

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**KAIO SETSUO SATO RAMOS**

**BIODIGESTOR RURAL: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA OBTENÇÃO DE  
BIOGÁS EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE NO MUNICÍPIO DE FAROL-PR**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**KAIO SETSUO SATO RAMOS**

**BIODIGESTOR RURAL: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA OBTENÇÃO DE  
BIOGÁS EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE NO MUNICÍPIO DE FAROL-PR**

**Rural biodigester: a sustainable alternative for obtaining biogas in a small  
property in the municipality of Farol-PR**

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção de título  
de Bacharel em Engenharia Ambiental da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Rodrigues  
Halmeman

**CAMPO MOURÃO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**KAIO SETSUO SATO RAMOS**

**BIODIGESTOR RURAL: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA OBTENÇÃO DE  
BIOGÁS EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE NO MUNICÍPIO DE FAROL-PR**

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção de título  
de Bacharel em Engenharia Ambiental da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 15 de junho de 2023

---

Maria Cristina Rodrigues Halmeman  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Radames Juliano Halmeman  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

José Hilário Delconte Ferreira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO  
2023**

## RESUMO

A bovinocultura leiteira é uma atividade do setor pecuário amplamente praticada no Brasil e tem impacto relevante na economia nacional. Contudo, a grande quantidade de animais tem gerado um elevado número de dejetos que são depositados inadequadamente no meio ambiente, ocasionando emissões de metano e outros gases do efeito estufa, além da contaminação dos solos, águas, proliferação de vetores e odor. Como alternativa de destinação a esses dejetos tem-se o biodigestor rural sertanejo, no qual por meio do processo de digestão anaeróbia produz o biogás que pode ser utilizado para geração de energia térmica ou elétrica. Outro derivado do processo é o biofertilizante que enriquece nutritivamente o solo para cultivo. Assim, o implemento é capaz de atender o pilar ambiental e ainda promover ganhos econômicos e sociais. O objetivo deste trabalho foi propor a instalação de um biodigestor em uma pequena propriedade no município de Farol-PR, visando a destinação de dejetos bovinos, a produção de biogás em substituição ao tradicional gás de cozinha (GLP); e analisar a viabilidade econômica do projeto. A metodologia consistiu em quantificar, primeiramente, os dejetos gerados na propriedade, o potencial de geração de biogás e sua equivalência em GLP. Apossando-se dessas informações, fez-se o dimensionamento do biodigestor que atenderia a propriedade, bem como as análises de investimento frente às possíveis receitas para atestar sua viabilidade econômica, através dos métodos determinísticos *payback* descontado, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre investimento (ROI). Estimou-se que a quantidade de dejetos gerados diariamente é de 0,19 m<sup>3</sup> e o potencial de geração de biogás e GLP é de 8 m<sup>3</sup> e 3,6 litros, respectivamente, possibilitando a substituição total da utilização do GLP (botijão) na propriedade. O investimento inicial foi orçado em R\$ 10.246,91 e, atrelado a geração de biogás e sua correspondência em GLP; confrontou-se com o preço do gás de cozinha praticado na região para construir o fluxo de caixa no cenário realista. O *payback* descontado, VPL, TIR e ROI, evidenciaram a viabilidade do projeto, apresentando os resultados 4,75; R\$ 53.854,40; 44,79% e 390%, respectivamente. A implantação se mostrou sustentável ao abranger os aspectos ambiental, econômico e social.

Palavras-chave: bovinocultura leiteira; digestão anaeróbia; energia; viabilidade econômica.

## ABSTRACT

Dairy farming is an activity in the livestock sector widely practiced in Brazil and has a relevant impact on the national economy. However, the large number of animals has generated a high number of waste that is improperly deposited in the environment, causing emissions of methane and other greenhouse gases, in addition to soil and water contamination, proliferation of vectors and odor. As an alternative for the disposal of these wastes, there is the rural biodigester, in which, through the process of anaerobic digestion, it produces biogas that can be used to generate thermal or electrical energy. Another derivative of the process is its by-product (biofertilizer) which nutritionally enriches the soil for cultivation. Thus, the implement is able to meet the environmental pillar and still promote economic and social gains. The objective of this work was to propose the installation of a biodigester in a small property in the municipality of Farol-PR, aiming at the disposal of cattle manure, the production of biogas to replace the traditional cooking gas (LPG); and analyze the economic viability of the project. The methodology consisted of first quantifying the waste generated on the property, the potential for biogas generation and its equivalence in LPG. Taking advantage of this information, the dimensioning of the biodigester that would serve the property was carried out, as well as the analysis of investment in view of the possible revenues to attest its economic viability, through the deterministic methods discounted payback, net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and return on investment (ROI). It was estimated that the amount of waste generated daily is 0.19 m<sup>3</sup> and the potential for generating biogas and LPG is 8 m<sup>3</sup> and 3.6 L, respectively, enabling the total replacement of the use of gas cylinders on the property. The initial investment was budgeted at R\$ 10,246.91 and, linked to the generation of biogas and its correspondence in LPG; compared with the price of cooking gas practiced in the region to build the cash flow in the realistic scenario. The discounted payback, NPV, IRR and ROI, evidenced the viability of the project, presenting the results 4.75; BRL 53,854.40; 44.79% and 390%, respectively. The implantation proved to be sustainable by covering the environmental, economic and social aspects.

Keywords: dairy cattle; anaerobic digestion; energy; economic viability.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>4</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	4
1.1.2	Objetivos Específicos.....	4
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Biomassa</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2</b>	<b>Processo de produção de biogás e modelos de biodigestores</b> .....	<b>8</b>
2.2.1	Biodigestor modelo Batelada.....	10
2.2.2	Biodigestor modelo Indiano.....	11
2.2.3	Biodigestor modelo Chinês.....	12
2.2.4	Biodigestor modelo Canadense.....	14
2.2.5	Biodigestor modelo Sertanejo.....	14
<b>2.3</b>	<b>Biofertilizante</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Bovinocultura de leite e biodigestores em pequenas propriedades</b> .....	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Viabilidade econômica</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Material</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>21</b>
3.2.1	Dimensionamento do biodigestor rural modelo sertanejo.....	21
3.2.2	Análise de viabilidade econômica.....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1.</b>	<b>Quantitativo de geração de dejetos bovinos</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.</b>	<b>Estimativa de geração de biogás e gás liquefeito de petróleo (GLP)</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.</b>	<b>Dimensionamento do biodigestor sertanejo para a propriedade</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4.</b>	<b>Análise de viabilidade econômica</b> .....	<b>32</b>

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNCIDE A – Orçamento de materiais e mão de obra do biodigestor... </b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Relatório de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, elaborado pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (2018), elenca que os principais gases contribuintes para emissões no setor agropecuário são o metano (CH<sub>4</sub>) emitido pela fermentação entérica na pecuária e o manejo de dejetos animais e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) resultante do uso de fertilizantes nitrogenados, atividade em constante crescimento e pode ser responsável pela contaminação do solo e águas subterrâneas.

Conforme abordado no ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (2016), em consequência dos sistemas de gado leiteiro tem-se a alta concentração de resíduos como urina, fezes, restos de alimentos, resíduos de higiene e sanitização do ambiente, que correspondem a uma geração de mais de 88,4 kg diários por animal. Para Zhang et al. (2021), a intensificação das atividades agropecuárias contribui significativamente na geração de biomassa com alta concentração de genes tolerantes aos agentes antibióticos.

Segundo Rattanaphan, Rungrotmongkol e Kongsune (2020), vários são os métodos possíveis para o tratamento da biomassa. A biomassa proveniente da bovinocultura (dejetos) pode ser fonte de energia (biogás) e biofertilizante quando submetidos a um processo de digestão anaeróbia (MISROL *et al.*, 2021). Normalmente, a digestão anaeróbia é realizada em biorreatores chamados de biodigestores, existindo diferentes tipos destes equipamentos (ATELGE *et al.*, 2020).

Com o aumento da demanda energética nos próximos anos, a produção de biogás a partir de dejetos de animais gera benefícios econômicos, ambientais e sociais, como diminuir o mau cheiro, reduzir o seu potencial poluente, redução de gastos com a energia elétrica e gás de cozinha (OLIVER *et al.*, 2008). Isto através da utilização de biodigestores rurais de baixo custo de modelos como: batelada, indiano, chinês ou canadense (tubular).

Diante do exposto, é notável a importância utilizar alternativas sustentáveis de destinação de resíduos e geração de energia. Este trabalho apresenta uma alternativa de obtenção de energia térmica (biogás) para aplicação como gás de cozinha (GLP), através do aproveitamento de dejetos animais observados em uma pequena propriedade que exerce a bovinocultura leiteira no município de Farol-PR.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Propor a instalação de um biodigestor rural em uma pequena propriedade no município de Farol-PR.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Levantar o total de dejetos bovinos e calcular o potencial de geração de biogás para a propriedade em estudo;
- Dimensionar o biodigestor rural mais adequado para a propriedade em estudo;
- Avaliar a viabilidade econômica da implantação do biodigestor ao utilizar o biogás em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP).

## **1.2 Justificativa**

Assim como em centros urbanos, o despejo inadequado de dejetos em pequenas propriedades no meio rural também provoca danos dos pontos de vista sanitário, ambiental e econômico, colocando em risco a saúde do trabalhador, emitindo gases do efeito estufa e resultando em maiores custos administrativos.

Com a modernização dessas pequenas propriedades e a adesão de novas tecnologias para as operações cotidianas, surgem maiores demandas energéticas que aumentam as despesas e, portanto, fontes alternativas de energia emergem como opções a serem analisadas.

Como possibilidade, a energia proveniente da biomassa traz consigo a utilização e a fermentação anaeróbia de dejetos para a obtenção do biogás, um combustível renovável de elevada eficiência calorífica que pode suprir a necessidade de energia térmica da propriedade através da instalação de um biodigestor.

Isto posto, torna-se válido verificar o total de dejetos bovinos produzidos no local, calcular o potencial de produção de biogás e sua equivalência em GLP para substituir o tradicional botijão de gás, bem como avaliar a implantação do biodigestor modelo sertanejo na propriedade, visto a sua vasta utilização no país e baixo custo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Biomassa

Do ponto de vista energético, biomassa é descrita por Souza (2015), como toda matéria orgânica, animal ou vegetal que tem potencial de geração de energia.

A biomassa é considerada como recurso renovável porque faz parte ciclo de processos da natureza, no qual as plantas são pioneiras do processo de fotossíntese para captar a energia solar (HEPP, 2017). Quando a biomassa sofre combustão, a energia em sua forma química é liberada na forma de calor. Nesse processo é liberado CO<sub>2</sub>, sendo absorvido pelas plantas na atividade de fotossíntese, e desta forma o ciclo do carbono é fechado (KONRAD, 2016). Esta se apresenta como a melhor alternativa para produção de biocombustíveis, pois possui vantagens quando comparada a outras fontes, podendo gerar combustíveis similares em eficiência a combustíveis fósseis (não renováveis).

A energia de biomassa pode ser classificada em tradicional, que em sua maioria é madeira, e biomassa moderna, utilizada produção de etanol, biogás, biodiesel e dendroenergia (GOLDEMBERG, 2015). Essa fonte é vista como um combustível com emissão neutra de gás carbônico e quando usada como substituta de combustíveis fósseis traz benefícios ambientais, em se tratando da redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) (ALAMIA; STRÖM E THUNMAN, 2015).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2021) o país possui um total de 587 empreendimentos de produção energética em operação, cuja fonte de geração é a biomassa, que totalizam 15.726.300,45 kW de potência registrada (outorgada), representando 8,81% do total de potência prevista entre todas as fontes utilizadas na matriz nacional, que correspondem a 178.199.469,35 kW. Conforme a Tabela 1, esses são os tipos de biomassa que constituem os 587 empreendimentos em operação no país.

