

**INSTITUTO FEDERAL**  
**MINAS GERAIS**

Aryelton Dias Gonçalves  
Douglas Melo Santos  
Gabriel Sander Pereira de Oliveira  
Jhonata Igor Carvalho Ferreira  
Leandra de Campos Gabriel

## **Dimensionamento e análise da viabilidade técnica e econômica de um biodigestor tubular.**

Arcos - MG

9 de julho de 2018

# Resumo

Os efeitos das mudanças climáticas sentidas nos últimos anos, fizeram com que a sociedade cada vez mais, buscasse fontes de energia renováveis e soluções ecologicamente corretas. Exemplo disso foi o protocolo de Kyoto, onde países integrantes da Organização das Nações Unidas, comprometeram-se a reduzir a emissão de gases do efeito estufa. O processo de biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de animais em propriedades rurais têm sido uma alternativa de produção de energia limpa, aliada a diminuição das emissões de metano e dióxido de carbono na atmosfera pela destinação correta dos resíduos. O presente trabalho avalia o projeto de instalação de de biodigestor tubular na Fazenda Mato Grosso, em Pompéu-MG, a qual apresenta um alto fluxo de dejetos bovinos por ser uma grande produtora de leite. A partir das visitas feitas na propriedade, foi realizado um estudo de caso para coletar os dados necessários para o projeto do biodigestor. Considerando o fluxo diário de dejetos, o volume calculado da caixa de biodigestão foi de  $612,6 m^3$  com uma estimativa de produção de biogás de cerca de  $400 m^3$  diários. Foram calculados os esforços dos dejetos na câmara de biodigestão e também os esforços do gás na geomembrana do gasômetro. Um mini biodigestor foi construído para a análise da produção de metano, principal constituinte do biogás, a partir de uma amostra dos dejetos da fazenda. No entanto, houveram alguns problemas que dificultaram a medição precisa do sensor de detecção de metano, principalmente a formação de umidade no recipiente em que estava colocado o sensor. Foi necessário reconstruir o protótipo, testando uma nova configuração de modo que o sensor pudesse executar as medições corretamente. Realizando um estudo com o intuito de avaliar a viabilidade econômica da implementação deste biodigestor, assim como a regulamentação do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), com o intuito de obter uma receita com a venda de créditos de carbono. O projeto mostrou-se com um grande potencial de produção de energia elétrica, e proporcionaria uma redução de aproximadamente R\$ 11.527,05 na conta de energia. Com um bom tratamento da biomassa, ainda é possível obter uma renda extra de R\$ 38.033,00 com a utilização do biofertilizante (subproduto de biodigestor). A comercialização dos créditos de carbono, apesar de extremamente burocrático e pouco difundido, apresentou uma rentabilidade anual de quase R\$ 40.000,00. O projeto mostrou-se viável economicamente, que apesar do alto valor inicial investido, teria um *payback* entre os anos 1 e 2.

**Palavras-chaves:** Biodigestor tubular, biogás, geração de energia, créditos de carbono.

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	3
2	OBJETIVOS . . . . .	3
3	CRONOGRAMA . . . . .	4
4	JUSTIFICATIVA . . . . .	4
5	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	5
5.1	O Biogás . . . . .	5
5.2	Viabilidade econômica . . . . .	6
5.3	Biodigestores . . . . .	6
5.4	Biofertilizante . . . . .	7
5.5	Crédito de Carbono . . . . .	7
6	METODOLOGIA . . . . .	8
6.1	Visita feita à fazenda Mato Grosso . . . . .	8
6.2	Dimensionamento do biodigestor . . . . .	8
6.3	Equações químicas de formação do biogás . . . . .	12
6.3.1	Remoção do gás sulfídrico do biogás . . . . .	14
6.4	Esforços internos no biodigestor . . . . .	14
6.5	Cálculo da viabilidade econômica . . . . .	16
6.5.1	Cálculo do VPL, TIR e <i>payback</i> . . . . .	20
6.6	Orçamento da construção do mini biodigestor . . . . .	21
6.7	Metodologia de construção do mini biodigestor . . . . .	22
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .	22
7.1	Resultados do dimensionamento . . . . .	22
7.2	Resultados do cálculo de esforços no biodigestor . . . . .	23
7.3	Resultados da Viabilidade econômica . . . . .	24
7.4	Resultados do mini biodigestor e e análise da produção de metano . . . . .	24
8	CONCLUSÕES . . . . .	25
	REFERÊNCIAS . . . . .	28
	ANEXO A – TABELA DO CATÁLOGO INOVAGEO . . . . .	30

# 1 Introdução

Com a crescente preocupação com desenvolvimento de práticas sustentáveis e a busca por fontes de energia limpa, diversas alternativas vem sendo desenvolvidas para uma melhor utilização dos recursos naturais, como por exemplo o uso de energia solar em residências no qual a produção primária de energia elétrica por painéis fotovoltaicos, aumentou 395 % entre 2003 e 2013 (SILVA, 2015).

Outro exemplo é o biodigestor, que é um sistema de reaproveitamento de matéria orgânica para a produção de biogás, um gás orgânico que pode ser utilizado para produção de energia elétrica ou aquecimento. Este sistema pode ser empregado tanto nas indústrias como em aterros sanitários.

Os resíduos da pecuária são constituídos por dejetos e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético. Esse tipo de resíduo é uma importante matéria-prima para a produção de biogás (PRATI, 2010). No Brasil, esta tecnologia tem sido muito aceita devido a intensa atividade agropecuária, que participa com 23 % a 24 % do PIB, segundo dados do IBGE, 2017.

## 2 Objetivos

### Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica da implementação de um biodigestor de modelo tubular na fazenda Mato-Grosso, situado no município de Pompéu, Minas Gerais. O intuito é verificar a possibilidade da produção de energia elétrica a partir do biogás produzido e também demonstrar a economia gerada pelo uso ou venda do biofertilizante, oriundo do mesmo processo.

### Objetivos Específicos

- Estabelecer uma relação entre a universidade e a Fazenda Mato-Grosso, podendo coletar dados, tais como número de animais, consumo de energia, estimativa do fluxo de dejetos e estrutura do espaço físico.
- Com base no volume de matéria orgânica disponível, estimar a quantidade de biogás gerada, dimensionando a caixa de carga e o gasômetro, visando a economia de materiais.
- Extrair dados a partir de uma amostra de dejetos na fazenda Mato Grosso, com o intuito de obter um gráfico de produção do metano por volume de biogás em função do tempo de

armazenamento, podendo ser influenciado por diversos fatores como alimentação do gado, temperatura, umidade.

- Calcular os esforços da estrutura de alvenaria, no solo, como também os esforços suportados pela lona devido a pressão realizada pelo biogás.

### 3 Cronograma

Tabela 1 – Cronograma

Atividade	Quinzenas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Revisão bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x
Visitas nas fazendas da região			x					
Relatório e apresentação parcial		x	x	x				
Dimensionamento e viabilidade técnica			x	x	x	x	x	
Aquisição do sensor MQ-4					x			
Construção do mini biodigestor				x	x	x	x	x
Viabilidade econômica					x	x	x	
Produção do Relatório e plano de projeto		x	x	x	x	x	x	x
Apresentação TAI 3							x	x

### 4 Justificativa

O aproveitamento de resíduos agropecuários, em geral dejetos de animais têm sido campo de pesquisa e desenvolvimento. A transformação da matéria orgânica em biogás e biofertilizante contribui para a diminuição a poluição nas zonas rurais, como emissão de metano, dióxido de carbono e a contaminação dos lençóis freáticos e rios. O biogás é versátil no modo que pode ser usado, sendo geralmente para produção de energia elétrica e aquecimento. Os gases de efeito estufa evitados com a implementação do biodigestor, podem ser posteriormente negociados e vendidos como créditos de carbono.

De acordo com Figueiredo (2017), para o desenvolvimento dessa energia, o país necessita de mais investimentos e incentivos por parte do governo. A disseminação desta fonte energética só não é mais popularizada devido ao custo inicial para a instalação dos biodigestores.

