

USO DO BIODIGESTOR: UMA ALTERNATIVA À SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Ana Paula Scardini Corrêa ⁽¹⁾ (anapaulascardini@gmail.com),

Andréa Teresa Riccio Barbosa ⁽¹⁾ (andrea.barbosa@ufms.com)

⁽¹⁾ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS); Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade

⁽²⁾ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS); Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade

RESUMO: Com o crescimento da demanda de alimentos e matérias primas advindas do campo, cresce consequentemente a quantidade de dejetos e resíduos que quando não depositados adequadamente se tornam protagonistas de problemas de ordem sanitária e ambiental. Atualmente, uma das soluções adequadas para sanar tais problemas são as instalações de biodigestores nas áreas rurais, como fazendas e empresas ligadas à agropecuária. Esses biodigestores, além de reduzirem os impactos ambientais gerados pelas atividades agropecuárias também ajudam na diminuição da emissão de gás metano (gás estufa) e geram energia limpa para os locais no qual estão instalados, reduzindo o custo na cadeia da atividade. Considerando que o maior empecilho para implantação de sistemas de biodigestores sejam os custos de instalação, este estudo objetivou apresentar os modelos mais conhecidos, dimensionar uma unidade do biodigestor mais utilizado no país – o modelo canadense, bem como calcular o preço de custo de implantação numa propriedade rural e a viabilidade para o retorno dos custos de investimento.

PALAVRAS-CHAVE: AUMENTO DE RESÍDUOS, USO DE BIODIGESTORES, IMPACTO AMBIENTAL, GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA, REDUÇÃO DE CUSTO.

SYSTEMATIC REVIEW ON NATURAL VENTILATION AND THERMAL COMFORT IN HOSPITAL BUILDINGS

ABSTRACT: *With the growth in demand for food and raw materials from the countryside, the amount of waste and residues increases as a result, which, when not disposed of properly, become the cause of health and environmental problems. Currently, one of the appropriate solutions to solve such problems is the installation of biodigesters in rural areas, such as farms and companies linked to agriculture and livestock. These biodigesters, in addition to reducing the environmental impacts generated by agricultural activities, also help to reduce the emission of methane gas (greenhouse gas) and generate clean energy for the places where they are installed, reducing the cost in the activity chain. Considering that the biggest obstacle to implementing biodigester systems is the installation costs, this study aimed to present the best-known models, size a unit of the most widely used biodigester in the country – the Canadian model, as well as calculate the cost price of implementation on a rural property and the viability for the return on investment costs.*

KEYWORDS: INCREASE IN WASTE, USE OF BIODIGESTORS, ENVIRONMENTAL IMPACT, CLEAN ENERGY GENERATION, COST REDUCTION.

1. INTRODUÇÃO

Na década de 70, a crise do petróleo no Brasil despertou o interesse em pesquisar fontes de energia inesgotáveis. Essas fontes de energia, conhecidas como limpas e abundantes, tornaram-se alternativa viável, diminuindo a capacidade poluidora de dejetos, pois o gás emitido por eles na decomposição que antes iria para o meio ambiente, agora se destina a produção de energia e a porção sólida utilizada como adubo orgânico (GASPAR, 2013).

O problema dos resíduos é devido principalmente pelo aumento da produção e a sua disposição inadequada, sem tomar proporção da periculosidade dos dejetos ao serem descartados no meio ambiente. Em alguns casos, esses problemas são agravados pela falta de gerenciamento dos produtos, ou seja, desde sua geração, até a destinação final (CUNHA E CONSONI, 1995).

No Brasil, a produção agropecuária é uma das atividades econômicas mais importantes, no entanto, é responsável por gerar grande quantidade de resíduos. Dentre as formas mais utilizadas para o tratamento destes dejetos estão os sistemas de lagoas e a biodigestão, sendo o segundo o mais rentável, pelo potencial de produção energética e qualidade do biofertilizante gerado.

Contudo, é importante o conhecimento das quantidades de resíduos gerados, e das suas principais características físicas e químicas, para a concepção e o dimensionamento dos sistemas de tratamento e/ou disposição na natureza (BARREIRA, 2011).

No Brasil, existe um campo promissor para trabalhos e estudos voltados ao tratamento de resíduos, e como alternativa de tratamento tem-se a implantação de biodigestores nas propriedades agrícolas.

O uso de biodigestores nos sistemas de produção animal vem sendo visto como uma ferramenta importante, por promover o tratamento do resíduo e retornar ao sistema produtivo parte da energia gerada que seria perdida, pela queima do gás (SILVA et al., 2005; ORRICO et al., 2007; SANTOS et al., 2007; RÊGO et al., 2021).

Segundo Barrera (1993) o biodigestor é genial por sua simplicidade, sendo composto, basicamente, por uma câmara fechada que permite a digestão da biomassa, a qual ocorre em função da presença de um grupo de bactérias anaeróbicas, responsáveis pelo processo de fermentação e decomposição dos efluentes, a fim de produzir biogás e digestato. Nesse sentido, a biodigestão anaeróbia além de ser uma alternativa para o produtor adequar o seu sistema de tratamento de resíduos às legislações ambientais vigentes, permite a obtenção da sustentabilidade (AIRES *et al.* 2013). Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo revisar as diversas fontes literárias para viabilizar a realização e implantação de um biodigestor anaeróbico como alternativa de despejo de dejetos.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho visa implementar um estudo de caso para estimar a viabilidade econômica de um projeto de instalação de biodigestor, em zona rural. Atualmente, o Brasil sofre com escassez de chuvas e consequentemente, com problemas na matriz energética, visto que, a maior parte da energia elétrica produzida no país tem origem nas usinas hidroelétricas. Por isso, a finalidade desse estudo é apresentar uma solução e consequentemente autossuficiência nas zonas rurais, aproveitando os biodigestores para produzir energia elétrica.