**Tabela 1 - Tipos de biomassa utilizadas no Brasil e seus respectivos potenciais energéticos**

<b>Fonte</b>	<b>Quantidade (empreendimentos)</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Outorgada (%)</b>
Floresta	109	3.417.121,05	21,71
Resíduos Sólidos Urbanos	30	217.053,60	1,37
Resíduos Animais	15	4.741,20	0,03
Biocombustíveis líquidos	3	4.670,40	0,03
Agroindustriais	430	12.082.714,20	76,83
<b>Total</b>	<b>587</b>	<b>15.726.300,45</b>	<b>100,00</b>

**Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2021)**

O setor florestal, representado principalmente pela indústria de papel e celulose, madeireiras e indústrias moveleiras, possui 109 usinas movidas a biomassa, produzindo cerca de 3.417.121,05 kW, o que corresponde a 21,71% de participação conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (2021).

Nos processos produtivos agrícolas e florestais, a geração de resíduos pode se tornar um desperdício de produção, visto que estes nem sempre são convertidos em uma nova fonte de renda para as empresas produtoras. Em muitas situações, esses resíduos são mal manejados, sendo depositados em locais inadequados, como margens de mananciais, gerando problemas ambientais.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos inova ao estabelecer uma distinção entre resíduo e rejeito, sendo o primeiro tudo aquilo que tem valor econômico e que pode ser reciclado ou reaproveitado; o segundo é qualquer material considerado inútil após esgotadas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos economicamente viáveis (DE OLIVEIRA; CARNEIRO, 2020).

A Lei nº 12.305 institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e por meio dos instrumentos delineados no art. 8º, esta intenta a realização de ações que coordenem esforços entres os diferentes âmbitos do governo para a minimização da geração dos resíduos, a logística reversa, a valorização dos resíduos por conta de processos de reciclagem, o correto tratamento dos materiais dispostos, evitando danos ao ambiente e à saúde e, o que importa a esse trabalho, o aproveitamento do subproduto do lixo, o biogás (BRASIL, 2010).

De acordo com Lee *et al.* (2021), os biocombustíveis, são combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos que são, inteiramente, produzidos a partir de matérias-primas de origem renovável, sendo classificados de primeira à quarta geração dependendo da matéria-prima de partida. Os biocombustíveis de primeira geração, incluem as culturas alimentares tradicionais, como: trigo, milho, cana-de-açúcar e soja. Os de segunda geração, utilizam fontes não alimentares, como a biomassa lignocelulósica de mandioca, madeiras, palhas, além de resíduos de óleo. A terceira geração engloba as algas e micróbios como matéria-prima. E a quarta geração, que faz uso da engenharia genética para modificar as biomassas e gerar produtos com alto rendimento de energia

Segundo Andrade (2012), o manejo no setor pecuário tradicional caracteriza-se pelo sistema de criação tradicional (extensivo) de pequenas manadas para o sustento familiar, onde os animais são criados soltos ou conduzidos pelos proprietários, até as áreas com disponibilidade de pasto ou em pastagens comunitárias e ao cair da noite são reunidos em um confinamento (curral). O manejo referido promove concentrações de dejetos (esterco) em baixa escala que pode ser aproveitado na geração de benefícios próprios, com a produção de biogás e biofertilizante, permitindo a melhoria da qualidade de vida nas zonas rurais e a não emissão de gases do efeito estufa (GEE).

De acordo com Toklu (2017) biomassa é a fonte de energia renovável mais utilizada no mundo da contemporaneidade, principalmente na forma sólida e, em menor escala, na forma de combustíveis líquidos e gás. A biomassa é usada para atender a uma variedade de necessidades de energia, incluindo geração de eletricidade, aquecimento de residências, abastecimento de veículos e fornecimento de calor de processo para instalações industriais. Em resumo, a utilização da biomassa inclui resíduos de animais, plantas e madeira.

Segundo Konrad *et al.* (2016) o aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio de várias opções tecnológicas para extrair a energia contida. Essas tecnologias de conversão podem liberar a energia diretamente, sob a forma de calor e eletricidade, ou convertê-la em outra forma, como o biocombustível líquido ou biogás, sendo esta última através dos biodigestores.

## 2.2 Processo de produção de biogás e modelos de biodigestores

O biogás é obtido da digestão anaeróbia de material orgânico, como dejetos de animais, resíduos agrícolas e efluentes industriais. Normalmente, a digestão anaeróbia é realizada em biorreatores chamados de biodigestores, existindo diferentes configurações destes equipamentos (ATELGE *et al.*, 2020).

Conforme mencionado por Zank (2020), o biogás é uma combinação gasosa sem cor, composta principalmente de metano (50-70%) e dióxido de carbono (25-40%), além de pequenas proporções de outros gases como hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), amônia (NH<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO) e água. Devido à elevada concentração de CH<sub>4</sub>, o biogás é amplamente utilizado na geração de energia térmica e elétrica (ATELGE *et al.*, 2020; SCARLAT; DALLEMAND; FAHL, 2018).

Segundo Zank (2020), o poder calorífico do biogás pode variar de acordo com o teor de metano em sua composição, como representado pela Tabela 2.

**Tabela 2 – Poder calorífico do biogás em função do teor de metano em sua composição química**

Composição química (%)	Poder calorífico (kcal/kg)
10% CH <sub>4</sub> – 90% CO <sub>2</sub>	465,43
40% CH <sub>4</sub> – 60% CO <sub>2</sub>	2333,85
60% CH <sub>4</sub> – 40% CO <sub>2</sub>	4229,98
65% CH <sub>4</sub> – 35% CO <sub>2</sub>	4831,14
75% CH <sub>4</sub> – 25% CO <sub>2</sub>	6253,01
95% CH <sub>4</sub> – 5% CO <sub>2</sub>	10469,60
99% CH <sub>4</sub> – 1% CO <sub>2</sub>	11661,02

Fonte: Adaptado de Zank (2020)

A atividade de digestão anaeróbica é um processo fermentativo realizado por bactérias que degradam a matéria orgânica e produzem o biogás. O processo também traz um subproduto, denominado biofertilizante ou digestato, no qual as fontes orgânicas podem ser os esterco e materiais vegetais (PEDROZA *et al.*, 2021).

A criação de um ambiente adequado permite que os microrganismos metanogênicos ajam sobre a matéria orgânica, possibilitando a produção de biogás por meio de uma via biológica específica. Esse ambiente propício para a geração do biogás está relacionado às características químicas e físicas necessárias ao

crescimento desses organismos em um biodigestor, as quais são definidas dentro de determinados intervalos de temperatura, pH e relação carbono/nitrogênio (C/N) da biomassa (ARAÚJO, 2017)

Os microrganismos existentes desempenham um papel na conversão de substâncias orgânicas complexas, como carboidratos, proteínas e lipídios, em substâncias mais simples, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Esse procedimento é realizado em quatro fases distintas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (PEREIRA *et al.*, 2018).

Na etapa inicial da digestão anaeróbica, ocorre a decomposição da matéria orgânica complexa em compostos solúveis mais simples, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa, visando facilitar a metabolização pelos microorganismos. Posteriormente, na fase de acidogênese, essas moléculas menores são fermentadas pelas bactérias acidogênicas, resultando em ácidos orgânicos, álcoois, cetonas e outros produtos. Os produtos gerados nessa etapa são substratos essenciais para o metabolismo das bactérias acetogênicas, que oxidam os substratos intermediários, como acetato, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Por fim, as arqueias metanogênicas realizam a etapa final da digestão anaeróbica, utilizando os produtos da etapa anterior e convertendo-os em metano e dióxido de carbono (OLIVEIRA, 2016).

Um biodigestor ou um reator biológico pode ser descrito como um recipiente de fermentação hermeticamente fechado, no qual a biomassa passa por um processo de decomposição realizado por bactérias anaeróbicas, resultando na produção de biogás. Além da geração de biogás, esse processo fermentativo também resulta na produção de um fertilizante natural, conhecido como biofertilizante ou digestato (CARVALHO, 2014; SILVA, 2016).

As principais vantagens desses reatores incluem a degradação da matéria orgânica proveniente de animais, a redução de patógenos e coliformes, a eliminação de odores, a utilização do biogás gerado e do resíduo sólido como fertilizante natural (PEREIRA *et al.*, 2018). Além disso, eles também contribuem para a redução da emissão de metano e outros gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, além de ter um impacto social positivo. Oliver *et al.* (2008) ilustra outros benefícios (Figura 1).

**Figura 1 – Benefícios da utilização do biodigestor**



Fonte: Oliver *et al.* (2008)

Quanto ao modo de operação, os biodigestores se dividem em sistema de digestão descontínuo (batelada) e sistema de digestão contínuo. O sistema contínuo é subdividido em horizontal e vertical. Dentro de cada uma dessas categorias existem diferentes modelos de biodigestores (Quadro 1), tais como o indiano e o chinês (verticais) e o modelo canadense (horizontal), dentre outros (CARVALHO, 2014).

**Quadro 1 - Modelos populares de reatores**

Modelo	Tipo	Orientação	Abastecimento
Batelada	Descontínuo	Vertical	Tempo determinado
Indiano	Contínuo	Vertical	Diário
Chinês	Contínuo	Vertical	Diário
Canadense	Contínuo	Horizontal	Diário

Fonte: Adaptado de Carvalho (2014)

### 2.2.1 Biodigestor modelo Batelada

O modelo por batelada é um sistema de digestão anaeróbica que opera em ciclos fechados e intermitentes. Ele é projetado para processar resíduos orgânicos, como dejetos animais, restos de alimentos e resíduos agrícolas, e produzir biogás e

biofertilizante. O modo de operação de um biodigestor modelo batelada consiste em carregar o tanque com o material orgânico de uma vez (descontínuo), misturar com água e deixar fermentar por um período de tempo.

De acordo com Deganutti *et al.* (2002), o biodigestor modelo batelada é uma alternativa interessante por se tratar de um sistema de pouca exigência operacional, simples implantação e de baixo custo, visto que é necessário somente um tanque de fermentação e um reservatório para armazenamento de gás (Figura 2).