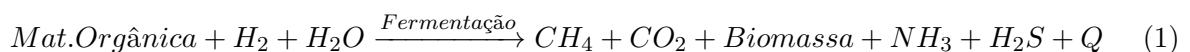
## 5 Referencial teórico

### 5.1 O Biogás

O biogás caracteriza-se por uma mistura gasosa, composto em média por 55 – 65% de metano ( $CH_4$ ), 35 – 45% dióxido de carbono ( $CO_2$ ) em maiores proporções, com outros gases em concentrações menores como Nitrogênio (N) 0 – 3%, Oxigênio (O), Hidrogênio (H) e gás sulfídrico ( $H_2S$ ) 0 – 1% (PRATI, 2010). A sua produção se dá com a decomposição de matéria orgânica pela fermentação do composto. O biogás tem poder energético elevado semelhante ao gás natural, visto que é uma fonte renovável pois pode praticamente ser produzido em qualquer local que há disponibilidade de biomassa.

#### Processo químico de formação do biogás

O processo químico de formação do biogás envolve diversos compostos expostos a variação de temperatura e umidade. Entre os compostos contidos nos dejetos, há o nitrogênio (N), pentóxido de difósforo ( $P_2O_5$ ), óxido de potássio ( $K_2O$ ). Como descrito por Utembergue et al. (2012), além do hidrogênio molecular ( $H_2$ ), água ( $H_2O$ ) e os carbonos (C) encontrados nas estaturas orgânicas, gerando biomassa, biogás e calor (Q). Resumidamente pode-se montar a seguinte equação:



Para a produção do metano contido no biogás, o composto orgânico passa por 4 processos: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese.

A primeira etapa é a hidrólise onde acontece a quebra das moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos. Logo a seguir ocorre a acidogênese, onde as substâncias da hidrólise são transformadas por bactérias fermentativas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e alcoóis, junto com hidrogênio e gás carbônico. Na terceira etapa chega-se à acetogênese, material resultante da acidogênese que são transformados em ácido acético, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas. E por fim o metanogênese onde o metano é produzido pelas bactérias metanogênicas. (FIGUEIREDO, 2017)

#### Poder calorífico do Biogás

O poder calorífico mede a quantidade de energia liberada por unidade de massa ou volume na combustão completa de um material utilizado como combustível .

O calor de combustão mede a variação da entalpia, quantidade de calor liberada pela queima de um mol de substância. Uma das vantagens da utilização do biogás como fonte energética é o fato dele possuir um elevado calor de combustão.

De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode variar entre 4,95 a 7,92  $kWh/m^3$  para o poder calorífico inferior e superior, respectivamente.

## Utilização do Biogás

A diversidade da utilização do biogás é bastante ampla, pode ser usado para geração de energia elétrica e térmica, iluminação, como combustível para veículos, aquecimento, entre outras utilidades (FIGUEIREDO, 2017). Em propriedades rurais quando não é utilizado para geração de energia, seja pelo alto custo de implementação em propriedades pequenas ou por não conseguir suprir totalmente a demanda de energia, o biogás é aproveitado no consumo doméstico substituindo o gás de cozinha, ou para aquecimento.

### 5.2 Viabilidade econômica

Para a aprovação de um projeto, devem ser considerados critérios financeiros e econômicos. Tendo isso em mente, faz-se imprescindível a análise da viabilidade econômica de qualquer projeto a ser realizado.

Para se analisar a viabilidade de um investimento de capital, é necessário a ter em mente os riscos da incerteza de cada projeto e o modo como esse capital foi levantado (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

A análise da viabilidade econômica de um projeto, consiste em realizar análises que fornecerão dados que, posteriormente, poderão ser utilizados como critérios de comparação e permitirão uma tomada de decisão mais coerente para o investidor (ALVES, 2017).

Se tratando de biodigestores, deve ser levado em consideração a economia gerada pela utilização do biogás, na produção de energia elétrica ou na sua utilização para fins de aquecimento, na utilização do biofertilizante obtido no processo, ou na venda desse biofertilizante, economia gerada pela utilização dos créditos de carbono, e os custos de manutenção e mão de obra para o funcionamento do biodigestor.

Para a análise da viabilidade econômica do biodigestor, serão empregadas ferramentas e metodologias da matemática financeira, como: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *Payback* descontado. Tais ferramentas permitem analisar a viabilidade de um investimento, ou analisar entre dois investimentos, qual trará um maior ou mais rápido retorno financeiro (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

### 5.3 Biodigestores

Um biodigestor é uma estrutura que geralmente consiste em duas partes, uma câmara de biodigestão, recipiente fechado onde ocorre a fermentação anaeróbica da matéria orgânica,

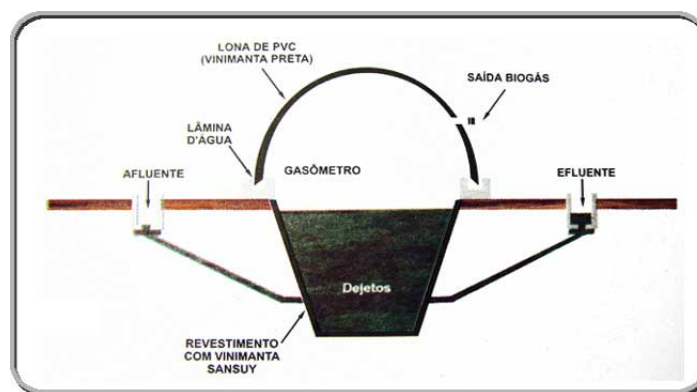
produção do biogás e biofertilizante, e o gasômetro, onde o biogás é armazenado (ALVES, 2017).

Existem vários modelos de construção de biodigestores, tendo assim uma ampla aplicabilidade. Os tipos frequentemente utilizados são os do tipo contínuo, no qual o fluxo de dejetos é diário, sendo eles o modelo tubular, indiano e chinês. O modelo tubular, no qual foi adotado para este projeto é descrito a seguir.

### Modelo Tubular

Neste modelo, o gasômetro é uma câmara de plástico que expande quando o biogás é produzido e a caixa de carga feita em alvenaria (ALVES, 2017). Este modelo consegue armazenar um grande volume de biogás sendo preferencialmente escolhido em casos no qual o fluxo dejetos diário é alto. A Figura 1 esquematiza o modelo tubular.

Figura 1 – Modelo Tubular



Fonte – (FIGUEIREDO, 2017)

Uma das vantagens da sua utilização é que devido as conexões serem de alvenaria, há um menor risco de entupimento. A câmara do gasômetro acresce o custo total de instalação, porém com uma grande área que permite uma maior exposição solar, há um aumento da produção de biogás em dias quentes (FIGUEIREDO, 2017).

## 5.4 Biofertilizante

Outro subproduto da digestão anaeróbica é o biofertilizante. Os resíduos, após passarem pelo tempo de retenção no biodigestor, quando diluídos em água apresentam alta qualidade para uso como fertilizante agrícola (PORTES, 2005). Além da produção do biogás, os excelentes resultados do biofertilizante em lavouras atraíram a atenção dos donos de propriedades rurais, no qual é bastante comum de ser encontrado em propriedades com um alto fluxo de dejetos (FIGUEIREDO, 2017).

## 5.5 Crédito de Carbono

Com o intuito de promover o bem-estar geral, e manter boas condições de vida para as próximas gerações, a Organização das Nações Unidas (ONU), criou um mecanismo para um



desenvolvimento mais sustentável, onde empresas nos países desenvolvidos teriam um limite de gases de efeito estufa (GEEs) que poderiam ser lançados na atmosfera (RIBEIRO, 2005).

Considerando a inviabilidade de uma redução completa nas emissões, estabeleceu-se por meio do Protocolo de Kyoto, o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), onde as empresas podem financiar projetos de redução da emissão desses gases (como o biodigestor) nos países em desenvolvimento, e em contrapartida, poderão emitir em seus territórios, a quantidade de gases evitados pelos países anfitriões do projeto (RIBEIRO, 2005).

Na prática, os créditos de carbono funcionam da seguinte forma: Cada tonelada de  $CO_2$  que deixou de ser lançado na atmosfera, equivale a um crédito de carbono; esses créditos de carbono podem ser posteriormente ser comercializados, vendendo-os para países desenvolvidos. O MDL auxilia então, na adoção de práticas ecológicas, fomentando um desenvolvimento sustentável nos países integrantes do acordo.