3. JUSTIFICATIVA

A busca por fontes alternativas de energia tem sido a solução para os países em termos de geração de energia elétrica limpa e renovável, e no Brasil, diante da crise energética cada vez mais patente, a obtenção de novas soluções para a questão é medida que se impõe e o uso do biodigestor, além de aproveitar os resíduos deixados pela agropecuária e gerar biofertilizante, ainda produz o biogás para ser usada nas propriedades rurais.

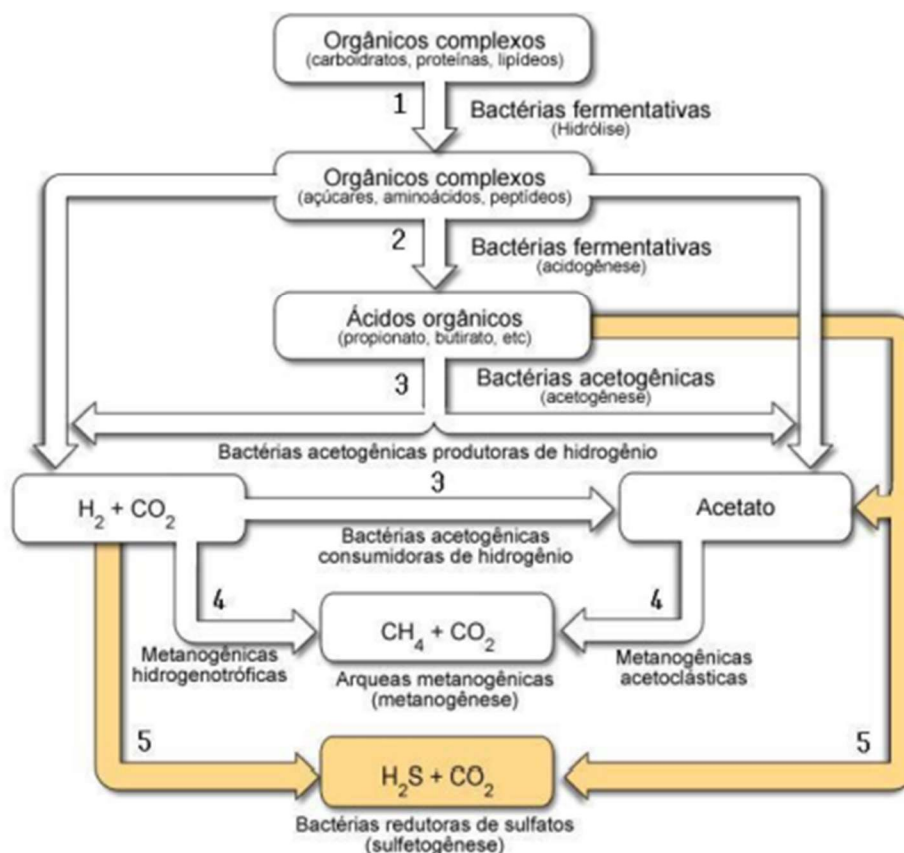
4. MATERIAIS E MÉTODOS

Alguns dos tipos resíduos mais comuns encontrados na zona rural são os dejetos produzidos por bovinos, aves, suínos, caprinos e ovinos e podem ser usados para a produção de biofertilizantes e biogás através do processo de biodigestão e assim propiciar o desenvolvimento da propriedade rural.

O sistema de biodigestão se dá através da digestão anaeróbica é uma tecnologia processada em equipamentos de ambiente controlado, denominados biodigestores, cuja função é fornecer condições propícias para que um grupo distinto de bactérias degrade o material orgânico na ausência de ar atmosférico, com consequente liberação do gás. É o processo mais utilizado para conversão da carga orgânica dos dejetos em biogás e biofertilizante de alta qualidade, o qual atua como substrato digerido.

O processo de digestão anaeróbia, segundo Chernicharo (1997), é composto por várias reações sequenciais, com populações microbianas distintas, dividindo-se em quatro fases distintas, a saber: hidrólise, acidogênese (fermentação), acetogênese e metanogênese. A Figura 1 ilustra as rotas metabólicas de degradação do substrato e produção de novas substâncias pelos microrganismos.

FIGURA 1 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.



Fonte: adaptado Lettinga *et al* (1996).

Cada etapa será descrita com detalhes para que posteriormente o biodigestor seja feito o estudo para a implantação do biodigestor.

4.1. Etapas

- **Acidogênese:** etapa 2 da Figura 1, as bactérias fermentativas acidogênicas consomem os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise, transformando-os (excretando) em compostos mais simples, tais como: ácidos graxos, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, conforme Cosmatri Filho (1981).
- **Acetogênese:** A acetogênese e a acidogênese são as etapas líquidas do processo de digestão anaeróbia, nas quais ocorre a oxidação das substâncias geradas na fase de acidogênese produzindo ácidos orgânicos pela ação das bactérias sintróficas acetogênicas, conforme ilustrado na etapa 3 da Figura 1. Os produtos

oriundos dessa etapa são o substrato básico para a metanogênese, de acordo com Chernicharo (1997) e Oliveira e Higarashi (2006).