**Figura 2 – Biodigestor modelo batelada**



**Fonte: Deganutti *et al.*, (2002)**

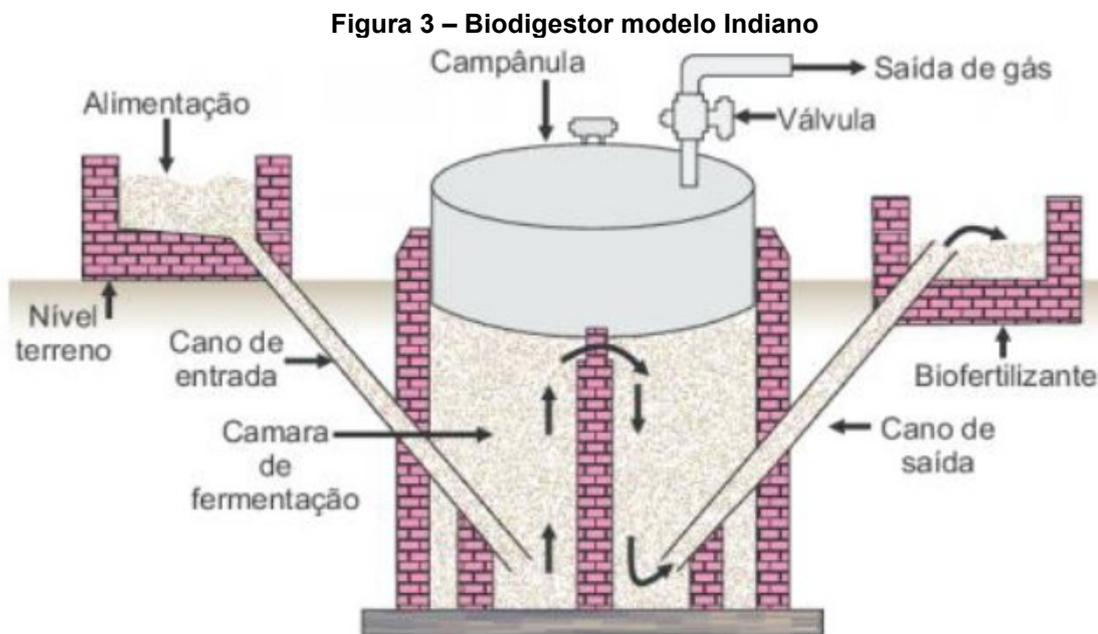
Marcucci (2018) destaca a importância do controle de temperatura e pH no processo de fermentação do biodigestor modelo batelada. Esses fatores podem influenciar diretamente na eficiência do sistema, afetando a produção de biogás e biofertilizante. Portanto, é importante monitorar regularmente esses parâmetros para garantir o bom desempenho do sistema.

### 2.2.2 Biodigestor modelo Indiano

O biodigestor indiano é composto por um tanque de fermentação onde ocorre o processo de digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos, uma caixa de entrada onde ocorre a deposição inicial do substrato e é feita de forma contínua (diariamente), uma caixa de descarga para acúmulo do biofertilizante e um recipiente para armazenamento do biogás gerado. Segundo Deganutti (2002), o biodigestor indiano

(Figura 3) é construído com tijolos ou cimento, e possui formato cilíndrico com uma cúpula abobadada na parte superior, para permitir a expansão do biogás. A entrada dos resíduos é feita por uma abertura lateral do tanque de fermentação, e a saída do biofertilizante pode ser feita por outra abertura na lateral oposta do mesmo tanque.

Uma das características mais marcantes do biodigestor indiano é a sua pressão constante. Segundo Deganutti *et al.* (2002), isso é possível porque o biogás é armazenado na parte superior da cúpula abobadada (recipiente de armazenamento), onde exerce uma pressão constante sobre os resíduos orgânicos em decomposição. Isso garante uma taxa de digestão mais eficiente e acelera o processo de produção do biogás.



Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2020)

Por ser um modelo simples e de baixo custo, a alimentação com substrato e a retirada do biofertilizante são realizados, geralmente, de forma manual. Vale ressaltar que o substrato utilizado deve estar bem diluído para que não ocorram obstruções das tubulações durante a operação (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2020)

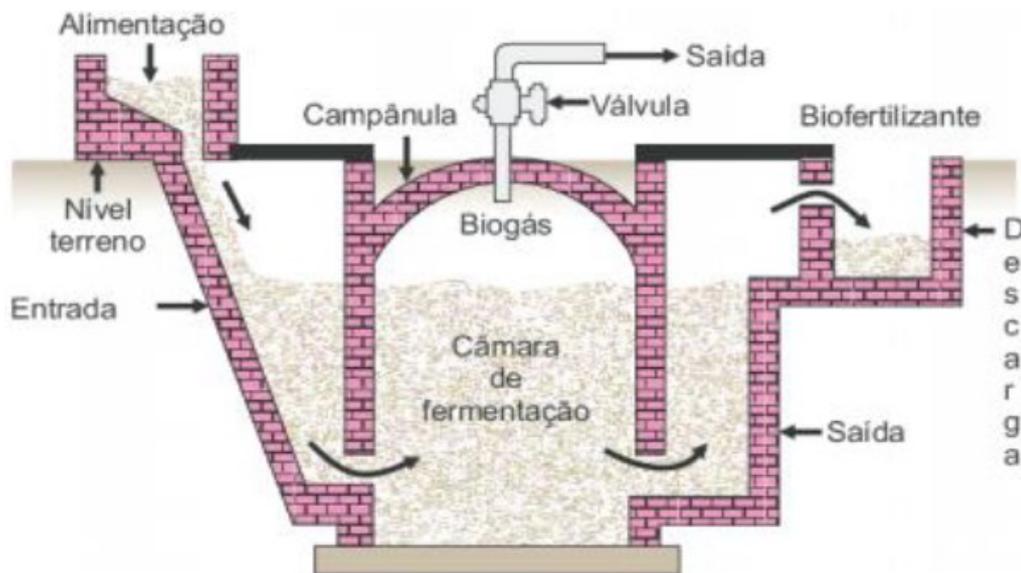
### 2.2.3 Biodigestor modelo Chinês

O modelo chinês traz algumas semelhanças em relação ao modelo indiano, ele consiste em um tanque cilíndrico enterrado no solo, geralmente feito de tijolos,

concreto ou plástico reforçado com fibra de vidro. O tanque é dividido em duas seções: a câmara de fermentação e a câmara de armazenamento. O sistema de modelo chinês (Figura 4) também possui uma caixa de entrada que deve ser alimentada continuamente e uma caixa de saída para o digestato.

Diferente do modelo apresentado anteriormente a cúpula de armazenamento de biogás é fixa, portanto, de acordo com Jorge e Omena (2012), a pressão do biogás produzido no biodigestor chinês varia dependendo do estágio de fermentação. Durante a fase inicial, a pressão do biogás é baixa e aumenta gradualmente à medida que a fermentação avança. Isso se deve ao aumento da produção de biogás e ao acúmulo de pressão na câmara de fermentação. É justamente por causa do aumento de pressão ocasionado pela digestão anaeróbica que o biofertilizante é direcionado para a caixa de saída.

**Figura 4 – Biodigestor modelo chinês**



**Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2020)**

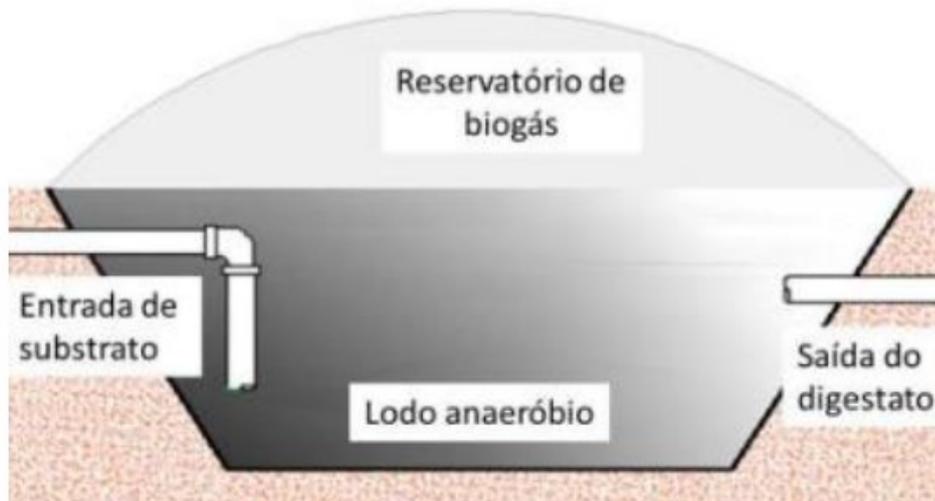
Semelhante ao modelo indiano, a temperatura interna do substrato não sofre grandes variações por também ser subterrâneo. O investimento inicial é relativamente baixo, porém esse modelo se torna inviável para instalação de grande porte (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2020).

#### 2.2.4 Biodigestor modelo Canadense

A estrutura básica de um biodigestor canadense é composta por um tanque cilíndrico feito de materiais como polietileno de alta densidade (PEAD) ou fibra de vidro. Esse tanque é dividido em duas câmaras: a câmara de fermentação e a câmara de armazenamento de biogás como mostra a figura 5. De acordo com um estudo de Guo *et al.* (2019), as duas câmaras se separam por uma parede divisória, com um bocal na parte superior para permitir a saída do biogás.

Esse modelo tem uma grande área de exposição ao sol o que em locais mais quentes pode ser positivo pelo fato de aumentar a taxa de proliferação dos microrganismos e conseqüentemente a velocidade da digestão. Por outro lado, em locais mais frios o efeito é contrário, retardando assim o processo (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2020).

Figura 5 – Biodigestor modelo canadense



Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2020)

Este modelo tem sido impulsionado pelo mercado de crédito de carbono, de forma a aumentar significativamente sua utilização. (PIGOSSO *et al.*, 2019).

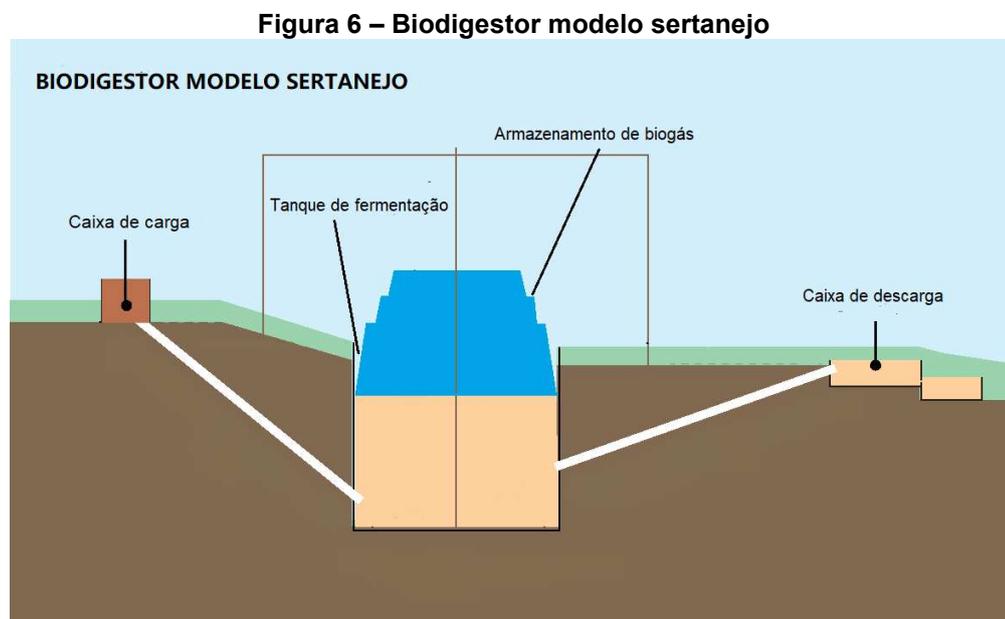
#### 2.2.5 Biodigestor modelo Sertanejo

O modelo sertanejo de biodigestor é extremamente semelhante ao indiano, só que utilizando materiais e fazendo adaptações para a realidade das pequenas

propriedades rurais. Este modelo tem se popularizado na zona rural do Brasil, principalmente por conta do baixo investimento inicial e fácil operação.