## 6 Metodologia

### 6.1 Visita feita à fazenda Mato Grosso

Situada no município de Pompéu - MG, a propriedade rural é constituída por um rebanho de 1300 cabeças, sendo 400 vacas em lactação. O rebanho fica em *Compost Barn*, (sistema de confinamento para as vacas leiteiras, que visa melhorar o conforto e bem estar do animal) Figura 2, isso faz com que o rebanho aumente seus índices de produtividade.

Figura 2 – Gado em *Compost Barn*



Fonte – Próprios Autores

### 6.2 Dimensionamento do biodigestor

Levando em consideração os dados obtidos através da visita feita na fazenda Mato Grosso, será dimensionado um biodigestor canadense ou fluxo tubular, uma vez que esse é um biodigestor

contínuo, possui um custo relativamente baixo e uma elevada capacidade de armazenamento de dejetos.

A fazenda possui um rebanho de 1300 cabeças, sendo 400 vacas em lactação. Para o dimensionamento do biodigestor utilizou-se como base a quantidade dos dejetos das vacas em lactação, já que essas ficam confinadas, contribuindo para o fornecimento contínuo de matéria prima e uma elevada produção de biogás. A tabela 2 mostra quantidade de dejetos produzidas por alguns animais e a relação esterco água.

Tabela 2 – Quantidade de dejetos e relação esterco/água

Animal	Esterco por dia (Kg)	Relação esterco/água
Suíno	4.9	1:2
Vaca leiteira	25.0	1:1

Fonte – (FIGUEIREDO, 2017)

Após análise da tabela, conclui-se que a fazenda possui uma produção de 10.000 kg de dejetos dia, uma vez que possui 400 vacas. A relação de esterco água é de 1:1, logo 10.000 kg de dejetos precisaria de 10.000 l de água. Os dejetos são retirados do composto através de uma raspagem feita quatro vezes ao dia, caindo na caixa mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Caixa onde são depositados os dejetos



Fonte – Próprios Autores

A metodologia de dimensionamento do biodigestor terá como base o modelo de (ALVES, 2017), no qual são estimadas as dimensões geométricas dos componentes do biodigestor em função da quantidade de dejetos produzida e tempo de retenção. A seguir são descritos os procedimentos:

#### Volume da carga diária de matéria orgânica

A carga diária de biomassa é a soma do volume de dejetos e o volume de água diário no qual o volume de água calculado anteriormente foi de  $10 m^3$ . Dado que a quantidade de dejetos estimado é de aproximadamente 10.000 kg, é necessário estimar o volume, dado que a densidade do esterco bovino segundo (SOUZA; JUNIOR; OLIVEIRA, 2014) é de  $960 kg.m^{-3}$ , tem-se o volume de dejetos diários de aproximadamente  $10,42 m^3$ . O volume total diário é dado por  $V_t = 20,42 m^3$

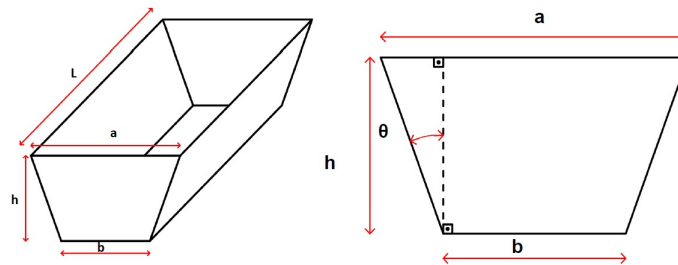
## Volume da caixa de biodigestão

Dado que o biodigestor precisa de um tempo mínimo para começar a produzir biogás, tempo necessário para o desenvolvimento das bactérias anaeróbias, o volume da caixa de biodigestão é calculado em função deste tempo de retenção, que se tratando de dejetos bovinos varia entre 20 e 30 dias (FIGUEIREDO, 2017). Tomando o tempo máximo nessa faixa, tem-se que o volume da caixa é,  $V_{caixa} = 30 \cdot V_t$ .

## Determinação das dimensões da caixa

Em biodigestores tubulares a caixa de biodigestão é construída conforme a geometria apresentada na Figura 4, de secção transversal trapezoidal.

Figura 4 – Caixa de Biodigestão



Fonte – (ALVES, 2017)

As medidas da secção transversal mostrada na figura 4 são as incógnitas que precisam ser determinadas. O ângulo  $\theta$  de  $20^\circ$  é adotado usualmente como referência média (ALVES, 2017). A altura  $h$  segundo (SILVA, 2015 apud ALVES, 2017) varia entre  $2.5\text{ m}$  e  $3.5\text{ m}$  para biodigestores com volume entre  $100 - 500\text{ m}^3$  e  $500 - 2000\text{ m}^3$  respectivamente. A partir da geometria da secção transversal e das medidas adotadas com base na literatura, de acordo com a metodologia é estabelecido relações entre as dimensões.

A primeira relação é dada entre a largura superior da caixa ( $a$ ) e comprimento da caixa ( $L$ ), em uma proporção de 1:5 ( $L = 5 \cdot a$ ), que deve ser respeitada para a manutenção das características do fluxo hidráulico do biodigestor tubular (ARMIN, 2004 apud ALVES, 2017). As próximas relações entre as dimensões são dadas em função do ângulo de inclinação da parede da caixa ( $\theta$ ), altura ( $h$ ) e largura da base menor ( $b$ ).

Já sabendo o volume da caixa e a altura correspondente, primeiramente calcula-se a largura da base  $b$  pela solução da seguinte equação:

$$5 \cdot h \cdot b^2 + 5,459 \cdot h^2 \cdot b + 1,3245 \cdot h^3 - V_{caixa} = 0 \quad (2)$$

Após encontrado a largura da base menor, determina-se a largura da base maior ( $a$ ) e o comprimento ( $L$ ) da caixa pelas seguintes relações:

$$a = 0.7279 \cdot h + b \quad L = 3.6395 \cdot h + 5 \cdot b \quad (3)$$

### Estimativa da quantidade biogás gerada

A produção de biogás por quilograma de dejetos bovinos pode ser aproximado por  $0,04 \text{ kg/m}^3$  segundo (FIGUEIREDO, 2017) e (COLATTO; LANGER, 2011), e considerando que a fazenda produz  $10.000 \text{ kg}$  diários de dejetos, a quantidade estimada de biogás produzido é de  $400 \text{ m}^3$ .

### Estimativa das dimensões do gasômetro

O gasômetro de um biodigestor tubular usualmente é construído de uma cúpula de lona plástica de PVC, no qual seu volume deve ser capaz de armazenar a quantidade máxima de biogás produzido de  $400 \text{ m}^3$  estimado anteriormente. A área da lona vista na Figura 5 será estimada para saber seu custo, dado que sua secção transversal será aproximada para um setor circular.

Figura 5 – Lona plástica



Fonte – (TORRES; PEDROSA; MOURA, 201)

É importante ressaltar que a área da lona que deverá ser comprada terá uma área maior, de modo que na construção do biodigestor tubular a lona é fixada em canaletas abaixo do solo, em que água circula nas extremidades não permitindo vazamentos com uma melhor fixação da lona, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Canaletas

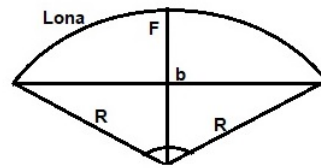


Fonte – (VIENNY; MENDEZ, )

Sabendo o volume de gás que deverá ser contido pelo gasômetro, é possível estimar a área total da lona, encontrando o valor do raio ( $R$ ) da secção transversal mostrada na Figura 7. abaixo.

Onde ( $R$ ) é raio da circunferência da lona, ( $b$ ) a largura superior da caixa de dejetos e ( $F$ ) a altura da lona.

Figura 7 – Área secção transversal do gasômetro



Fonte – Próprios autores

A área da secção transversal do gasômetro pode ser encontrada dado que:

$$A_t = V/L \quad (4)$$

A área calculada acima também pode ser encontrada pela seguinte equação, que permite encontrar o raio  $R$  da secção transversal necessário para estimar a área da lona:

$$A_t = \frac{\pi \cdot R^2 \theta}{2 \cdot \pi} - \frac{b \cdot (R - F)}{2} \rightarrow \frac{((R^2 \cdot \theta) - (b \cdot R) + (b \cdot F))}{2} = A_t \quad (5)$$

O ângulo  $\theta$  do setor circular e altura  $F$  do gasômetro são adotados como  $120^\circ$  e  $2\text{ m}$  respectivamente por restrições de construção do biodigestor.