- Metanogênese: Considerada a última etapa, sendo esta gasosa (item 4 da Figura 1), onde dois grupos de arqueias metanogênicas (i.e., seres anaeróbios obrigatórios que liberam gás metano, como resíduo metabólico) atuam sobre os produtos gerados nas etapas anteriores: as arqueias metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% (setenta por cento) de metano do processo, tendo como fonte de energia os ácidos acéticos para produzir metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) a partir dos seus metabolismos e a rota das arqueias metanogênicas hidrogenotróficas produzem cerca de 30% (trinta por cento) do metano do processo, usam hidrogênio como fonte de energia e gás carbônico (CO_2) como receptor de elétrons, resultando maior liberação de energia e formando metano a partir dessa reação, conforme Oliveira e Higarashi (2006).

4.2. Os reatores anaeróbios

A classificação quanto ao tipo de biodigestor é determinada pelo tipo de construção, ou seja, se a câmara de biodigestão (reator) está acima ou abaixo do solo, bem como sua eficiência que é determinada pelo tempo em que os dejetos orgânicos permanecem dentro da câmara (tempo de retenção hidráulica ou TRH).

Os sistemas baseados na digestão anaeróbia apresentam como vantagem a baixa produção de sólidos, quando comparados aos sistemas baseados na digestão aeróbia. Além disso, consomem pouca ou praticamente nenhuma energia para sua operação (QUEVEDO e HELENO 2011).

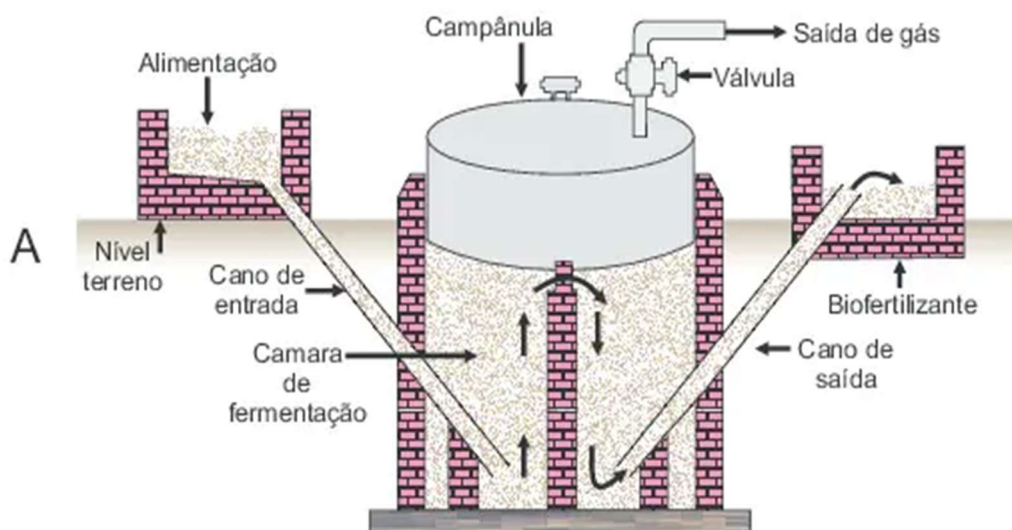
O tempo de permanência influenciará diretamente no tipo de produtos que serão produzidos, classificando, também, cada biodigestor de acordo com sua finalidade. Os tipos de biodigestores mais conhecidos são:

- a. Biodigestor Batelada: neste tipo de equipamento, a matéria prima é inserida no biodigestor fechado, totalmente sem ar, para que seja realizada a fermentação anaeróbica do material. O gás inserido é armazenado num gasômetro acoplado no próprio recipiente ou permanece no biorreator servindo de digestor. Após o término da produção de biogás, o biodigestor é aberto e os resíduos são retirados. A seguir, é feita a limpeza do sistema e é inserida uma nova quantidade de substrato, reiniciando o processo (COMASTRI FILHO, 1981). O biodigestor tipo batelada é um sistema simples de fácil operação. É necessária apenas uma carga inicial para que possamos produzir biogás. Por sua produção não ser contínua, geralmente é utilizado em propriedades onde exista sazonalidade na produção de biomassa, como por exemplo granjas avícolas de corte, onde o esterco é removido quando ocorre a limpeza do galpão após a venda das aves.

b. Biodigestor Contínuo: ao contrário do tipo batelada, a produção de biogás e biofertilizante, enquanto o mesmo for alimentado com substrato, nunca cessa. Esse tipo de biodigestor é alimentado continuamente com um substrato que seja de fácil degradação e disponível abundantemente no local através de dutos de alimentação, enquanto o biogás é extraído por tubulação na parte superior e o biofertilizante é removido através de dutos de saída. Os biodigestores contínuos são divididos em horizontais e verticais, de acordo com seu posicionamento no solo, sendo que esses dois ainda são subdivididos em outras classificações quanto ao modelo. Os biodigestores contínuos verticais são compostos de tanques cilíndricos de alvenaria, na maioria das vezes com sua maior parte enterrada no solo. A alimentação desse tipo de biodigestor é feita pela parte inferior, enquanto o biogás sai pela parte superior. Quando esse tipo de biodigestor é utilizado, é necessária atenção para não contaminação de lençóis freáticos, visto que eles apresentam certa profundidade escavada na terra. Os biodigestores contínuos horizontais têm sua altura menor que seu comprimento e largura, podendo assumir quaisquer formas. Eles podem ou não estarem submersos, o que faz com que sejam recomendados em áreas onde existam lençóis freáticos, com baixos riscos de contaminação. A alimentação de biomassa é realizada por um dos lados do biodigestor, enquanto do outro lado retira-se o biofertilizante. Os modelos mais utilizados de biodigestores contínuos são o Indiano, o Chinês e o Canadense.