Esse modelo também utiliza o gasômetro móvel para manter a pressão do gás constante. Uma das principais adaptações é a utilização da tecnologia de construção por placas, que já é utilizada em cisternas e bem conhecida pelas pessoas que vivem nessa região, o que facilita muito a construção, uma vez que elas passam a trabalhar com algo que já lhes é familiar (Figura 6).

. Por se assemelhar ao modelo indiano, definido por Deganutti (2002), o biodigestor sertanejo é composto por três partes principais: o poço de fermentação, o poço de sedimentação e o gasômetro. O poço de fermentação é onde os materiais orgânicos são depositados e onde ocorre a fermentação anaeróbia. Já o poço de sedimentação é responsável pela separação dos sólidos e líquidos, produzindo o biofertilizante. O gasômetro é o local onde o biogás é armazenado e acumulado, podendo ser utilizado para diversas finalidades, como a geração de energia elétrica ou térmica.



Fonte: Adaptado de Diaconia (2012)

Para Mattos e Farias Jr. (2011) o biodigestor é um equipamento que possibilita o aproveitamento dos dejetos depositados no curral em gás (biogás) inflamável, que pode substituir o gás de cozinha comprado em botijões tradicionais (Gás Liquefeito de Petróleo ou GLP).

Os biodigestores ou reatores são ideais para serem empregados em comunidades rurais, o modelo sertanejo se caracteriza principalmente por ser de baixo custo e fácil operação. São nesses espaços que se encontram criações de animais com maior facilidade e, ainda, para os setores de mais baixa renda, uma maior intensidade nos impactos da elevação no custo do gás de cozinha (GLP) (LOPES *et al.*, 2020).

Um estudo feito por Silva (2019) teve como objetivo avaliar a implantação de um biodigestor sertanejo no assentamento Trangola no município de Currais Novos-RN. Neste caso analisou-se a geração de biogás e suas equivalências em GLP, energia elétrica, além do quantitativo de biofertilizante a partir de 33,3 kg de dejetos diários. Os resultados apresentados anualmente foram 485,45 m<sup>3</sup> de biogás, equivalentes a 17 botijões (13 kg) de GLP; 534,6 kW de energia elétrica e 4.197,5 kg de biofertilizante. A operação se mostrou viável ao direcionar a produção de biogás para a substituição total do gás de cozinha e inviável quanto a produção de energia elétrica, visto a demanda do assentamento e tempo de recuperação do capital investido.

Outro estudo conduzido por Bezerra *et al.* (2020) e realizado no município de Souza-PB propôs analisar a eficiência de um biodigestor sertanejo para também estimar o potencial de geração de biogás e suas correspondências em GLP e energia elétrica. Os resultados obtidos a partir dos dejetos de 33 animais resultaram em produções diárias de 10 m<sup>3</sup> de biogás; 4,5 kg de GLP e 14,5 kWh, totalizando um rendimento anual de R\$ 6.956,60. Dessa forma, o projeto se mostrou viável, já que o custo inicial foi estimado em R\$1869,06 e o custo de manutenção anual em R\$ 35,76.

### **2.3 Biofertilizante**

O fertilizante orgânico é um líquido resultante do processo de produção de biogás por meio da digestão anaeróbica. Esse material, que é obtido do biodigestor após a decomposição da matéria orgânica, pode ser utilizado como adubo natural devido à sua riqueza em nutrientes essenciais para o solo, como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P). Assim, pode substituir os fertilizantes sintéticos, uma vez que os fertilizantes orgânicos não apenas melhoram a qualidade do solo, mas também ajudam no controle de pragas e doenças em culturas agrícolas (SALES, 2017).

Segundo o autor, nesse tipo de decomposição, a quantidade final de nitrogênio obtida é maior, pois as bactérias anaeróbicas utilizam uma menor quantidade desse nutriente presente nos resíduos orgânicos. A presença de maior quantidade de nitrogênio no fertilizante orgânico é considerada benéfica para sua aplicação. De modo geral, em termos de fertilização, os nutrientes essenciais normalmente são: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (LOPES *et al.*, 2020). Isso ocorre porque cálcio e magnésio são fornecidos por meio da calagem, e os outros micronutrientes geralmente estão presentes em concentrações adequadas no solo, com destaque apenas para o enxofre, que pode ser necessário em culturas mais exigentes, sendo responsabilidade do fertilizante suprir sua demanda (KUNZ *et al.*, 2019).

Matos (2016) destaca que, após o processo de biodigestão, o produto fica estabilizado e pode ser aplicado ao solo na forma de húmus, enriquecendo-o. A presença de húmus é extremamente importante para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LOPES *et al.*, 2020).

#### **2.4 Bovinocultura de leite e biodigestores em pequenas propriedades**

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2016), órgão da ONU, nas últimas três décadas a produção leiteira mundial aumentou 50% e aproximadamente 150 milhões de lares no mundo estão envolvidos com a produção de leite, sendo característica de países em desenvolvimento, por vir a fornecer retorno financeiro rápido aos pequenos produtores.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de bovinos, detentor de um rebanho superior a 213,5 milhões de cabeças de bovinos, sendo em torno de 38,34 milhões destinada a produção leiteira e 175,16 milhões de bovinos destinado para pecuária de corte, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012).

O sistema de criação de bovinos tem contribuído com danos ambientais por conta da alta quantidade de geração de resíduos, que na maioria das vezes é disposta sem tratamento, emitindo gases diretamente na atmosfera, nos corpos de água e no solo (ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2016). Quando se trata da bovinocultura leiteira, a tendência é que esses dejetos se concentrem em determinado local, devido ao confinamento temporário.

Criado em 2010, o Plano da Agricultura de Baixo Carbono (ABC) (BRASIL, 2012), tem por finalidade destinar e ampliar os recursos para financiamento de custeio, comercialização e investimento para os produtores rurais adotarem técnicas agrícolas alinhadas com os pilares da sustentabilidade. Segundo Milanez *et al.* (2018) a principal utilização do biogás para uso próprio, especialmente nas pequenas e médias propriedades rurais, é a sua queima para a produção de energia térmica. Esse calor proveniente do biogás gerado no local, pode ser utilizado diretamente como gás de cozinha, substituindo o tradicional Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), ou seja, beneficiando economicamente o pequeno produtor, além de contribuir para a mitigação de danos ambientais atrelados à bovinocultura.

## 2.5 Viabilidade econômica

Neste trabalho foram abordados quatro métodos de análise de viabilidade financeira: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *payback* descontado e retorno sobre o investimento (ROI).

Ehrlich e Moraes (2013) explicam que o VPL consiste em colapsar todos os valores para o ponto de tempo zero e, dadas diversas alternativas, é possível calcular os valores no tempo zero equivalentes às séries correspondentes, a fim de compará-las para decidir qual é a melhor. O VPL é a representação de um saldo hipotético positivo, negativo ou nulo, dos valores investidos no empreendimento, corrigidos para o instante inicial e comparados a uma aplicação financeira de mesmo valor inicial (HIRSCHFELD, 1987).

Para Brom e Balian (2007), a TIR representa a taxa média periódica de retorno de um projeto suficiente para repor, de forma integral e exata, o investimento realizado. A TIR iguala o valor dos lucros futuros aos gastos realizados ao longo do projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 1982). Os projetos passíveis de aceitação, no ponto de vista econômico, são aqueles que oferecem um retorno superior ao custo do capital, para tanto, a TIR calculada deve ser comparada à TMA determinada pelo empreendedor (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 1982).

Ross *et al.* (2015) afirmam que no *payback* Descontado (PBD) primeiro desconta-se os fluxos de caixa e, então, pergunta-se quanto tempo leva para que os fluxos de caixa descontados se igualem ao investimento inicial. Esse método,

de acordo com Lemes *et al.* (2002), considera o valor do dinheiro no tempo, visto que utiliza a taxa mínima de atratividade para verificar o número exato de períodos em que o projeto recupera o valor inicial investido.

Segundo Mesquita (2021), o retorno sobre investimento (ROI), tem por finalidade medir o desempenho do empreendimento na alocação dos seus investimentos. Sendo este uma medida que expressa a relação entre o valor investido em um negócio e o valor obtido em retorno, sendo utilizada com frequência para qualificar se um investimento é oportuno e viável.

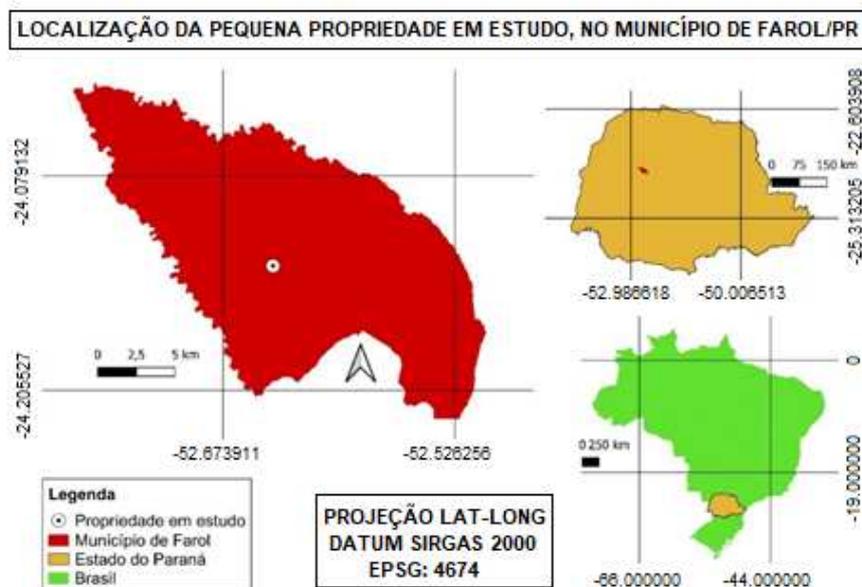
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

A área em estudo (Figura 7) é uma propriedade rural e localiza-se no município de Farol, ao oeste do estado do Paraná, sendo que as coordenadas geográficas de sua sede correspondem a latitude -24.132631 de longitude -52.641152. Conforme o proprietário, a propriedade possui uma área total de 6 alqueires (14,52 hectares) ou 145.200 m<sup>2</sup>, destinados à prática da bovinocultura (leite e corte) e agricultura.

O clima de Farol, de acordo com Alvares *et al.* (2013) ao citar a classificação climática de Köppen, é Cfa: clima subtropical úmido mesotérmico. Sendo assim, os verões são quentes e as geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas no verão, não apresentando estação seca definida. Conforme Alvares *et al.* (2013), o município apresenta precipitação anual em torno de 1591 mm e temperaturas médias mensais que variam de 15,9 °C a 23,3 °C, sendo a época mais fria os meses de maio, junho e julho; e a época mais quente os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

**Figura 7 - Localização da área de estudo no município de Farol/PR**



Fonte: Autoria própria (2023)

A propriedade conta com uma residência feita em madeira, um galpão também em madeira e coberto com telhas de cerâmica, onde ficam depositados os equipamentos de agricultura, rações, sais, sementes, insumos agrícolas, tanques e ordenhadeiras. Na residência habitam quatro pessoas, na qual consomem em média, segundo o proprietário, dois botijões de gás de cozinha (gás liquefeito de petróleo – GLP) de 13 kg ou 31,5 litros por mês. O combustível é utilizado para atividades do cotidiano em fogão doméstico e para atividades extras em fogão industrial como produção de doces e queijos, atividade que até o momento é majoritariamente para consumo, porém a prática de comercialização já é executada esporadicamente e estuda-se adotá-la de maneira permanente, podendo dobrar o consumo mensal do gás de cozinha.