A área da lona é dada pela seguinte equação:

$$A_L (\text{Área Lona}) = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{\theta}{360}) * L \quad (6)$$

### Caixa de entrada e saída

A caixa de entrada, onde a matéria orgânica é armazenada antes de entrar na caixa de biodigestão, terá que armazenar a quantidade diária de dejetos acrescido de 20% (ALVES, 2017). A caixa de saída, onde é retirado o biofertilizante deve ter um volume 3 vezes maior que a caixa de entrada e ambas são comumente construídas na forma de paralelepípedo com profundidade de 1 m.

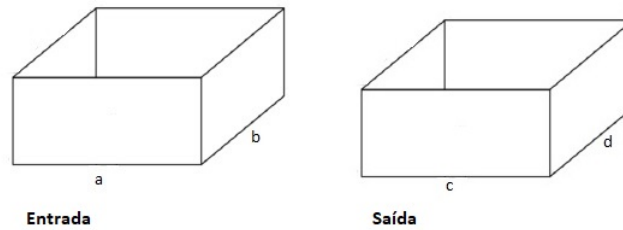
Para o volume diário de  $20.42\text{ m}^3$  as dimensões da caixa de entrada e saída mostradas na Figura 8 são dadas por: .

$$a = b = 4.95\text{ m} \quad c = d = 8.57\text{ m}$$

## 6.3 Equações químicas de formação do biogás

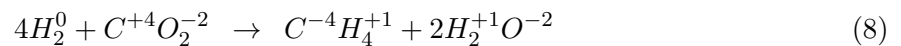
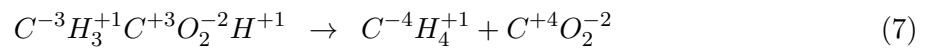
O metano, principal componente do biogás para a utilização como combustível é produzido na quarta fase do processo de formação de biogás, a metanogênese. Dependendo do tipo de

Figura 8 – Caixas de entrada e saída



Fonte – Próprios autores

bactérias presentes, o metano se forma pela redução do  $CO_2$  ou acetato (ROCHA, 2016) conforme as equações mostradas abaixo:



Onde, os subscritos acima dos elementos são os NOX dos elementos de acordo com as regras de atribuição de NOX apresentadas em (BRADY; HYSLOP; JESPERSEN, ).

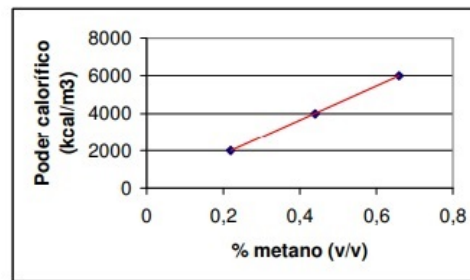
Na equação 7 podemos perceber a diminuição do NOX do carbono determinando ele o agente oxidante e o aumento do numero no outro carbono tornando assim agente redutor. Analisando analogamente a equação 8, podemos determinar o carbono sendo agente oxidante e o hidrogênio agente redutor.

As etapas anteriores da digestão anaeróbia estão interligadas de modo que a concentração de metano depende da produção do ácido acético e hidrogênio, que depende da transformação dos compostos orgânicos em ácidos graxos voláteis (ROCHA, 2016).

A composição do biogás quando contém altas concentrações de compostos não combustíveis como  $CO_2$  e água, reduz sua eficiência no processo de queima (PECORA, 2006) dado a redução no poder calorífico pela redução da concentração do metano. A Figura 9 a seguir mostra graficamente a relação entre o poder calorífico e a porcentagem de volume de metano.

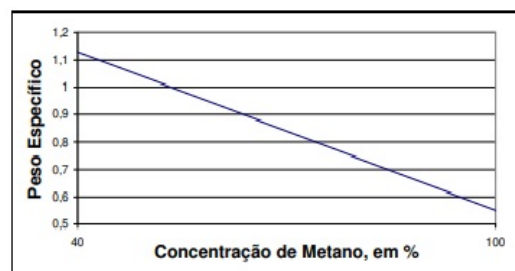
Há outro fator que prejudica a queima do biogás, a umidade, no qual deve ser reduzida ao longo do processo de produção pois afeta a temperatura de chama, limites de inflamabilidade, redução do poder calorífico e taxa ar-combustível do biogás (PECORA, 2006). Outra influência do aumento concentração de metano é na redução do peso específico do biogás, parâmetro importante para o armazenamento do biogás (PECORA, 2006). Essa relação é mostrada graficamente na Figura 10.

Figura 9 – Poder calorífico do biogás e concentração de metano



Fonte – (PECORA, 2006)

Figura 10 – Peso específico do biogás e concentração de metano

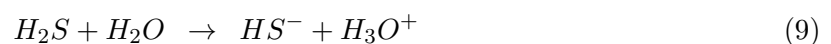


Fonte – (PECORA, 2006)

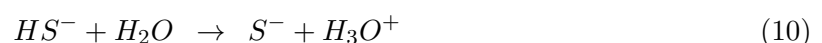
### 6.3.1 Remoção do gás sulfídrico do biogás

Apesar da baixa concentração de ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), a presença deste composto é responsável pelo mal cheiro do biogás quando não tratado. Para o ser humano, o  $H_2S$  tem grande potencial irritante, agindo primeiramente nos olhos e nariz. A exposição severa a esse gás pode causar coma imediato com ou sem convulsão e até a morte (FRARE; GIMENES; PEREIRA, ). Na construção do mini biodigestor, o processo de remoção deste componente indesejado se dá na sua dissociação em meio aquoso.

O  $H_2S$  é solúvel em água e se caracteriza como um ácido fraco. A dissociação se dá em duas etapas, inicialmente produzindo o ânion hidrossulfeto ( $HS^-$ ) e o cátion hidrônio ( $H_3O^+$ ) pela seguinte equação:



Então a segunda etapa formaram o ânion sulfeto, pela equação a seguir:



## 6.4 Esforços internos no biodigestor

Um fator primordial para o dimensionamento e instalação do biodigestor são as forças e pressões no qual a geomembrana e a caixa de biodigestão sofrem a partir da adição de dejetos e da produção de biogás pela fermentação das bactérias, desta forma, considerando somente as

forças ocasionadas pelo que esta dentro da câmara sem considerar a pressão exercida pela terra por fora do biodigestor é possível calcular a pressão máxima que o gás juntamente com os dejetos aplicam no biodigestor.

### Pressão do biogás exercida na geomembrana

A partir do formato da geomembrana e seguindo a seguinte relação  $(r/t) \geq 10$  é possível uma aproximação para vasos de pressão de paredes finas (HIBBELER, 2010), onde  $r$  é o raio ( $r=2m$ ), ou seja, a altura máxima da geomembrana considerando a capacidade máxima de armazenamento, e  $t$  é a espessura da mesma.

Em posse do catálogo da empresa Inovageo conforme visto no anexo A na figura 13 com as especificações da geomembrana e sabendo que a espessura poderia variar somente de  $0.008\text{ m}$  à  $0.002\text{ m}$ , é demonstrado na tabela 10 exibida no capítulo de resultados e discussões que a aproximação por vasos de pressão de paredes finas é possível a partir da relação citada acima.

Vale ressaltar que as tensões de escoamento já estão com os fatores de segurança embutidos.

De acordo com (HIBBELER, 2010) a tensão de escoamento de um vaso de pressão de parede fina por se tratar de um rompimento transversal, é dado por:

$$T_e = \frac{P \cdot r}{t} \quad (11)$$

Onde  $P$  é a pressão exercida pelo gás na geomembrana,  $r$  a altura máxima atingida pela lona conforme a produção de biogás, ou seja, o raio considerando ser vaso de pressão de paredes finas e  $t$  a espessura da lona anteriormente citada. Então já tendo obtido a tensão de escoamento com o fator de segurança, a partir da manipulação da fórmula obtém-se os valores de pressão de acordo com a espessura e tensão de cada modelo de lona.