c. Modelo Indiano: o biodigestor de modelo indiano foi desenvolvido no ano de 1950 pelo *Gobar Gas Institute* (TOLEDO; PROENÇA, 2022). Existe uma campânula flutuante como gasômetro, sendo que ela pode estar inserida sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque em duas câmaras, para que o material circule de maneira homogênea por todo o seu interior. O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantém a pressão em seu interior constante (DEGANUTTI *et. al.*, 2002). Esse modelo de biodigestor apresenta fácil construção, porém o gasômetro de metal, além de poder sofrer o processo de corrosão, o que resultaria numa vida útil de cinco anos, encareceria o custo final e inviabilizaria o projeto de instalação. O recomendável é usar como material o aço inoxidável, pois a taxa de corrosão é de ordem de 1.000 a 10.000 vezes menor que em aço comum. O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor Indiano, deve apresentar uma concentração de ST (sólidos totais) não superior a 8% (oito por cento), para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material (DEGANUTTI *et. al.*, 2002).

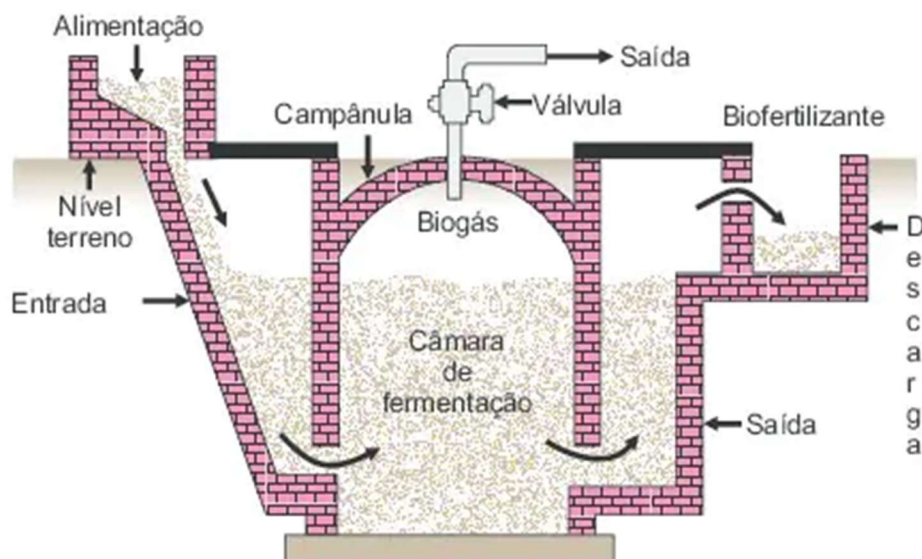
FIGURA 2 - Biodigestor modelo Indiano.



Fonte: FONSECA *et al* (2009).

d. Modelo Chinês: o biodigestor de modelo chinês foi desenvolvido entre as décadas de 1950 e 1960 pelo governo chinês durante a Guerra Fria, visando a descentralização energética, ou seja, no caso de ataque inimigo a energia deixaria de estar disponível nos grandes centros, entretanto as pequenas unidades de biodigestão nos vilarejos, vilas e regiões mais distantes passariam despercebidas e permaneceriam intactas (PALHARES, 2007). É formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (BENINCASA *et al.*, 1990). Por dispensar a campânula de metal, sendo esse biodigestor construído quase que totalmente em alvenaria, os custos relativos à construção desse modelo de biodigestor são menores, porém, se a vedação da estrutura não for bem realizada, podem acontecer problemas de vazamento para a atmosfera. Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por este motivo as construções de biodigestores modelo Chinês não são utilizadas para instalações de grande porte (DEGANUTTI *et. al*, 2002).

FIGURA 3 – Biodigestor modelo chinês.

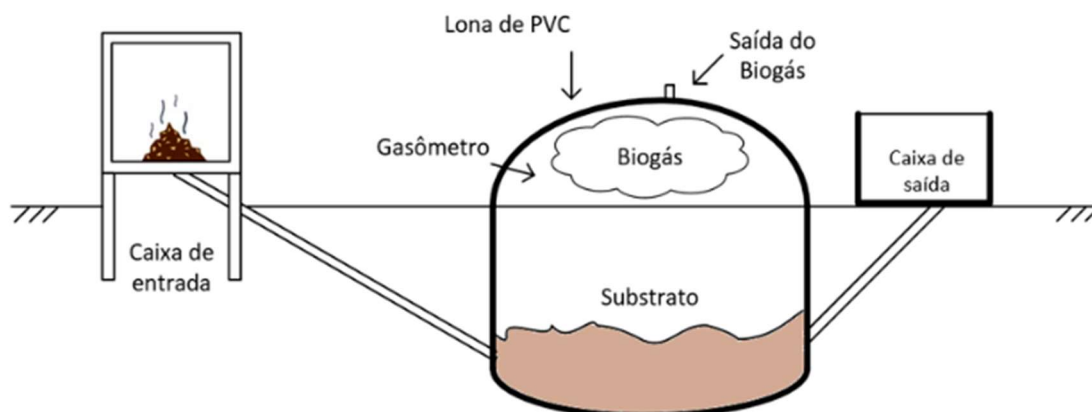


Fonte: FONSECA et al (2009).