As áreas remanescentes do sítio são utilizadas para o cultivo de milho e pastagem. Para que se possa administrar o pasto disponível para alimentação dos animais, o espaço de pastagem é dividido em três piquetes, de modo que se possa aplicar a técnica de pastejo rotacionado.

A propriedade possui um total de 32 cabeças de gado, na qual 12 são lactantes e 20 destinadas ao corte. Estas últimas são mantidas em sistema extensivo de criação, ou seja, são criadas soltas e tem como base de alimentação as gramíneas de pastagem.

Como objeto do presente estudo, os 12 animais lactantes são criados em sistema semiconfinado, de modo que durante o período matutino e vespertino estes são mantidos no pasto e a noite são reunidos em local apropriado (curral) para que na manhã seguinte seja feita a extração do leite. Os mesmos consomem gramíneas e também rações concentradas de nutrientes, com objetivo de estimular a produção leiteira.

## **3.2 Métodos**

### **3. 2. 1. Dimensionamento do biodigestor rural modelo sertanejo para a propriedade em Farol-PR**

O dimensionamento do biodigestor sertanejo rural para a propriedade envolveu, progressivamente, cálculos e equações que serão descritas neste tópico (Quadro 3).

Para estimar o potencial de geração de biogás através da utilização de dejetos bovinos leiteiros foi necessário, primeiramente, levantar a quantia total de dejetos gerados diariamente durante o período de confinamento. Segundo o proprietário, os animais permanecem confinados por 8 (oito) horas e o quantitativo de esterco gerado já é conhecido, visto a limpeza diária do curral, e corresponde a aproximadamente 200 kg (duzentos quilos) de esterco recolhidos todos os dias.

Por já possuir as informações pertinentes ao dimensionamento, foi aplicada a densidade de 1027,5 kg/m<sup>3</sup> (WANG *et al.*, 2019) para determinação do volume de dejetos bovinos gerados diariamente, de modo a utilizar a equação 1 para converter o número em metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Posteriormente o método desenvolvido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (2009) auxiliou na determinação quantitativa de geração específica de dejetos (Eq. 2).

Após a obtenção do quantitativo diário de dejetos, utilizou-se a equação 3 para estimar a quantia de biogás produzida diariamente na propriedade e foi adotado o valor de 0,04 m<sup>3</sup> de biogás gerado por kg de dejetos bovino no sistema (OLIVER *et al.*, 2008).

A partir da estimativa de geração de biogás, foi possível calcular o potencial de geração de gás liquefeito de petróleo (GLP) ou o tradicional gás de cozinha, visto que, segundo Oliver *et al.* (2008), 1 m<sup>3</sup> de biogás tem a equivalência energética de 0,45 L de GLP, portanto o potencial estimado de geração diária de GLP foi dado pela equação. 4.

Ao calcular o potencial fornecimento de biogás e GLP conforme a quantidade de dejetos gerados na propriedade rural, o próximo passo foi dimensionar um biodigestor sertanejo (indiano) que atenda a demanda. As equações utilizadas para a determinação de suas medidas também foram descritas no quadro 3.

Vale ressaltar que esse modelo é dividido em três partes: tanque de fermentação e a câmara de armazenamento de biogás; caixa de entrada e caixa de descarga.

De acordo com Oliver *et al.* (2008) o cálculo de capacidade do tanque de fermentação é determinado pela carga diária dejetos depositados no biodigestor multiplicado pelo tempo de retenção hidráulica (Eq. 5), sendo que o volume de dejetos deverá ser misturado na proporção de 1:1 com água, segundo Faustino *et al.* (2009). Observou-se que utilizando o TRH de 36 dias foram obtidos os melhores valores tanto

para redução de sólidos totais e coliformes, quanto para geração de biogás (FAUSTINO *et al.*, 2009).

Obtido o volume de capacidade necessário para o tanque de fermentação e considerando que seu formato é cilíndrico, foi possível calcular suas dimensões através da equação 6, de modo que a altura adotada teve como base o biodigestor rural sertanejo detalhado pelo manual da Diaconia (2012).

Segundo Oliver *et al.* (2008), as dimensões da caixa de entrada devem minimamente comportar o volume de carga diária que corresponde ao volume de dejetos somado ao volume de água utilizada para diluição (Eq. 7). É durante essa etapa que se faz a mistura dos dejetos com água, de forma a atingir a homogeneidade. Similar ao tanque de fermentação, a caixa de entrada também tem formato cilíndrico e as dimensões foram definidas conforme a equação 8, seguindo as instruções da Diaconia (2012).

Definidos os volumes necessários para as partes anteriores, teve-se, por fim, a determinação do volume necessário a caixa de descarga, onde ficará armazenado o subproduto da digestão anaeróbia, o biofertilizante. De acordo com Oliver *et al.* (2008), ela deve ser dimensionada com no mínimo três vezes o volume da carga diária para permitir armazenamento do biofertilizante (Eq. 9).

Diferente das partes dimensionadas anteriormente, a caixa de descarga tem formato de paralelepípedo e foi particionada em dois compartimentos interligados: o primeiro que possui 3/5 (três quintos) do comprimento total da caixa e receberá os dejetos; e o segundo compartimento correspondendo a 2/5 (dois quintos) do comprimento da caixa para escoamento da parte líquida (biofertilizante). Logo as dimensões da caixa de descarga foram determinadas pela equação 10.

Da mesma forma que a caixa de entrada e o tanque de fermentação, tomou-se como base o manual da Diaconia (2012) para pré-definir as medidas iniciais para o cálculo.

**Quadro 3 – Equações para dimensionamento do biodigestor sertanejo (continua)**

Nº	Equações	Variáveis	Fonte
Eq. 1	$V_{dejetos} = \frac{M_{dejetos}}{D_{dejetos}}$	<p><math>V_{dejetos}</math> = Volume total de dejetos gerados por dia (m<sup>3</sup>);</p> <p><math>M_{dejetos}</math> = Massa total de dejetos gerados por dia (kg);</p> <p><math>D_{dejetos}</math> = Densidade dos dejetos (kg.m<sup>-3</sup>).</p>	Inczéd <i>et al.</i> (1997).

Quadro 3 – Equações para dimensionamento do biodigestor sertanejo (continua)

Nº	Equações	Variáveis	Fonte
Eq. 2	$P_{DDB} = \sum (N^{\circ} \times TC \times PE)$	<p><math>P_{DDB}</math> = Produção diária de dejetos por bovinos da categoria (<math>m^3 \cdot dia^{-1}</math>);</p> <p><math>N^{\circ}</math> = Número de animais da categoria em questão (número absoluto);</p> <p><math>TC</math> = Horas de confinamento por dia (tempo de confinamento)</p> <p><math>PE</math> = Produção específica de dejetos de bovino por categoria (<math>m^3 \cdot cab^{-1} \cdot h^{-1}</math>).</p>	CIBiogás (2009).
Eq. 3	$P_{biogás} = M_{dejetos} \times 0,040$	<p><math>P_{biogás}</math> = Produção diária de biogás estimada (<math>m^3 \cdot dia^{-1}</math>);</p> <p><math>M_{dejetos}</math> = Massa total de dejetos gerados por dia (kg).</p>	Oliver <i>et al.</i> (2008).
Eq. 4	$P_{GLP} = P_{biogás} \times 0,45$	<p><math>P_{GLP}</math> = Produção diária de GLP estimada (<math>L \cdot dia^{-1}</math>);</p> <p><math>P_{biogás}</math> = Produção diária de biogás estimada (<math>m^3 \cdot dia^{-1}</math>).</p>	Oliver <i>et al.</i> (2008).
Eq. 5	$V_{tq} = (V_{dejetos} + V_{ág}) \times TRH$	<p><math>V_{tq}</math> = Volume total do tanque de fermentação (<math>m^3</math>);</p> <p><math>V_{dejetos}</math> = Volume total de dejetos gerados por dia (<math>m^3</math>);</p> <p><math>V_{ág}</math> = Volume de água adicionada para diluição (<math>m^3</math>);</p> <p><math>TRH</math> = Tempo de retenção hidráulica (dias).</p>	Oliver <i>et al.</i> (2008); Faustino <i>et al.</i> (2009).
Eq. 6	$V_{tanque} = \pi \cdot r^2 \cdot h$	<p><math>V_{tanque}</math> = Volume total do tanque de fermentação (<math>m^3</math>);</p> <p><math>\pi</math> = Valor da constante pi (adimensional);</p> <p><math>r</math> = Raio do tanque (m);</p> <p><math>h</math> = Altura do tanque (m).</p>	Lima <i>et al.</i> (2006)
Eq. 7	$V_{entrada} = V_{dejetos} + V_{água}$	<p><math>V_{entrada}</math> = Volume total da caixa de entrada (<math>m^3</math>);</p> <p><math>V_{dejetos}</math> = Volume total de dejetos gerados por dia (<math>m^3</math>);</p> <p><math>V_{água}</math> = Volume de água adicionada para diluição (<math>m^3</math>);</p>	Oliver <i>et al.</i> (2008).

**Quadro 3 – Equações para dimensionamento do biodigestor sertanejo (conclusão)**

Nº	Equações	Variáveis	Fonte
Eq. 8	$V_{entrada} = \pi . r^2 . h$	$V_{entrada}$ = Volume total da caixa de entrada (m <sup>3</sup> );  $\pi$ = Valor da constante pi (adimensional);  $r$ = Raio do tanque (m);  $h$ = Altura do tanque (m).	Lima <i>et al.</i> (2006)
Eq. 9	$V_{descarga} = V_{entrada} \times 3$	$V_{descarga}$ = Volume total da caixa de descarga (m <sup>3</sup> );  $V_{entrada}$ = Volume total da caixa de entrada (m <sup>3</sup> ).	Oliver <i>et al.</i> (2008).
Eq. 10	$V_{descarga} = c . l . h$	$V_{descarga}$ = Volume total da caixa de descarga (m <sup>3</sup> );  $c$ = Comprimento da caixa de descarga (m);  $l$ = Largura da caixa de descarga (m);  $h$ = Altura da caixa de descarga (m).	Lima <i>et al.</i> (2006)

**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 3. 2. 2. Análise de viabilidade econômica

Com o intuito de efetuar as análises referentes à viabilidade econômica da instalação do biodigestor sertanejo na propriedade, foram feitos todos os levantamentos necessários referente às receitas, custos e investimentos. O orçamento elaborado foi conforme o Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil - SINAP (2023), abordando os materiais recomendados pelo manual da Diaconia (2012) e também as despesas relacionadas à mão de obra. Nesta ocasião, não foram considerados os custos de operação, visto o manejo corriqueiro do proprietário para remoção dos dejetos do curral, de forma a alterar somente o local de destinação do material.

A receita prevista para confrontar ao valor de custo inicial é a quantia de biogás produzido capaz de substituir o gás de cozinha (GLP). Sendo assim, fez-se o fluxo de caixa pelo período de 10 anos, tempo estimado de vida útil do biodigestor (CARVALHO *et al.*, 2017). As análises determinísticas de investimento foram apresentadas no quadro 4, no qual aferiu-se o tempo de recuperação do capital

(*Payback descontado*) através da equação 11 e conforme conceito de Ross *et al.* (2015), bem como o valor presente líquido (VPL) descrito por Ehrlich e Moraes (2013) e calculado de acordo com a equação 12. Outras duas formas de validação do projeto foram a taxa interna de retorno (TIR) definida por Brom e Balian (2007) e calculada segundo a equação 13, e por fim, o retorno sobre investimento (ROI) trazida por Mesquita (2021) (Eq. 14).