### Pressão máxima na câmara de biodigestão

Levando em consideração que a pressão na câmara aumenta de acordo com a profundidade da mesma, foi preciso calcular além da pressão do gás, uma pressão exercida pelo conjunto dejetos/gás na parte mais funda da câmara onde esta seria descrita como a pressão do gás somada com a pressão dos dejetos ( $P_d$ ).

$$P_f = P + P_d \quad (12)$$

Para este cálculo, adotou-se os dejetos como material incompressível, considerando a densidade como linear, calculada a partir da fórmula  $P_d = \rho \cdot g \cdot h$  e assim obtendo os valores exibidos nos resultados e discussões, com os valores da pressão dos dejetos ( $P_d$ ) e da pressão final ( $P_f$ ) para cada modelo de lona.

### Carregamentos nas paredes frontais e laterais da câmara de biodigestão

Obtendo as pressões finais ( $P_f$ ) e iniciais ( $P$ ), é possível o cálculo do carregamento distribuído ( $w$ ) nas paredes laterais e frontais da câmara de biodigestão conforme figura 4, os



carregamentos são distribuídos em máximos e mínimos onde o carregamento mínimo utiliza da pressão do gás ou pressão mínima e o máximo utiliza da pressão máxima ou pressão final.

Para o carregamento mínimo nas paredes laterais utiliza-se da fórmula  $w_{min} = P \cdot l$  onde  $P$  é a pressão do gás e  $l$  é o comprimento do biodigestor, já para o carregamento máximo nas paredes laterais  $w_{max} = (P + P_f) \cdot l$  onde  $P_f$  é a pressão final. Então de acordo com a tabela 11 exibida nos resultados e discussões tem-se os valores dos carregamentos máximos e mínimos nas paredes laterais.

Para as paredes frontais, obtém-se o carregamento mínimo sendo  $w_{min} = P \cdot a$ , onde  $P$  é a pressão do gás e  $a$  é o tamanho da base maior do trapézio, forma geométrica das paredes frontais, já para o carregamento máximo das paredes frontais  $w_{max} = (P + P_f) \cdot b$ , onde  $b$  é a base menor do trapézio. Então de acordo com a tabela 11 apresentada nos resultados e discussões tem-se os valores dos carregamentos máximos e mínimos nas paredes frontais.

### Força exercida nas paredes frontais e laterais da câmara de biodigestão

A partir da média aritmética das pressões mínimas e máximas de cada caso multiplicada pelas áreas das paredes frontais e laterais visto na figura 4 do biodigestor, obtemos a força exercida no centroide de área em cada caso, de acordo com a seguinte fórmula:

$$F = \left( \frac{P_{min} + P_{max}}{2} \right) \cdot A \quad (13)$$

Onde  $A$  é a área referente as paredes da câmara de biodigestão. Os resultados para cada situação podem ser observados na tabela 12 vista na seção de resultados e discussões .

## 6.5 Cálculo da viabilidade econômica

A viabilidade econômica feita a partir do levantamento de todos os custos com a implantação e manutenção do biodigestor, descontados dos valores economizados pela produção de energia elétrica e utilização do biofertilizante (ALVES, 2017).

Serão utilizados critérios da matemática financeira para realizar os cálculos de viabilidade, como o Valor presente líquido (VPL), Taxa interna de retorno (TIR) e o *Payback*.

### Custo da construção do biodigestor

Utilizando um método elaborado por Alves (2017), será calculado o custo de implantação do biodigestor em função do volume, em  $m^3$  da caixa de carga, obtendo-se um valor em R\$ por  $m^3$ . Os valores para cada faixa de volume podem ser observados na tabela 3:

Sendo o valor do investimento:

$$C_{bio} = V \cdot FatorInv \quad (14)$$

Tabela 3 – Custo do biodigestor por  $m^3$  (ALVES, 2017)

Volume em $m^3$	Fator Inv. - Valor por $m^3$
$0 < VF < 99$	R\$ 1.583,43
$100 < VF < 500$	R\$ 457,82
$501 < VF < 3.000$	R\$ 171,57
$3.001 < VF < 6.000$	R\$ 119,67
$6.001 < VF < 20.000$	R\$ 99,08
$20.001 < VF < 200.000$	R\$ 81,32
$200.000 < VF$	R\$ 73,31

### Taxas e impostos

Segundo (JUNGES et al., 2009) devem também ser considerados valores referentes ao licenciamento do biodigestor, a tabela 4 discrimina esses valores:

Tabela 4 – Taxas e impostos aplicados

Taxas e impostos	Valor (R\$)
Licença prévia	8.037,19
Licença de instalação	8.744,06
Licença de operação	6.429,75
Custo total	23.211,00

Fonte – Próprios Autores

### Custos de regulamentação para uso de créditos de carbono (MDL)

Para que se possa fazer uso dos créditos de carbono, é necessário implementar o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), que é um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa.

Essa regulamentação é um processo extremamente longo e burocrático, que pela demora e falta de informações, pode ter afastado potenciais fontes de créditos de carbono (FOLSTER; FERREIRA, 2013).

Segundo Folster e Ferreira (2013), as etapas do processo de validação de um projeto MBL são:

1. Preparação de um projeto MDL para validação: As entidades promotoras do projeto devem preparar um documento denominado Documento de Concepção do Projeto (DCP), em inglês, Project Design Document (PDD), contendo uma descrição geral do projeto;
2. Validação ou rejeição do projeto: encaminhar o projeto para a entidade operacional designada, responsável pela aprovação ou reprovação do projeto;
3. Registro pela Comissão Executiva: recebido o relatório de validação, a Comissão Executiva tem oito semanas para aceitar formalmente o projeto ou expor suas reservas;

4. Verificação, Certificação e Emissão de CRE: depois de registrado o projeto, os interessados devem monitorar a redução de emissões, em conformidade com o plano apresentando no PDD.

As despesas associadas a esta regulamentação, são basicamente despesas de viagens, com auditoria, mão de obra própria entre outras. Os custos inerentes desse processo, tem uma incerteza associada, principalmente no que diz respeito aos gastos com viagens. Por isso, serão utilizados dados fornecidos por Junges et al. (2009), uma vez que o mesmo obteve resultados sólidos em sua análise. Esses valores são mostrados na tabela 5:

#### Custos para implementação do MDL

Tabela 5 – Custos para implementação do MDL

Tipo de taxa	Valor (R\$)
Despesas de Viagens	37.800,00
Validação	22.000,00
Registro	22.000,00
Verificação	28.000,00
PDD	55.000,00
Total Geral	164.800,00

Fonte – (JUNGES et al., 2009)

Também devem ser contabilizados os custos de manutenção anuais do MDL. Esses valores estão discriminados na tabela 6:

Tabela 6 – Custos para manutenção do MDL (JUNGES et al., 2009)

Custos de manutenção	Valor anual (R\$)
Verificação Anual	22.400,00
Monitoramento Anual	2.000,00
Total Geral	24.400,00

#### Custos de manutenção

Os custos de manutenção associados ao biodigestor, tais como: manutenção dos equipamentos, limpeza interna do biodigestor, troca de manta, renovação das licenças e depreciação; estão listadas na tabela 7:

Tabela 7 – Discriminação dos custos de manutenção do biodigestor (JUNGES et al., 2009)

Custos de Manutenção	Anos 1, 3, 5, 7 e 9	Anos 2, 6 e 10	Anos 4 e 8
Manutenção dos equipamentos	300,00	300,00	300,00
Limpeza interna dos biodigestores	0,00	0,00	720,00
Troca de manta	0,00	0,00	5.891,64
Renovação da Licença Ambiental	0,00	1.267,52	1.267,52
Depreciação	11.058,80	11.058,80	11.058,80
Total Geral	11.358,80	12.626,32	19.237,96

### Economia gerada pela utilização da energia elétrica e biofertilizante

A implantação do biodigestor tem como objetivo, não só reduzir os impactos ambientais, como também gerar uma economia com a utilização de energia elétrica produzida com o biogás, utilização do biofertilizante no lugar dos fertilizantes sintéticos convencionais, e também pela venda dos créditos de carbono.