e. Canadense ou Biodigestor de Fluxo Tubular: desenvolvido pela Marinha Canadense, foi introduzido no Brasil em 1970, possui tecnologia mais avançada, mesmo que apresente construção simples. Segundo Souza (2009), também é chamado de biodigestor de fluxo tubular, apresenta uma tecnologia mais moderna, mesmo possuindo uma construção simples, com uma câmara de biodigestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar. Esse biodigestor é do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria, onde a profundidade é menor que a largura, para que o substrato tenha maior exposição ao sol a fim de aumentar a produção de biogás e evitar o entupimento do duto de entrada. Durante a produção de biogás, a cúpula de material plástico maleável infla, acumulando o biogás. Nesse tipo de biodigestor, podemos ainda enviar o biogás para um gasômetro separado para obtermos um maior controle. Atualmente esse tipo de biodigestor é o mais difundido no mundo, e mais aplicado também no Brasil, sendo largamente utilizado em propriedades rurais. Por ser construído basicamente de material plástico, esse biodigestor apresenta construção bastante simples, porém possui menor durabilidade e está sujeito a acidentes, como no caso de haver perfuração da lona plástica, com vazamento de gás. O biodigestor não pode ficar em um local de difícil acesso, nem muito distante, pois isso implicaria em uma grande dificuldade para sua operação. O sistema de geração de energia deve ficar protegido, mantendo distâncias seguras em relação ao biodigestor. Em biodigestores modelo canadense, constituídos basicamente de mantas plásticas, o biogás tem pouca pressão e devido a isso pode ser

transportado por, no máximo, 50 metros. Porém, é recomendado no Manual de Treinamento em Biodigestão que o biodigestor seja instalado a, pelo menos, 10 m de quaisquer edificações.

FIGURA 4 – Biodigestor modelo canadense.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Biodigestor-modelo-canadense_fig3_337725169

Como o modelo canadense de biodigestor é o mais usado no Brasil, será utilizado no cálculo para se estimar o tamanho de um biodigestor. O equipamento a ser construído depende do volume necessário para suportar o volume de carga diária pelo período de retenção necessário para que ocorra a fermentação. Para essa estimativa foi usada a seguinte fórmula (JUNQUEIRA, 2014).

$$VB = VC \times TRH \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

VB = Volume do biodigestor (m³);

VC = Volume de carga diária (solução de dejetos + água) (m³/dia);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

O volume de alimentação diário do biodigestor dependerá do tipo de matéria orgânica utilizada e da quantidade de animais existentes na propriedade. Para esse cálculo, é importante obter dados sobre a média de produção de esterco referente a cada tipo de animal e a quantidade de água necessária para a preparação da carga do biodigestor. O Quadro 1 auxilia no cálculo do volume diário de carga, apresentando valores para diversos animais.

QUADRO 1 – Quadro de cálculo de volume de carga.

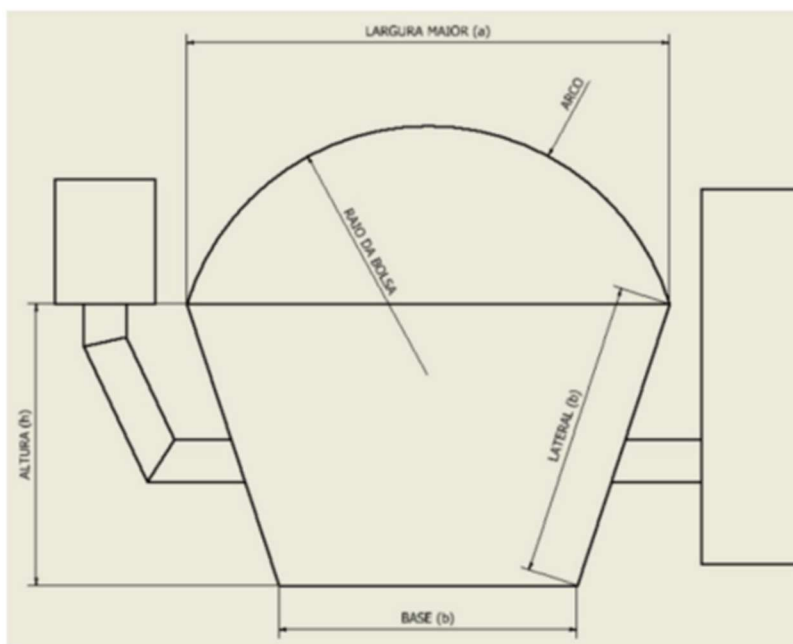
Espécie animal	Esterco por animal (kg)	Quantidade de animais	Total de esterco (kg)	Relação esterco:água	Volume de água (m³) ⁵	Volume da carga (m³)
	A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = C + E
Caprino/ovino ⁶	0,5			1:4 a 5		
Vaca	7			1:1		
Vaca leiteira ⁷	25			1:1		
Bezerro ⁶	2			1:1		
Boi ⁷	15			1:1		
Suíno ⁷	4			1:1,3		
Total						

Fonte: Manual de Treinamento em Biodigestão (2008).