Os números demonstrados pelo fluxo de caixa representaram um cenário realista, já que, segundo o proprietário, mantém-se a constância em relação a quantidade de cabeças de animais bovinos e conseqüentemente de dejetos, visto a limitação física da propriedade para comportar um número maior de animais.

**Quadro 4 – Equações de análise de viabilidade econômica da do biodigestor**

Nº	Equações	Variáveis	Fonte
Eq. 11	$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t}$	I = Investimento inicial;  FC <sub>t</sub> = Fluxo de caixa no período;  K = Custo de capital;  t = Tempo para rever o capital inicialmente aplicado.	Ross <i>et al.</i> (2015).
Eq. 12	$VPL = \left[ \frac{FC_1}{(1+i)} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \right] - FC_0$	FC <sub>n</sub> = Fluxo de caixa em cada ano t, com t de 1 a n;  FC <sub>0</sub> = Investimento inicial;  i = custo do capital.	Ehrlich e Moraes (2013).
Eq. 13	$VPL = -1 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0$	i = Investimento inicial;  FC <sub>t</sub> = Fluxo de caixa no t-ésimo período;  t = Tempo de desconto de cada entrada.	Brom e Balian (2007).
Eq. 14	$ROI = \frac{Receita - Custos}{Custos} \times 100$	Receita = Somatório dos valores de entrada do fluxo de caixa;  Custos = investimento inicial.	Mesquita (2021).

Fonte: Autoria própria (2023)

## 4 RESULTADOS DISCUSSÃO

### 4. 1. Quantitativo de geração de dejetos bovinos

Conforme já citado anteriormente, o proprietário realiza a higienização diária do curral onde as cabeças de gado bovino leiteiro permanecem por oito horas todos os dias, possibilitando o fornecimento dos dados quantitativos reais de geração de dejetos recolhidos no curral. No entanto, o número inicial foi dado em quilogramas (kg), portanto utilizando a densidade de 1027,5 kg/m<sup>3</sup> (WANG *et al.*, 2019) para dejetos bovinos e através da equação 1 do quadro 3 converteu-se o número para a unidade de medida pertinente (m<sup>3</sup>). O método trazido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (2009) auxiliou na determinação quantitativa específica de geração de dejetos por meio da equação 2 (Quadro 3). A tabela 3 apresenta o quantitativo de geração total diária, mensal e anual de dejetos e a geração específica da categoria de bovinos leiteiros nos mesmos períodos.

**Tabela 3 – Total de geração de dejetos bovinos e geração de dejetos por cabeça**

Volume	Dejetos (m <sup>3</sup> )	Dejetos (kg)	Geração específica (m <sup>3</sup> /animal)	Geração específica (kg/animal)
Diário	0,19	200	0,015	15,40
Mensal	5,78	6000	0,46	462,38
Anual	69,35	72000	5,48	5548,50

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Segundo Oliver *et al.* (2008), um animal bovino leiteiro gera em torno de 12 toneladas de dejetos por ano, ou seja, aproximadamente 33 kg ou 0,032 m<sup>3</sup> de dejetos por dia. De acordo com Matos (2016), uma vaca leiteira com 400 kg de peso médio produz de 38 a 50 Kg de dejetos diariamente, na qual 28 a 32 Kg são de fezes e o restante de urina.

Xavier (2009) relaciona a quantidade de dejetos produzidos com a quantidade de alimentos fornecidos e ingeridos; a degradabilidade e digestibilidade dos alimentos (quanto maior a absorção, menor a geração de dejetos); a aceitabilidade pelos alimentos e provavelmente, pela seleção dos componentes da dieta: volumoso ou concentrado.

Os demais fatores que podem influenciar a quantidade de dejetos gerados são o clima da região, o sistema de produção, o peso corporal dos animais, o estado fisiológico (VAN HORN *et al.*, 1994) e o nível de produção leiteira das vacas (Wilkerson *et al.*, 1997). Um estudo feito por Morse (1994) quantificou os dejetos de vacas leiteiras de alta produção, essas tinham em média 567 kg de peso corporal e verificaram produções médias de 60,3 kg de dejetos por dia. Esses mesmos autores estimaram, para vacas com peso corporal de 454 kg, a geração de 48,10 kg de dejetos por dia.

Portanto, as informações dos trabalhos conduzidos pelos autores citados anteriormente vão ao encontro do quantitativo gerado na propriedade em estudo, visto a geração diária de aproximadamente 200 kg dividida pelas 8 horas de confinamento, que resultaria em 16,66 kg dejetos por animal durante o período, ou seja, considerando as demais horas do dia, o valor total de geração diária por cabeça seria de aproximadamente 50 kg.

#### **4. 2. Estimativa de geração de biogás e utilização em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP)**

Com base na Tabela 4 e equação 2 (Quadro 3) foi estimada a geração de biogás que o quantitativo de dejetos recolhidos diariamente na propriedade pode fornecer. A partir do conhecimento da geração estimada de biogás, encontrou-se a sua equivalência em GLP por meio da equação 3 (Quadro 3), e para aproximar da realidade de utilização fez-se a representação do quantitativo em botijões tradicionais de gás de 13 kg ou 31,5 litros.

**Tabela 4 – Potencial de geração de biogás e equivalência em GLP e botijão de gás tradicional**

<b>Geração</b>	<b>Biogás (m<sup>3</sup>)</b>	<b>GLP (L)</b>	<b>Botijões de gás tradicional (unid.)</b>
Diária	8	3,6	0,11
Mensal	240	108	3,43
Anual	2880	1296	41,2

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O biodigestor se apresenta de maneira simples, equipamentos que transformam os dejetos bovinos em gás inflamável (biogás), podendo ser utilizados para diversas

destinações, como por exemplo em substituição ao tradicional gás de cozinha (GLP) (MATTOS E FARIAS, 2011).

O biodigestor sertanejo para geração de biogás pode ser classificado como uma tecnologia social e é visto como uma alternativa prática de baixo custo, desenvolvido a partir do potencial existente em cada local, considerando suas particularidades e voltadas principalmente para o uso sustentável (CARVALHO *et al.*, 2016).

Conforme a relação entre biogás e GLP descrita por Oliver *et al.* (2008); e frente ao quantitativo de dejetos bovinos leiteiros acumulados diariamente no curral da propriedade e a demanda de 2 a 4 botijões de cozinha tradicional por mês; existe a possibilidade de fazer o uso total do biogás gerado. Segundo a *International Renewable Energy Agency* (2017) a utilização de fogões de cocção adotando o biogás como combustível, além de ser trazer benefícios ao meio ambiente, também apresenta eficiência de combustão comparável ao gás liquefeito de petróleo (GLP).

#### **4. 3. Dimensionamento do biodigestor sertanejo para a propriedade**

Feita a estimativa de fornecimento de biogás conforme a quantidade de dejetos gerados na propriedade rural, dimensionou-se o biodigestor sertanejo (indiano) que fosse capaz de absorver toda a quantia de dejetos gerados diariamente. O modelo em questão foi dividido em três partes: tanque de fermentação e a câmara de armazenamento de biogás; caixa de entrada e caixa de descarga.

Seguindo as instruções determinadas por Oliver *et al.* (2008), Faustino *et al.* (2009), usou-se a equação 5 (Quadro 3) para determinar o volume necessário para o tanque de fermentação e a equação 6 (Quadro 3) para encontrar suas demais dimensões. Seguindo a premissa de que a caixa de entrada deve minimamente comportar o volume de carga diária (OLIVER *et al.*, 2008), foi utilizada a equação 7 do quadro 3 para encontrar o volume deste compartimento e a equação 8, do mesmo quadro, para determinar as demais medidas. Ressalta-se que ambos os compartimentos possuem formato cilíndrico e conforme as instruções de Diaconia (2012), foram adotadas as alturas de 2,44 m e 0,5 m para o tanque de fermentação e caixa de entrada, respectivamente. As medidas determinadas encontram-se na tabela 5.

**Tabela 5 – Dimensões do tanque de fermentação e caixa de entrada do biodigestor**

<b>Medidas</b>	<b>Tanque de fermentação</b>	<b>Caixa de entrada</b>
Volume (m <sup>3</sup> )	13,70	0,38
Altura (m)	2,44	0,50
Raio (m)	1,36	0,49

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

O volume mínimo de capacidade do tanque de fermentação do biodigestor deverá ser de 13,70 m<sup>3</sup>, porém, conforme manual de construção do biodigestor da Diaconia (2012), o biodigestor dimensionado no material se refere a um tanque com capacidade estimada em 7,1 m<sup>3</sup> de volume, portanto para o presente estudo foi adotado o volume de 14,2 m<sup>3</sup>, o que facilitou a quantificação de materiais, além de ser um valor que atendeu a demanda.

A determinação do volume necessário para a caixa de descarga, onde será depositado o biofertilizante, fez-se aplicando a equação 9 (Quadro 3). De acordo com Oliver *et al.* (2008), ela deve ser dimensionada com no mínimo três vezes o volume da carga diária para permitir o armazenamento do subproduto.

Diferente das partes anteriores, a caixa de descarga tem formato de paralelepípedo e foi dividida em dois compartimentos interligados, sendo o primeiro com 3/5 do comprimento total e o segundo 2/5. Logo as dimensões da caixa de descarga foram determinadas aplicando a equação 10 (Quadro 3), adotando a altura de 0,5 m, bem como 2,09 m de comprimento para encontrar a largura necessária. As dimensões exatas encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6 – Dimensões da caixa de descarga do biodigestor**

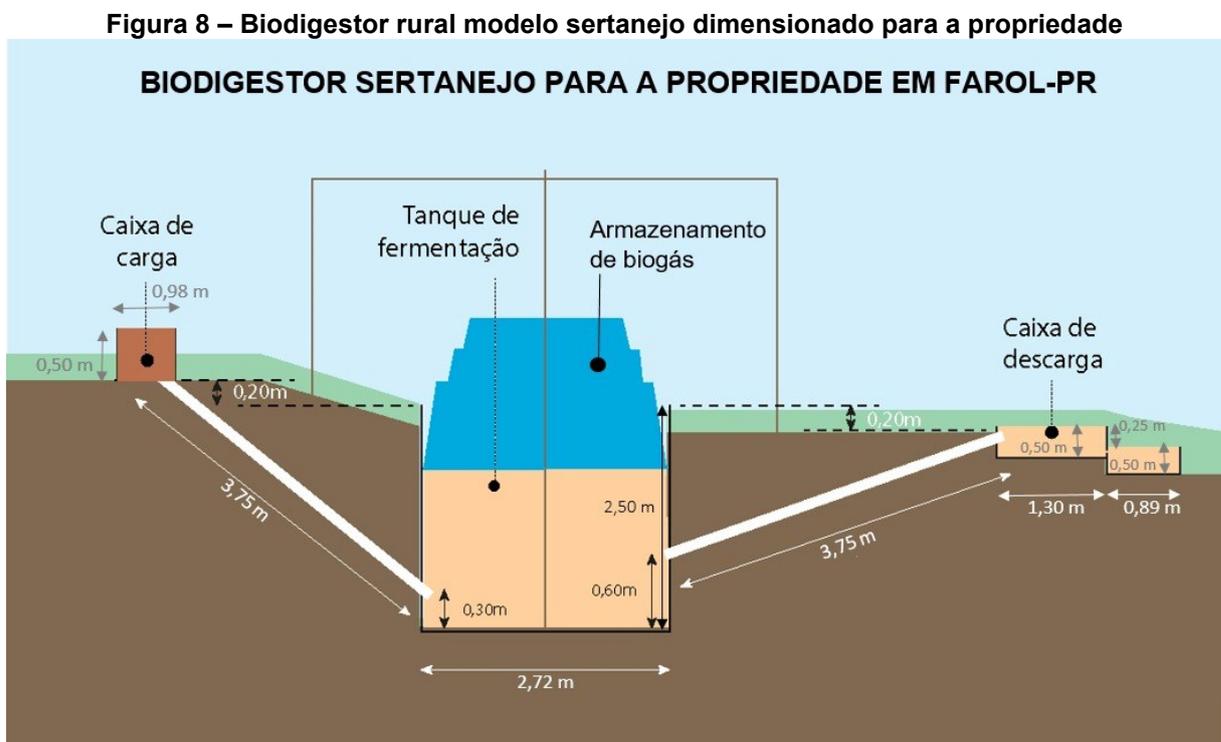
<b>Medidas</b>	<b>Caixa de descarga</b>
Volume (m <sup>3</sup> )	1,14
Altura (m)	0,5
Comprimento (m)	2,09
Largura (m)	1,1

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Portanto, os comprimentos da primeira (biofertilizante bruto) e segunda (biofertilizante líquido) parte da caixa foram de 1,30 m e 0,89 m, respectivamente.