### Economia associada ao uso do biofertilizante

Segundo MORAIS (2012), o cálculo do valor anual economizado com o biofertilizante é dado por:

$$R_{bio} = V_{dia} \cdot 10 \cdot 365 \quad (15)$$

### Economia associada a produção de energia elétrica

Primeiramente faz-se necessário realizar o cálculo do potencial de geração de energia elétrica do biogás. Utilizando o método para cálculo da potência elétrica, sugerido por Santana e Cohim (2010), onde adota-se um rendimento de 30% do gerador, e assumindo o potencial calorífico do biogás, proposto por Souza e Associado (2016), como sendo de 5.500 kcal, temos que o potencial elétrico (em kW/dia) é de:

$$PE = \frac{V_{biogás} \cdot PC_{biogás} \cdot rend_{gerador} \cdot 4,1868}{86.400} \quad (16)$$

Onde:

- $PE$ : Potência elétrica (kW)
- $V_{biogás}$ : Quantidade de biogás ( $m^3/dia$ )
- $PC_{biogás}$ : Poder calorífico do biogás (kcal);
- $rend_{gerador}$ : Rendimento médio dos geradores (30%).
- 4,1868: Fator de conversão de kcal para kJ, onde 1 kJ corresponde a 1 MW

O consumo médio da fazenda Mato-Grosso nos 3 primeiros meses de 2018 foi de 41.200 kW/h, com uma tarifa para produtores rurais cobrada pela CEMIG MG de R\$0,50058 por kW/h. Considerando esses valores, o gasto médio com energia elétrica nesses meses foi de R\$ 20.123,31.

O valor economizado com a utilização da energia elétrica proveniente de biodigestor é determinado da seguinte forma:

$$V_{eco} = PE \cdot 103.680 \cdot Tar \quad (17)$$

Onde:

- $V_{eco}$ : Valor economizado;

- *Tar*: Tarifa de energia;
- 103.680: Números de horas em um ano.

#### Geração dos créditos de carbono

Após a regulamentação do MBL, já é possível gerar e efetuar a venda dos créditos de carbono. Utilizando o método elaborado por Damovich et al. (2007), a quantidade (em toneladas) de carbono equivalente, se dá por:

$$C_c = VD_{ano} \cdot 0,48 \quad (18)$$

Onde:

- $C_c$ : Crédito de carbono equivalente;
- $VD_{ano}$ : Volume anual de dejetos produzida em  $m^3$  ( $3.751,2 m^3$ );
- 0,48: Fator de conversão do metano para créditos de carbono.

O potencial de aquecimento do metano é 21 vezes maior do que o  $CO_2$  (AGUIAR; FORTES; MARTINS, 2016). Isso significa que para compensar essa diferença, são necessários a compra de 21 créditos de carbono por tonelada de  $CH_4$ . Esse fator muitas vezes viabiliza a implantação do MBL para biodigestores, nas propriedades.

#### Receita gerada pela venda dos créditos de carbono

Foram considerando valores da Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) para venda de créditos de carbono, em 2018. O valor do crédito de carbono varia semelhante a uma bolsa de valores. Portanto será adotando um valor médio de € 5,00 por crédito de carbono, o valor correspondente do euro para o mês de junho (2018), como sendo de R\$ 4,40, temos que o valor anual arrecadado com a venda de créditos de carbono será de:

$$R_c = C_c \cdot \text{€} 5,00 \cdot \text{R\$} 4,40 \quad (19)$$

#### 6.5.1 Cálculo do VPL, TIR e *payback*

##### VPL

O valor presente líquido representa valor que o balanço de um projeto teria se todos seus custos e benefícios fossem trazidos para o momento inicial (PRATI, 2010). Um valor positivo para o VPL indica a viabilidade do projeto. O cálculo é feito da seguinte maneira:

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^n} \quad (20)$$

Onde:

- $C_0$ : Montante a ser aplicado na data zero;

- $C_i$ : Fluxo de caixa na data  $i$ ;
- $r$ : Taxa de juros;
- $n$ : Número de períodos em anos.

## TIR

A taxa interna de retorno é a taxa intrínseca de juros que teoricamente tornaria nulo o valor presente líquido de um dado investimento (PRATI, 2010). Este indicador serve acima de tudo, como um meio de comparação entre investimentos, onde o investimento com maior TIR, é o mais viável. O cálculo da-se isolando a variável  $r$  da equação 20:

$$o = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^n} \quad (21)$$

## Payback

Payback é método que calcula o tempo de recuperação do investimento, ou seja, o momento em que o lucro líquido irá se igualar ao valor investido inicialmente. É um cálculo simples quando analisado sem considerar a TMA (Taxa mínima de atratividade), e o cálculo se dá pela divisão do valor inicial investido, pela média do fluxo de caixa do período analisado:

$$Payback : \frac{Inv_{ini}}{F_{cx}} \quad (22)$$

## 6.6 Orçamento da construção do mini biodigestor

O valor gasto para realização do experimento está discriminado na tabela 8:

Tabela 8 – Discriminação dos valores gastos no experimento

Descrição	Qty.	Valor (R\$)	Descrição	Qty.	Valor (R\$)
Torneira plástica	1	4,00	Abraçadeira 5/16* 1/2" 8*13 mm	6	4,20
Anti-mofo	1	7,99	Cantoneira	2	1,20
Registro 2 saídas	3	15,00	Veda rosca	1	1,50
Bico	3	9,00	Lixa ferro	1	2,20
Colas de resina	4	86,00	Mangueira 5/16"* 1,5 mm	2,5 m	2,38
Fita isolante	2	5,00			
Sensor de metano	2	32,00			
Valor total					168,97

Fonte – Próprios autores

## Definição do material utilizado

Na construção do protótipo para ilustrar o funcionamento do biodigestor foi utilizado material polimérico para compor a caixa de carga, caixa de saída e câmara de gás. O polímero em questão foi o Politereftalato de etileno (PET), optou-se por utilizar esse material uma vez que ele é de baixo custo e reciclável.

O Politereftalato de etileno (PET) é formado a partir da polimerização por condensação entre o Etilenoglicol (1,2-etanodiol) e o Ácido Tereftálico (Ácido p-benzenodioico). O PET possui propriedades termoplásticas isto é, pode ser reprocessado inúmeras vezes. Quando aquecidos a determinadas temperaturas esses plásticos amolecem, fundem e podem ser moldados novamente. (FOGAÇA, 2018) Na prática, os biodigestores convencionais não são construídos a partir do PET, em virtude do material pode vim a possuir ruptura em suas ligações, além da sua porosidade o gás poderia atravessar a parede do material.

## 6.7 Metodologia de construção do mini biodigestor

A finalidade de construção do protótipo consiste em utilizar uma amostra dos dejetos dos animais da fazenda Mato Grosso para se obter um valores da produção de metano ( $CH_4$ ) após o tempo de retenção, com o objetivo de estimar a concentração de metano no biogás produzido.

O primeiro protótipo continha 4 recipientes. Uma garrafa PET isolada da luz criando um ambiente propício para a evolução e proliferação das bactérias contidas na matéria orgânica em proporção de aproximadamente 40 %, com mais 40 % de água, 10 % de lodo o qual já veio de um biodigestor em processo avançado adoadado pela multinacional Gelita, situada em Mococa-SP. Neste recipiente que ocorre a produção do biogás junto com outros gases, logo em seguida o biogás passa por um registro de segurança e vai para o segundo recipiente fazendo com que o gás tenha contato com a água, onde acontece dissociação do gás sulfídrico.

O metano passa pela água sem reagir com nenhum composto, seguindo para o terceiro recipiente para absorver a umidade do gás. O material adequado para o terceiro recipiente seria sílica gel, porém, foi utilizada serragem devido a indisponibilidade de sílica gel na instituição, e o elevado preço. Sendo assim o gás finalmente chega ao quarto recipiente para o armazenamento do biogás e a leitura de metano utilizando o sensor MQ-4. O sensor é calibrado para o metano mas também é acionado por compostos orgânicos de mesma semelhança como o butano e o propano. O sensor é basicamente uma resistência que eleva sua temperatura ao contato com um gás inflamável, variando a tensão de saída, lida por uma placa que contém o microcontrolador ATMEGA228. O fluxograma da programação do sensor e o primeiro protótipo construído são mostrados na Figura 11.

