustainability. *Brazilian Journal of Development*, 5(1), 462-487.

Silva, ACG & de Menezes Trevisan, G. (2019). Processo de produção e aproveitamento energético do biogás: uma revisão dos sistemas e tecnologias existentes no mercado. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(2), 197-210.

Silva, JAD, Oliveira, APD, Alves, GDS, Cavalcante, LF, De Oliveira, AN, & Araújo, MA. (2012). Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(3), 253-257.

Tinel, FP & Ribeiro, JA. (2013). Estudo sobre a eficiência dos fogões a gás, elétrico resistivo e elétrico indutivo. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, 9(1).

Vansetto, CC & Ghisi, T. (2019). Resíduos sólidos e cooperativas de reciclagem: a Arquitetura como promotora social e ambiental. *Labor E Engenho*, 13, e019019-e019019.

Vieira, MT, Miranda, D, & Basquerotto, C. (2016). Utilização do subproduto proveniente da produção de biogás como fertilizante. *Revista Conexão Eletrônica*, 13(1).

Xavier, CDA & Lucas Jr, JD. (2010). Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Engenharia Agrícola*, 30(2), 212-223.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Carlos Alberto Andrade Serra dos Santos - 28%

Cledson Ferreira Cutrim Júnior - 17%

Lohana Lima Oliveira - 17%

Paulo Henrique Freitas da Silva - 17%

Ismalia Cassandra Costa Dias Maia - 5%

Bruno Lucio Meneses Nascimento - 5%

Maria Aparecida Alves de Oliveira Serra - 5%

Pedro de Freitas Façanha Filho - 5%