Para que a operação do biodigestor fluísse conforme o esperado, foi necessário, segundo o manual da Diaconia (2012), que suas três partes (caixa de

entrada, tanque de fermentação e caixa de descarga) estivessem interligadas por dois canos de 3 metros cada, de forma que o piso da caixa de entrada ficasse a 20 centímetros acima da borda do tanque de fermentação e borda da caixa de descarga 20 centímetros abaixo da borda do tanque. O furo na caixa de entrada que conectou o cano ao tanque de fermentação foi feito ao fundo do compartimento e o furo do tanque de fermentação a 30 centímetros de altura da sua própria base. Da mesma forma, foram feitos furos que conectam o tanque de fermentação e a caixa de descarga, sendo o furo do tanque posicionado a 60 centímetros de altura da sua própria base e o furo da caixa de descarga a uma altura de 25 centímetros. Outro fator importante é a diferença de altura entre os compartimentos da caixa de descarga, para que a separação entre as fases sólido e líquido do biofertilizante ocorra efetivamente. Na figura 8 tem-se as dimensões ideais para que um biodigestor modelo sertanejo opere em plenas condições na propriedade no município de Farol-PR. As instruções detalhadas de construção e manutenção estão disponíveis na apostila intitulada: 12 passos para a construir um biodigestor - Diaconia (2012).



Fonte: Adaptado de Diaconia (2012)

#### 4.4. Análise de viabilidade econômica

A análise econômica de implantação do biodigestor sertanejo para a digestão anaeróbia de dejetos bovinos leiteiros e geração de biogás para substituir o GLP na propriedade em estudo levou em consideração o cenário realista da eventual operação do biodigestor pela família do proprietário. Os investimentos necessários para a consolidação do projeto foram obtidos através do orçamento fornecido pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (2023), conforme apêndice A.

O fluxo de caixa do projeto (Tabela 7) foi feito com um horizonte de 10 anos, tempo justificado pela vida útil do biodigestor. Foram definidas como entradas as produções anuais de biogás em equivalência ao GLP geradas pelo sistema, frente ao preço médio de R\$ 122,00 do botijão tradicional (13 kg ou 31,5 litros) de GLP praticado na região do município. Como saída foi levado em conta apenas o custo inicial (investimento), tendo em vista que para o proprietário seria alterada somente a destinação dos dejetos recolhidos no curral.

**Tabela 7 – Fluxo de caixa da operação do biodigestor sertanejo na propriedade**

Anos	Fluxo	Fluxo descontado	Saldo
0	- R\$ 10.246,91	- R\$ 10.246,91	- R\$ 10.246,91
1	- R\$ 5.227,83	- R\$ 4.595,89	- R\$ 14.842,80
2	- R\$ 208,75	- R\$ 161,33	- R\$ 15.004,14
3	R\$ 4.810,33	R\$ 3.268,29	- R\$ 11.735,85
4	R\$ 9.829,41	R\$ 5.871,13	- R\$ 5.864,72
5	R\$ 14.848,49	R\$ 7.796,96	R\$ 1.932,24
6	R\$ 19.867,57	R\$ 9.171,41	R\$ 11.103,66
7	R\$ 24.886,65	R\$ 10.099,66	R\$ 21.203,31
8	R\$ 29.905,73	R\$ 10.669,48	R\$ 31.872,79
9	R\$ 34.924,81	R\$ 10.953,97	R\$ 42.826,76
10	R\$ 39.943,89	R\$ 11.013,78	R\$ 53.840,54

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Em análise ao fluxo apresentado, tem-se que a partir do terceiro ano os saldos já são positivos, ou seja, o biodigestor traz retorno (*payback*) dentro do horizonte projetado. Porém, nessa primeira análise não foi levado em consideração a desvalorização monetária ao longo do tempo e, portanto, conforme o fluxo de caixa apresentado, foram calculados outros indicadores econômicos para atestar a viabilidade do projeto (Tabela 8).

**Tabela 8 – Indicadores econômicos de viabilidade da implantação do biodigestor sertanejo**

<b>Payback (descontado)</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>ROI</b>
4,75	R\$ 53.840,54	44,79%	390%

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Realizando o cálculo do tempo para o projeto se pagar (*payback* descontado) considerando a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo através da equação 11 do quadro 4, observa-se que houve um aumento nesse prazo. Segundo Souza (2020), ocorre essa desvalorização por conta da inflação, o que ainda não inviabiliza o projeto, visto a projeção de dez anos e que os resultados do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre investimento (ROI) se mostraram positivos.

O método de análise do valor presente líquido (VPL), através da equação 12 do quadro 4, requer somente que o valor obtido seja maior que zero, portanto, a implantação se mostra viável ao trazer um número de R\$ 53.840,54. Além do projeto pagar o valor investido dentro de quatro anos e nove meses, ainda proporciona lucros superiores a investimentos de renda fixa, como por exemplo, o tesouro direto, que tem firmado como garantia a taxa de 13,75% ao ano (taxa SELIC), resultando em um valor presente ou riqueza absoluta de R\$ 53.840,37. Conforme Botteon (2009) o proprietário teria esse valor acrescentado ao seu patrimônio.

A TIR de 44,79%, calculada pela equação 13 do quadro 4, representa a taxa em que o projeto não traria mais ganhos, e segundo Oliveira *et al.*, (2021) é quando ao analisar os rendimentos futuros em relação ao investimento inicial, esse resultado soma-se zero. Sendo assim, o valor obtido evidencia a viabilidade do projeto, pois apresentou resultado 31,04% acima dos 13,75% da taxa mínima de atratividade.

O retorno sobre investimento calculado conforme a equação 14 do quadro 4, também apresentou um bom indício para se investir na implantação do biodigestor sertanejo de forma que a cada R\$ 1,00 investido retornasse R\$ 3,90. Segundo Andru e Botchkarev (2011) o ROI é uma utilizada para balizar a viabilidade do empreendimento em um primeiro momento, buscando prever a lucratividade do investimento, de forma que o valor obtido ideal seja maior que zero. A análise é feita subtraindo os custos de operação das eventuais receitas e, dividindo pelos mesmos custos. O objetivo é avaliar a quantia ganha a cada R\$1,00 investido

Outro aspecto que poderia agregar receitas ao projeto seria a comercialização do biofertilizante gerado, visto que o preço do litro no mercado está na faixa de R\$ 15,00 a R\$ 40,00 o litro; mediante análises químicas profundas de avaliação e

regulamentação legal. Conforme mencionado por Daniel (2015), os restos dos bovinos possuem uma abundante quantidade de matéria orgânica e apresentam quantidades relevantes de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, zinco, bem como outros componentes presentes nas dietas dos animais, que têm potencial para auxiliar na fertilização do solo por meio do subproduto resultante da digestão anaeróbica.

## 5 CONCLUSÕES

Constatou-se que a utilização do biodigestor representa uma destinação adequada para dejetos bovinos que emitiriam metano e outros gases contribuintes para o efeito estufa e as mudanças climáticas, além da redução de patógenos e eliminação de odores.

A implantação é de baixo custo e traz retornos financeiros maiores do que os investimentos de renda fixa, através da produção de biogás em substituição ao GLP (gás de cozinha). Pode-se avaliar também a utilização do biofertilizante, subproduto que tem se mostrado eficiente na fertilização do solo, o que agregaria ainda mais ganhos ao projeto.

Infere-se que os pequenos produtores rurais desfrutariam de melhor qualidade de vida, visto que muitos se localizam em locais remotos, facilitando o acesso ao GLP e dispensando a utilização da lenha. Dessa forma, o projeto estimula a agricultura familiar, pois também contribui para a redução do êxodo rural.

O biodigestor rural modelo sertanejo como alternativa para as pequenas propriedades apresentou ganhos relacionados aos aspectos: ambiental, econômico e social. Portanto, conclui-se que o biodigestor rural sertanejo é sustentável.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**: capacidade de geração do Brasil. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzd kNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5Yz AxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ALAMIA, A.; STRÖM, H.; THUNMAN, H. Design of an integrated dryer and conveyor belt for woody biofuels. **Biomass and Bioenergy**, Sweden, v. 77, p. 92-109, jun. 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dec. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppens\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=search](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppens_climate_classification_map_for_Brazil?af=search). Acesso em 01 abr. 2023.

ANDRADE, F. A. Pecuária extensiva e a questão ambiental: uma análise dos impactos socioambientais da atividade pecuária no Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 203-214, mai./ago. 2012. ISSN: <https://portal.issn.org/resource/ISSN/0103-1570>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/issue/archive>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ANDRU, P.; BOTCHKAREV, A. Return on Investment: a placebo for the chief financial officer and other paradoxes. **Journal Of Multidisciplinary Evaluation**, Kalamazoo, v. 7, n. 16, p.201-206, jul. 2011.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20292>. Acesso em 29 mai. 2023.

ATELGE, M. R. *et al.* Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. **Waste and Biomass Valorization**, Kayseri v. 11, p. 1019-1040, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>. Acesso em 20 mai. 2022.

BEZERRA, V.R *et al.* Estimativa teórica de aproveitamento energético a partir de biodigestor no município de Souza-PB. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 4, p. 43-50, ago. 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.43-50>. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/gu2n2dyaifg75bqk2tfd2yfo3m/access/wayback/http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/download/4053/3208>. Acesso em 20 mai. 2022.

BOTTEON, C. **Indicadores de rentabilidade**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, Brasília, 2009. *E-book*. Disponível em: <http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/0/35920/indicadores-portugues.pdf> Acesso em: 01 nov. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, [2010]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em 21 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (agricultura de baixa emissão de carbono)**. Brasília: MAPA/ACS, 16 abr. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.

BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de investimento e capital de giro**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

CARVALHO, A. **Modelação matemática do processo de digestão anaeróbia**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2014. Disponível em: [https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/5816/1/msc\\_alfcarvalho.pdf](https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/5816/1/msc_alfcarvalho.pdf). Acesso em: 20 jul. 2021.