# 7 Resultados e discussões

## 7.1 Resultados do dimensionamento

As dimensões abaixo representam estimativas para a construção do biodigestor tubular em função da carga diária de dejetos. Esses valores são necessários para todo o projeto da estrutura, e a estimativa do custo de instalação.

Figura 11 – Primeiro protótipo e fluxograma

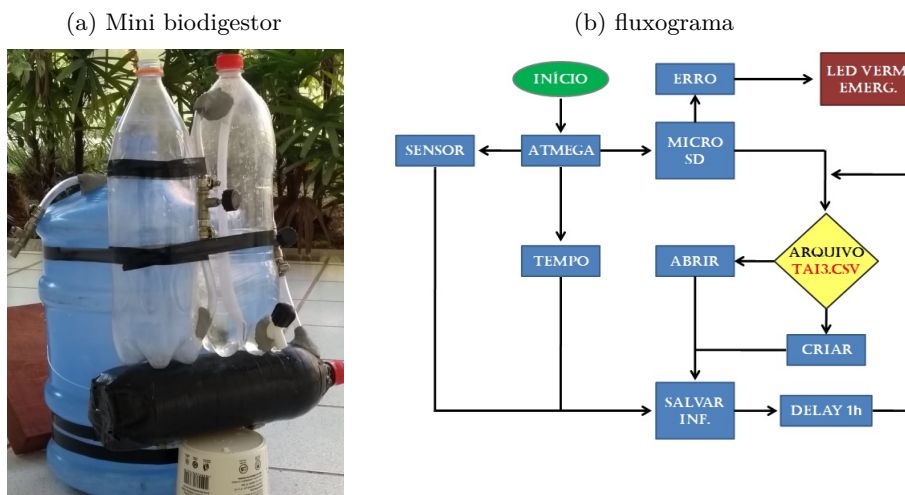


Tabela 9 – Dimensões do biodigestor

$V_{caixa} (m^3)$	$b (m)$	$a (m)$	$L (m)$	$A_t (m^2)$	$R (m)$	$A_L (m^2)$
612,6	4,78	6,96	34,8	11,5	4,32	315,2

Fonte – Próprios autores

## 7.2 Resultados do cálculo de esforços no biodigestor

Os resultados abaixo representam estimativas para os esforços que ocorreriam no biodigestor em função da quantidade de dejetos, formação de biogás, de acordo com as informações obtidas sobre a lona e a pressão dos dejetos ( $P_d$ ) sendo a tabela 10 referente a estas informações.

Tabela 10 – Especificações da Geomembrana para o cálculo de pressão (INOVAGEO, 2018)

Espessura	Tensão escoamento	Relação	Pressão P	Pressão $P_f$
m	$kN/m$	$r/t$	$kN/m^2$	$kN/m^2$
0.008	12	250	0.048	23.592
0.001	15	2000	$6 \cdot 10^{-3}$	23.550
0.0015	22	1333.34	$9 \cdot 10^{-3}$	23.553
0.002	29	1000	0.012	23.556

A tabela 11 de acordo com as informações anteriormente obtidas, demonstra os resultados para os cálculos de carregamento distribuído máximos e mínimos nas quatro paredes da câmara de biodigestão de acordo com a variação da espessura da lona. Já na tabela 12 demonstra a força aplicada no centroide de área em cada uma das paredes da câmara.

Somando as pressões do gás e pressão final e multiplicando essa soma pela área das paredes e dividindo tudo por dois, obtém-se as forças aplicadas nas paredes laterais e frontais da caixa de biodigestão conforme visto os resultados na tabela 12

- Pressão dos dejetos ( $P_d$ ) =  $23.544kN/m^2$



Tabela 11 – Carregamentos nas paredes laterais(L) e frontais(F) ( $kN/m^2$ )

Carregamento mín Lateral	Carregamento máx Lateral	Carregamento mín Frontal	Carregamento máx Frontal
1.6704	822.67	0.334	112.99
0.2088	819.75	0.042	112.59
0.3132	819.96	0.063	112.63
0.4176	820.17	0.083	112.65

Fonte – Próprios autores

Tabela 12 – Forças nas paredes frontais e laterais

Força nas paredes frontais( $kN$ )	Força nas paredes laterais( $kN$ )
173.46	1028.34
172.84	1024.69
172.88	1024.95
172.93	1025.21

Fonte – Próprios autores

### 7.3 Resultados da Viabilidade econômica

As próximas tabelas explicitam os resultados dos cálculos realizados na seção 6.5. Os dados foram organizados entre: Valores monetários, não monetários e os resultados da matemática financeira:

Tabela 13 – Resultados da potência elétrica e créditos de carbono

$PE (kW)$	$C_c (Uni.)$
31,98	1.800,57

Tabela 14 – Resultados dos custos e receitas

$C_{bio} (R\$)$	$R_{bio} (R\$)$	$V_{eco} (R\$)$	$R_c (R\$)$
105.103,78	38.033,00	138.324,60	39.706,04

Tabela 15 – Resultados da matemática financeira

$VPL (R\$)$	$TIR (\%)$	$Payback (Anos)$
975.768,45	60,63	1,64

### 7.4 Resultados do mini biodigestor e e análise da produção de metano

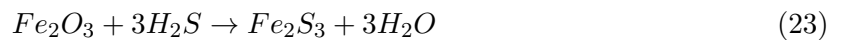
O método de construção do primeiro protótipo não foi eficiente em permitir que o sensor executasse as medições para a análise da produção de metano. Os problemas que o sensor  $MQ-4$  esteve submetido foram :

- Possibilidade de saturação quando o sensor o sensor é submetido à altas concentrações de metano;

- A umidade afetar o sensor identificar a presença do metano já que o mesmo é identificado por “queima”;
- Danos ao sensor devido a presença de gás sulfídrico.

Dentre todos, a umidade afetou o procedimento de maneira mais significativa, como dito anteriormente, optou-se por usar serragem, pois a sílica iria aumentar aproximadamente 30 % o orçamento do projeto. Contudo, a serragem não foi eficaz pois gotas de água se formaram na parte mais alta do recipiente, fazendo a umidade chegar até o sensor inviabilizando assim a obtenção de dados.

visando minimizar os efeitos da umidade, foi retirado o borbulhador e a serragem, no lugar foi adaptado um cano de PVC com palha de aço em seu interior para que ocorra oxidação do ferro, e então reagisse com gás sulfídrico pela reação descrita abaixo.



Foi necessário trocar o recipiente maior, pois, como já tinha sido testado na configuração anterior, não foi possível retirar a umidade contida nele após o experimento montado, além da possibilidade de dano ao sensor. Sendo assim, o mini biodigestor foi remodelado para a um modelo mais compacto, mostrado na Figura 12, com um recipiente de armazenamento menor e o cano de PVC com palha de aço. Os resultados desse novo protótipo ainda foram insatisfatório mostrando que o projeto ainda possui em falhas não corrigidas.

Figura 12 – Protótipo 2



Fonte – Próprios autores

## 8 Conclusões

Com base no estudo de caso na fazenda Mato Grosso, foram obtidos os dados necessários para estimar as dimensões da estrutura do biodigestor com base na metodologia disposta na literatura, etapa inicial para o projeto.

O projeto mostrou ter um potencial muito grande para a geração de energia elétrica a partir do biogás, gerando uma economia mensal de aproximadamente R\$ 11.527,05. Com o tratamento adequado da biomassa, pode-se obter uma receita anual de R\$ 38.033,00, deixando de comprar fertilizantes industrializados. Com a implantação do MBL, seria possível realizar a comercialização dos créditos de carbono, gerando mais uma renda adicional. Apesar de possuir um alto valor de investimento inicial e de manutenção, a venda de créditos de carbono mostrou-se viável.

Analisando os custos e receitas geradas após a instalação do biodigestor, conclui-se que o projeto é viável economicamente, apresentando um VPL de R\$ 975.768,45 para um período de dez anos. Com a venda dos créditos de carbono, é possível compensar o valor do investimento entre o primeiro e o segundo ano de operação.