O tempo de retenção hidráulica também varia de acordo com a fonte de matéria orgânica. Para bovinos e suínos, esse tempo é de 35 dias, em média, enquanto que para caprinos, de 45 dias e 60 dias para aves.

Como o modelo de biodigestor mais utilizado no Brasil é o canadense, para o cálculo preciso das principais dimensões do biodigestor, apresentado na Figura 5, foi usado o modelo matemático desenvolvido por Ribeiro (2011), que foi baseado nas sugestões de Ribeiro (2004).

FIGURA 5 - Seção transversal do biodigestor de modelo canadense com principais parâmetros.



Fonte: Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 146-172, 2022).

No desenvolvimento dessas equações, Ribeiro (2011) ajustou os parâmetros utilizando um método iterativo, relacionando os parâmetros da Figura 2 com a proporção entre gás e fase líquida, para valores dessa proporção inferiores a 40%, pois acima desse valor, segundo Ribeiro (2011) e Botero (2008), o volume da fase líquida não seria capaz de manter a campana cheia de biogás levando o biodigestor ao colapso. As equações obtidas por esse modelo estão apresentadas no Quadro 2, e suas variáveis apresentadas na Figura 5, apresentada anteriormente.

QUADRO 2 - Equações para cálculo das dimensões do biodigestor

Fórmula	Descrição
$P = C = 2r\pi$ (Eq. 2)	P = perímetro total transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (Eq. 3)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = (-1/3 A\% + 1/3)P$ (Eq. 4)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618b$ (Eq. 5)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951b$ (Eq. 6)	h = profundidade da fossa
$A_f = 0,4755(a+b)b$ (Eq. 7)	A _f = área transversal da fossa
$A_t = A_f / (1-p)$ (Eq. 8)	A _t = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$A_g = A_t - A_f$ (Eq. 9)	A _g = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$V_t = A_t L$ (Eq. 10)	V _t = volume total do biodigestor (campana mais gás) L = comprimento do biodigestor
$V_f = A_f L$ (Eq. 11)	V _f = volume total da fossa
$V_g = A_g L$ (Eq. 12)	V _g = volume total do gás

Fonte: Holos, ano 27, Vol. 1 – Ribeiro (2011).

Para utilização dessas equações, foram selecionados os parâmetros iniciais, comprimento (L), raio da bolsa (r) e a proporção de fase gasosa (p), que deve ser menor que 0,4. Esses parâmetros são escolhidos condicionados ao volume estimado do biodigestor da Equação 1.

4.3. Produtos obtidos

4.3.1. Biogás

O biogás é o produto obtido através da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos (FARIA, 2012). Geralmente, os constituintes do biogás são dióxido de carbono inerte, metano, sulfureto de hidrogênio, quantia diminuta de hidrogênio e umidade (WARD, 2008; INAC, 2020). No entanto, essa composição de gases pode variar de acordo com o tipo de resíduo a ser digerido, condições de funcionamento da biodigestão, assim como o modelo de biodigestor a ser utilizado no processo e entre outros fatores (FARIA, 2012).

4.3.2. Biofertilizantes

Após o processo de biodigestão, quando os resíduos estão diluídos, apresentam alta qualidade para fim de fertilização agrícola. O produto com aspecto de lodo é denominado biofertilizante, e possui elevada quantidade de nitrogênio e de fósforo (BARBOSA; LANGER 2011). A agropecuária tem potencial para utilizar e aprimorar o emprego de biofertilizante reduzindo o impacto da atividade sobre a biodiversidade e o meio ambiente (PAULA, 2020)

4.4. Instalação do biodigestor

De acordo com o Manual de Treinamento em Biodigestão (2008), os procedimentos de instalação do biodigestor são:

- Escavar um buraco no solo, com as medidas definidas no projeto de dimensionamento;
- Escavar um buraco maior, na saída do biodigestor, para acomodar o tonel ou caixa de saída de biofertilizante;
- Abrir a manta plástica de PVC sobre o buraco;
- Colocar tubos e colar mangas da manta no biodigestor;
- Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-o, ou com selo d'água;
- Instalar a tubulação de biogás;
- Iniciar a carga.

Na instalação é muito importante selar a campânula do biodigestor, onde o biogás será armazenado. Para isso podem ser enterradas as bordas da manta de PVC ou usar um selo d'água, que será um pequeno tanque d'água que deve circundar o biodigestor, e a manta de cobertura do biodigestor ficaria presa no fundo do tanque, com a água fazendo a selagem da câmara.

4.5. Materiais para construção de um biodigestor

A instalação de um biodigestor modelo canadense é bastante simples e os materiais necessários são:

- Caixa de alvenaria ou fibra para caixa de entrada;
- Manta de cobertura de PVC flexível de 1,0 mm;
- Tubulação de PVC de 150 mm para esgoto (branca), para a entrada de dejetos e saída de biofertilizante;
- Tubulação e conexões de PVC de 1" para água (marrom) para a condução do biogás;
- Caixa de alvenaria ou fibra para o armazenamento do biofertilizante.

A utilização da tubulação de 1" é utilizada quando o biodigestor alimenta um motor de combustão interna, afim de se obter vazão suficiente para operação, para utilização direta em outros equipamentos deve ser usado o diâmetro de $\frac{3}{4}$ ".

4.6. Operação do biodigestor

A operação diária do biodigestor é bastante simples, e deve seguir os seguintes passos:

- Manter os animais presos no curral durante uma parte do dia ou à noite;
- Coletar o esterco pela manhã e depositar na caixa de entrada;
- Adicionar água em proporção correta, de acordo com o indicado para o substrato utilizado.

4.7. Custo de instalação

Para orçar os custos iniciais do projeto, foram considerados os preços de materiais e equipamentos necessários para instalação do biodigestor. Os valores envolvidos nos cálculos foram levantados após uma análise de mercado em três diferentes empresas.

Estão contempladas nesse cálculo o valor de maquinário para escavação e mão de obra para instalação do projeto. O dimensionamento do motogerador deve ser realizado de acordo com os equipamentos que dependem de eletricidade para seu funcionamento. Aqui, a título de exemplo, foi considerado uma ordenhadeira mecânica, um tanque de resfriamento de leite e um picador de grama.

O valor total encontrado foi de R\$ 28.805,00, porém foi considerado um acréscimo de 10% (dez por cento) ao valor final para possíveis custos adicionais não contabilizados, com um custo final de R\$ 31.685,50, conforme detalhamento no Tabela 1.

TABELA 1 – Custos do projeto.

Equipamentos	Valor Unitário	Quantidade	Total [R\$]
Motogerador	R\$ 10.000,00	1 unid.	R\$ 10.000,00
Manta de PVC flexível de 1,0 mm	R\$ 60,00	135 m ²	R\$ 8.100,00
Tubulação de PVC 150 mm	R\$ 225,00	8 m	R\$ 1.800,00
Tubulação de PVC 40 mm	R\$ 80,00	20 m	R\$ 1.600,00
Flange 40 mm	R\$ 80,00	1 unid.	R\$ 80,00
Fio elétrico 2,5 mm	R\$ 205,00	1 rolo	R\$ 205,00
Caixa de alvenaria	R\$ 1.200,00	2 unid.	R\$ 2.400,00
Máquina de escavação	R\$ 1.500,00	1 diária	R\$ 1.500,00
Filtro de biogás	R\$ 300,00	1 unid.	R\$ 300,00
Usinagem do motor	R\$ 1.500,00	1 diária	R\$ 1.500,00
Registro 40 mm	R\$ 120,00	1 unid.	R\$ 120,00
Mão de obra	R\$ 600,00	2 diárias	R\$ 1.200,00
Total	-	-	R\$ 28.805,00
Total + 10%	-	-	R\$ 31.685,50

Fonte: Própria autoria.

4.8. Manutenção

O biodigestor requer atenção para evitar rasgos na manta, e evitar reparos. A manta de PVC sofre grande desgaste por estar exposta às variações climáticas, devendo ser substituída a cada 5 anos. Deve-se verificar também as condições da tubulação para se evitar vazamentos.

A quantidade de biogás gerado depende diretamente das condições climáticas da região, uma vez que a temperatura da biomassa determinará a velocidade das a velocidade das reações anaeróbias que ocorrerá na câmara de fermentação.

A manutenção do motogerador é mais simples, contemplando troca de óleo e de filtro de óleo e substituição da vela de ignição, e deve ser realizada a cada 3 meses de operação do sistema.

5. DISCUSSÃO

As principais vantagens relacionadas a utilização de biodigestores são o baixo investimento de implantação e manutenção do sistema, facilidade de operação e controle, período prolongado de vida útil do equipamento, utilização de pequenos espaços dentro das propriedades, redução da contaminação do solo e da água, promoção da remoção eficiente de dejetos de diversas categorias, o que permite que a tecnologia seja difundida em pequena escala reduzindo a dependência de grandes interceptores, proporcionando melhor condicionamento do solo, reciclagem de nutrientes e aumento da capacidade de produção das culturas. Além de gerar produtos finais como biogás e o biofertilizante (SILVA et al., 2012; JUNQUEIRA, 2014).

Por outro lado, apresentam algumas desvantagens como o consumo de água no processo, a necessidade de controle de temperatura do biodigestor, o acúmulo de resíduos orgânicos para manter o equipamento sempre funcionando e o custo de instalação; caso não seja dimensionado de maneira correta e mantida a manutenção adequada poderá causar danos ao solo e ao lençol freático, bem como a manutenção dos elementos que compõem o sistema.

6. CONCLUSÃO

Os biodigestores foram criados para auxiliar na destinação adequada dos resíduos de origem animal, objeto deste estudo. No entanto, verifica-se que os esforços voltados para a gestão de resíduos no país ainda são muito pequenos.

Em relação aos benefícios dos biodigestores e geração de energia, os produtores podem agregar valor na atividade agropecuária, destinando corretamente os dejetos animais com a produção de fertilizante e energia suficiente para atender as demandas da propriedade, inclusive, promover a venda do excedente desta energia renovável para companhias elétricas por meio de políticas públicas que permitem tal compra. Contudo, mais pesquisas nesse campo precisam ser realizadas, com o escopo de se reunir maiores informações sobre a qualidade do biogás produzido, rendimento e custos de instalação, visando incrementar o uso da tecnologia para as propriedades rurais.

Em contrapartida, resíduos tratados representam economia ao produtor frente aos custos com a importação de fertilizantes químicos, tornando-se um recurso importante para se obter adubo,

produto que pode ser comercializado. Ademais, o uso de biodigestores nas unidades agropecuárias vem contribuindo para a mitigação de gases do efeito estufa.