O valor inicial investido para implementação do biodigestor seria de R\$ 293.114,78. É importante salientar que esta análise foi feita sem nenhum tipo subsídio governamental, ou parceria com instituições privadas. Parcerias poderiam facilitar o acesso de pequenos produtores a este tipo de tecnologia, o que fomentaria cada vez mais a produção de energias de fontes renováveis, não apenas proporcionando economia com a energia elétrica, como também uma grande diminuição nos impactos ambientais.

O experimento apresentou varias falhas previsíveis, bem como problemas inesperados. Testes feitos aplicando detergente nas junções mostraram que as colas utilizadas não apresentaram nenhum vazamento. O sistema elétrico se apresentava funcional e operante. O maior problema se deu pela umidade produzida na dissolução dos dejetos no borbulhador (recipiente com água), fazendo-se necessária uma modificação projeto, instalando um novo sistema de retirada do gás sulfídrico, pois os dados obtidos e salvos anteriormente foram afetados pela presença de umidade no sensor.

A coleta de dados do experimento, foi obtida a partir da placa de testes Arduíno, embora houvesse pouca experiência com a placa, não houveram muitas dificuldades para programar, o maior problema foram as condições em que o sensor foi utilizado, pois, antes de instalado no experimento, se mostrou perfeitamente funcional.

A partir da análise do gás produzido pode-se notar que realmente o gás sulfídrico se dissociou em água, usando testes qualitativos de olfato, foi observado que o mal cheiro característico do enxofre desapareceu, apresentando um odor semelhante gás de cozinha.

Para determinar os esforços sofridos no biodigestor utilizou-se da aproximação por vasos de pressão, e com a análise dos resultados obtidos definiu-se que a geomembrana de menor espessura seria a mais apropriada, com base nos resultados obtidos dos cálculos de esforços internos do biodigestor. Os resultados demonstram que a geomembrana de espessura 0.008m suporta maior quantidade de esforços do que os outros três tipos analisados, isto sugere que para maior armazenamento de dejetos e biogás, esta é a lona ideal.

O segundo protótipo foi construído no dia 25/06/2018, e devido ao tempo de produção de biogás, que no primeiro protótipo construído foi de cerca de três dias, os dados não poderão ser mostrados no presente relatório. Para a segunda etapa do projeto, pretende-se procurar soluções

---

para os problemas apresentados no protótipo, tal como a filtragem correta do gás sulfídrico e retirada da umidade do biogás, com a possibilidade de implantar um secador de gás. Também pretende-se trabalhar no projeto de geração de energia elétrica, bem como a viabilidade de implantação de um grupo motor gerador alimentado por biogás para suprir a demanda energética da fazenda.

# Referências

- AGUIAR, L. V.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. Neutralização compensatória de carbono-estudo de caso; indústria do setor metal mecânico, rio de janeiro (rj). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Directory of Open Access Journals, v. 21, n. 1, p. 197–205, 2016. Citado na página 20.
- ALVES, A. M. Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores tipo tubular. *Universidade Estadual do Oeste do Paraná*, 2017. Citado 7 vezes nas páginas 6, 7, 9, 10, 12, 16 e 17.
- ARMIN, F. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura. *Universidade Federal do oeste do Paraná*, Cascavel, 2004. Citado na página 10.
- BRADY, J.; HYSLOP, A.; JESPERSEN, N. *Química - A Natureza Molecular Da Matéria* -. [S.l.]: LTC. ISBN 9788521632573. Citado na página 13.
- COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. *Unoesc e Ciência*, Joaçaba,, 2011. Citado na página 11.
- DAMOVICH, J. et al. Diagnóstico ambiental em torno da suinocultura na bacia do rio toledo e identificação do potencial econômico dos dejetos. *V Encontro de Economia Paranaense-ECOPAR. Anais. Curitiba*, 2007. Citado na página 20.
- FIGUEIREDO, L. S. Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais. *Instituto Federal de Minas Gerais*, Formiga MG, 2017. Citado 7 vezes nas páginas 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11.
- FOGAÇA, J. *O que são polímeros ?* 2018. Disponível em: <<https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm>>. Acesso em: 23 Junho 2018. Citado na página 22.
- FOLSTER, A.; FERREIRA, L. F. Aspectos contábeis do credito de carbono em uma empresa produtora de energia limpa. *Revista de Contabilidade da UFBA*, v. 7, n. 1, p. 5–19, 2013. Citado na página 17.
- FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de iogás. *Abes-dn*. Citado na página 14.
- HIBBELER, R. C. *Resistência dos materiais* . [S.l.]: Pearson Educación, 2010. Citado na página 15.
- INOVAGEO. *Especificações Técnicas Geomembrana PEAD Inovageo*. 2018. [Http://inovageo.eng.br/produtos/geomembrana/](http://inovageo.eng.br/produtos/geomembrana/). Citado 2 vezes nas páginas 23 e 30.
- JUNGES, D. M. et al. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no município de toledo (pr). *Revista de Economia*, v. 35, n. 1, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. Análise de investimentos. *Revista Eletrônica de Contabilidade*, v. 3, n. 1, p. 35, 2006. Citado na página 6.

- MORAIS, M. A. Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura. 2012. Citado na página 19.
- PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP - Estudo de caso*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- PORTES, Z. A. Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais. *UNESP*, Botucatu SP, 2005. Citado na página 7.
- PRATI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. *Universidade Federal do Paraná*, Curitiba, p. 83, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 3, 5, 20 e 21.
- RIBEIRO, M. d. S. *O tratamento contábil dos créditos de carbono*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2005. Citado na página 8.
- ROCHA, C. M. da. Proposta implantação de um biodigestor de resíduos alimentares. *Universidade Federal de Juiz de Fora*, Juiz de Fora, 2016. Citado na página 13.
- SANTANA, L.; COHIM, E. *Geraçãode energia elétrica a partir dp biogas produzido na estação de tratamento de esgoto de Madre de Deus – Bahia*. 2010. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/cobesa/apresentacoes/pap/pap001785.pdf>>. Citado na página 19.
- SILVA, F. P. *Eficiência energética de uma unidade de microgeração de energia elétrica a partir do biogás Recompile 32 da suinocultura*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do oeste do Paraná, Cascavel, 3 2015. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 10.
- SOUZA, C. de F.; JUNIOR, C. G. de S. T.; OLIVEIRA, K. P. de. Bovinos de corte em confinamento - manejo de dejetos em esterqueira - dimensionamento. *Universidade Federal de Viçosa*, Viçosa, p. 6, 2014. Citado na página 9.
- SOUZA, S. N. M. de; ASSOCIADO, C. Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural. 2016. Citado na página 19.
- TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. de. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades ruarais. *Revista EA*, Recife, 201. Citado na página 11.
- UTEMBERGUE, B. L. et al. Considerações sobre a composição e o uso de dejetos de bovinos confinados. *UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*, São Paulo, 2012. Citado na página 5.
- VIENNY, F.; MENDEZ, J. M. Producción de biogás en la granja marujo propiedad del sr. jan haasjes. *Programa Nacional Agroindustria y Valor Agregado – Proyecto Integrador Procesos Tecnológicos para Agregar Valor en Origen en forma Sustentable*, Córdoba. Citado na página 11.

# ANEXO A – Tabela do Catálogo Inovageo

Figura 13 – Tabela do catálogo Inovageo

Tabela Especificações Técnicas da Geomembrana Lisa PEAD Inovageo								
Propriedades	Metodologia	unidade	0,5 mm	0,80 mm	1,00 mm	1,50 mm	2,00 mm	frequencia de testes
Espessura	ASTM D5199	mm	nominal	nominal	nominal	nominal	nominal	Por bobina
Densidade (mín.)	ASTM D1505/D792	g/cm <sup>3</sup>	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	90.000 kg
Resistência à tração no escoamento (méd.mín.)	ASTM D6693 Tipo IV	kN/m	8	12	15	22	29	9.000 kg
Deformação no escoamento (méd.mín.)	ASTM D6693 Tipo IV	%	12	12	12	12	12	
Resistência à tração na ruptura (méd.mín.)	ASTM D6693 Tipo IV	kN/m	13	22	27	40	53	
Deformação na ruptura (méd.mín.)	ASTM D6693 Tipo IV	%	700	700	700	700	700	

Fonte – (INOVAGEO, 2018)