Diante do exposto, infere-se que, a partir do material que, a princípio, iria ser descartado, pode-se obter vantagem para a propriedade rural, conforme já mencionado; cabe ao Poder Público implementar políticas públicas e fomentar o estudo para se garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil, em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AIRES, A.M.; LUCAS JÚNIOR, J.; PRAES, M.F.M.; NASCIMENTO, J.; CARDOSO, J. Quantificação e caracterização de biogás gerado na biodigestão anaeróbica de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida. III Symposium on Agricultural, São Pedro-SP, 2013.

BARBOSA, G. LANGER, M. O uso de biodigestores em propriedade rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. 2011. 9f. Unesco & Ciência, Joaçaba, v.2, n.1, p 87-96, Xanxerê, 2011.

BARREIRA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2011.

BARREIRA, Paulo. Biodigestores - Energia, Fertilidade e Saneamento Para Zona Rural – São Paulo – Ícone, 1993.

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores convencionais. Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus Jaboticabal. Jaboticabal, São Paulo, 1990.

CAMPOS, J. R. (Org) Tratamento de esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro – RJ: ABES-FINEP, 1999, 435 p.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 5, 2 ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

COMASTRI FILHO, J. A. BIOGÁS: Independência Energética do Pantanal Matogrossense. EMBRAPA, Corumbá-MS, circular técnica nº 9, out. 1981.

CUNHA, M.A. & CONSONI, A.J. Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. In: Bitar, O.Y. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1995. Cap. 4.6, p. 217-227.

DEGANUTTI, R, et al. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. In: 40 encontros de energia meio rural. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP. São Paulo, 2002.

INAC, S.; UNVERDI, S. O.; MIDILLI, A. *Global warming, environmental and sustainability aspects of a geothermal energy based biodigester integrated SOFC system. International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 60, p. 35039-35052, 2020

FARIA, R. A. P. Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FONSECA, F. S. T, et al. Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade de Suinocultura na Cidade de Balsas - MA: um Estudo de Caso. In: congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Universidade Estadual do Maranhão. Maranhão, 2009.

GASPAR, R. M. B. L. Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2013.

JUNQUEIRA, S. L. C. D., Geração de Energia Através de Biogás Proveniente de Esterco Bovino: Estudo de Caso na Fazenda Aterrado (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

LANSING, S.; BOTERO, R. B.; MARTIN, J. F. *Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters*. Bioresource Technology, Oxford, v. 99, n. 13, p. 5881-5890, July 2008.

LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L.W.; ZEEMAN G. (1996). *Biological wastewater treatment*. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture notes. Wageningen Agricultural University, January 1996.

LOUZADA, A. G. Avaliação da Atividade Metanogênica Específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BF_s. 2006. 145 f. dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. de F. Construção e Operação de Biodigestores. Viçosa-MG, CTP, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, disponível em <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html#:~:text=A%20Lei%20n%C2%BA%2012.305%2F10,manejo%20inadequado%20dos%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos>, visitado em 22 de junho de 2024.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIRAGASHI, M.M. Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos. Série Documentos n. 115. Embrapa Suínos e Aves: Concórdia, 2006.

OLIVER, A. P. M. et al. Manual de Treinamento em Biodigestão. Bahia, 2008.

ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.639-647, set./dez.2007.

PALHARES, J. C. P. Biodigestores, a solução?. Embrapa Suínos e Aves-Artigoem periódico indexado (ALICE), 2007.

PAULA, V. R. Uso de biofertilizante como agente promotor da bioeconomia na agropecuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 1., 2020, Gramado: Ufrgs. Anais [...]. Gramado: Ufrgs: Gcv, 2020. p. 275-279.

QUEVEDO, HELENO (2011). Avaliação dos Modelos Hashimoto e MAS-III.D para produção de metano com dejetos suínos. Dissertação (mestrado) – escola de Engenharia, Universidade federal do ABC, 2011.

RÊGO, J. O.; BRANDÃO, M. C. P.; NETO, A. B. T.; CAVALCANTI, L. A. P. Análise da viabilidade de geração de energia e produção de biofertilizantes a partir de dejetos de animais em uma fazenda no Sul da Bahia. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 75312-75329, 2021.

RIBEIRO, Deyvid da Silva. DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DE UM BIODIGESTOR EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO GÁS/FASE LÍQUIDA. HOLOS, [S. l.], v. 1, p. 49–56, 2011. DOI: 10.15628/holos.2011.269. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/269>. Acesso em: 21 jun. 2024.

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F.M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal v. 27, n.3, p. 658-, 2007.

SILVA, F.M.; LUCAS JÚNIOR, J.; BENINCASA, M.; OLIVEIRA, E. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.3, p.608-614, 2005.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P. D.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. D. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. *Physico-chemical evaluation of an effluent treated in anaerobic biodigester regarding its efficiency and application as fertilizer*. *Química Nova*, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.

SOUZA, S. N. M, et al. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. *Revista Maringá da Universidade do Estado do Paraná – Unioeste*, Cascavel, v. 26, no 2, p. 127-133, 2004.

TOLEDO, H. O. P.; PROENÇA, M. B. Justiça social, tecnologia e sustentabilidade. *Caderno Progressus*, v. 2, n. 3, p. 67-74, 2022.

WARD A.J.; HOBBS P.J.; HOLLIMAN P.J.; JONES D. L. *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources*. *Bioresource technology*, v. 99, n. 17, p. 7928-7940, 2008.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.