CARVALHO, D. M., DA SILVA, J. L., VASCONCELOS, R. O, COSTA, J. E. O beneficiamento do amendoim em Ribeirópolis/SE: do trabalho artesanal a aplicação de tecnologia social. **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, Ano XXVII, n. 1, p. 108-131, jan./jul. 2016. ISSN: 2318-2695. Disponível em: <https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/5237>. Acesso em: 01 jan. 2023.

CARVALHO, E. S *et al.* Viabilidade e benefício de implantação de pequenos biodigestores em propriedades de agricultura familiar. **Anais do VI Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**. São Paulo. 2017. Disponível em: <https://portal.issn.org/resource/ISSN/2317-8302>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Fundamentos do Biogás**. 1. ed. Foz do Iguaçu: CIBiogás, 2020.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Manual de equações e metodologias do simulador**: plataforma de Informações para energias renováveis. Foz do Iguaçu: CIBiogás-ER, 2009.

DANIEL, T. R. **Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**. Dissertação (Mestrado Profissional em

Ciência e tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2015.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural. Bauru. UNESP. 2002. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100031&scRipt=sci\\_arttext&tIng=pt](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100031&scRipt=sci_arttext&tIng=pt). Acesso em: 20 nov. 2022.

DE OLIVEIRA, L. M. F.; CARNEIRO, R. Políticas públicas e geração de energia através da biomassa dos resíduos sólidos no Brasil. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 3, p. 370-387, jul./set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n3p370-387>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/3884>. Acesso em 26 mai. 2023

DIACONIA. **12 Passos para construir um biodigestor**. Recife. 2012. *E-book*. Disponível em: <https://www.fbb.org.br/images/Editais/COPASA/2019/Biodigestor%20Sertanejo.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022

EHRlich, P. J.; MORAES, E. A. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

FAUSTINO, L. S. M.; TRAJANO, M. F.; JUNIOR, I. B. M.; MELLO, V. S. E TORRES, T. **Tratamento de resíduo orgânico e produção de biogás**. Recife. 2009. *E-book*. Disponível em: <http://www.abq.org.br/biocom/2009/trabalhos/-5-5457.htm>. Acesso em: 8 jun. de 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Dairy Production and Products – Milk Production**. Disponível em: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/#.V3AZwbgrLIV>. Acesso em 24 set. 2021.

GOLDEMBERG, J. Energia e sustentabilidade. **Revista de Cultura e Extensão, Universitária**. São Paulo, v,14, p. 33-43, nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9060.v14i0p33-43>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rce/article/view/108256>. Acesso em: 8 jun. 2022.

HEPP, F. **Avaliação da geração de biogás e biometano utilizando cama de bovinos de corte confinados e dejetos suínos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/items/53d40fc4-358e-49c1-b054-7f1a460cd1d6>. Acesso em 12 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 20 jul. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Biogas for domestic cooking**: technology brief. Abu Dhabi: IRENA, 2017. Disponível em: <http://www.irena.org/publications/2017/Dec/Biogas-for-domestic-cooking-Technology-brief>. Acesso em: 02 maio 2023.

INZCÉD, J.; LENGYEL, T.; URE, A. M. IUPAC Compendium of Analytical Nomenclature: **Definitive Rules**. 3ª edição. Oxford: Blackwell Science Ltda., 1997.

HIRSCHFELD, H. **Viabilidade técnico-econômica de empreendimentos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

JORGE, L. H. A.; OMENA, E. Biodigestor: dossiê técnico. Antônio Simões: Senai, 2012.

KONRAD, O. *et al.* **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. Lajeado: Univates, 2016..

KONRAD, O. *et al.* Enhancing the analytical capacity for biogas development in Brazil: assessment of an original measurement system for low. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 4430, p. 792–798, sep./oct. 2016 DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p792-798/2016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/vC3ymy85fpMxCmn9Y9d66YL/abstract/?lang=en>. Acesso em: 02 set. 2021.

KUNZ, A; STEINMETZ, R, L, R; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1. ed. Concórdia, SC: Sbera, 2019.

LEE, S. Techniques of lipid extraction from microalgae for biofuel production: a review. **Environmental Chemistry Letters**, Kajang v. 19, p. 231-251, sep./oct. 2021 DOI: 10.1007/s10311-020-01088-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01088-5>. Acesso em: 18 set. 2021.

LEMES JUNIOR, A. B.; RIGO, C.; CHEROBIM, A. P. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LIMA, E. L. *et al.* Volumes e Áreas. *In*: **A matemática do ensino médio**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: SBM, 2006. p.251-266.

LOPES, M.C. *et al.* Benefícios que podem ser oportunizados com o emprego de um biodigestor de pequeno porte em pequenas propriedades rurais do norte de Minas Gerais. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**. Altemara, v. 2, n. 1, p. 153-165, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital/article/view/92>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MATOS, C. F. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção**. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Seropédica, 2016. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1140>. Acesso em: 20 abr. 2022.

- MATTOS, L. C.; FARIAS JR. M. **Manual do biodigestor sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2011.
- MESQUITA, S. F. D. **Análise de investimento da construção de conjuntos habitacionais: estudo de caso aplicado a construção de casas populares no município de Itaitinga-CE**. 2021. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de economia profissional, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59069>. Acesso em: 19 set. 2021.
- MILANEZ, A. Y. *et al.* Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 47, p. 221-276, 2018. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15384>. Acesso em: 01 jan. 2023.
- MISROL, M. A.; ALWI, S. R. W.; LIM, J. S.; MANAN, Z. A. An optimal resource recovery of biogas, water regeneration, and reuse network integrating domestic and industrial sources. **Journal of Cleaner Production**. Johor Bahru. v. 286, p. 1-16, set./dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125372>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- MORSE, D. *et al.* Production and characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 275-279, jan/feb. 1994. DOI: 10.13031/2013.28081. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=28081>. Acesso em: 02 set. 2022.
- OLIVEIRA, B. P. **Biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos alimentares**. 2016. Dissertação (Mestrado em Energia) - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54209253/Dissertacao\\_Bruna\\_Patricia\\_2.pdf?1503418981=&response-contentdisposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE\\_FEDERAL\\_DO\\_ABC\\_BIODIGESTAO.pdf&Expires=1687985770&Signature=Ayk1fMgCj53hFzXhoG7GmBgsAwMD7iRZLC7BTfuYf37g2Bsv1n5fyiUIKVv77xiBDBe5p4kXYyJNXyQ7Dx-m87ZyyW-qaRWNKLOWReh3D-31hX0w0qrIpjEJZDMFt7fe2-4CL-kW1DqVDEJAOhINEisBgaCRDYOgvvjIWfdMtbQ~UT2WJeH9DR3Dm5Q22aJP8dyJZhpn-Zgk4SDYkyNbS2dAUvJvChfU~lwKF-YPNnhzsHJHOvMK7rOM-qQX9sKV97A6P57y0rCRmHjhA02LVtLzvOweux2NMd3pFqSpzx5zbpbGzS6whatrkHZHoxORSX49QDDfMvrH4UTdR2svxA\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54209253/Dissertacao_Bruna_Patricia_2.pdf?1503418981=&response-contentdisposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE_FEDERAL_DO_ABC_BIODIGESTAO.pdf&Expires=1687985770&Signature=Ayk1fMgCj53hFzXhoG7GmBgsAwMD7iRZLC7BTfuYf37g2Bsv1n5fyiUIKVv77xiBDBe5p4kXYyJNXyQ7Dx-m87ZyyW-qaRWNKLOWReh3D-31hX0w0qrIpjEJZDMFt7fe2-4CL-kW1DqVDEJAOhINEisBgaCRDYOgvvjIWfdMtbQ~UT2WJeH9DR3Dm5Q22aJP8dyJZhpn-Zgk4SDYkyNbS2dAUvJvChfU~lwKF-YPNnhzsHJHOvMK7rOM-qQX9sKV97A6P57y0rCRmHjhA02LVtLzvOweux2NMd3pFqSpzx5zbpbGzS6whatrkHZHoxORSX49QDDfMvrH4UTdR2svxA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acesso em: 21 set. 2022.
- OLIVEIRA, Í. P. D. *et al.* Costs and financial viability of blueberry production in Pelotas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Pelotas, v. 60, n. 2, p.1-11, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.236746>. Disponível em: <https://www.revistasober.org/ed/60a3b83fa9539550ac6f7233>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- OLIVEIRA J.; NASCIMENTO, J. A. **Engenharia econômica: uma abordagem às decisões de investimento**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- OLIVER, A. P. M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock International Brasil, 2008.
- ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 18., 2016. São Paulo. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo: Engema,

2016. Disponível em: <https://portal.issn.org/resource/ISSN-L/2359-1048>. Acesso em: 21 abr. 2022.

PEDROZA, M. M. *et al.* Methane and electricity production from poultry litter digestion in the amazona region of Brazil: A large-scale study. **Waste and Biomass Valorization**, Switzerland. v. 12, n. 2, p. 5807-5820, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01360-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-021-01360-x#citeas>. Acesso em: 01 jan. 2023.

PEREIRA, L. C. *et al.* Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba. v. 7, n. 4, p. 406-422, jan./mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i4.53685>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/53685>. Acesso em: 21 jan. 2022.

PIGOSSO, A. *et al.* **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

RATTANAPHAN, S.; RUNGROTMONGKOL, T.; KONGSUNE, P. Biogas improving by adsorption of CO<sub>2</sub> on modified waste tea activated carbon. **Renewable Energy**, Bangkok, v. 145, p.622-631, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.104>. Acesso em 22 out. 2022.

ROSS, S. *et al.* **Corporate finance**. 10. ed. Nova Iorque: The McGraw-Hill, 2015.

SALES, J. C. F. DE. **Digestão anaeróbia de dejetos suínos e resíduos de alimentos em biodigestor canadense**. 2017. Dissertação (Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal. 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/537>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J.-F.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable energy**, Ispra, v. 129, p. 457-472, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811830301X>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SILVA, I. M. **Estudo de viabilidade da implantação de um biodigestor sertanejo no assentamento Trangola em Currais Novos (RN)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38801/1/EstudodeViabilidade\\_Silva\\_2019.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38801/1/EstudodeViabilidade_Silva_2019.pdf). Acesso em 22 abr. 2022.

SILVA, J. E. P. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo/SP**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2016. Disponível em:

[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva\\_jep\\_me\\_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva_jep_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. São Paulo: Observatório do clima, 2018.

MARCUCCI, L. W. **Otimização da produção de biogás em biodigestores batelada**. Dissertação (Mestrado em Biometria), Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153157>. Acesso em: 01 ago. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Orçamento de materiais e mão de obra**. Brasília: SINAPI, 2023.

SOUZA, V. H. A. DE. Aspectos sustentáveis da biomassa como recurso energético. **Revista Augustus**, Rio de Janeiro, v.20, n. 40, p. 105-123, jul./dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.15202/19811896.2015v20n40p105>. Disponível em: <http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/revistaaugustus/article/view/894>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SOUZA, W. H. F. **Uma proposta de ensino de educação financeira crítica: utilizando inflação e seus índices**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Polo UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6402>. Acesso em: 02 jan. 2023.

TOKLU, E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. **Renewable Energy**, Duzce, v. 107, p. 235-244, jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117300861>. Acesso em: 10 set. 2022.

VAN HORN, H. H. *et al.* Components of dairy manure management Systems. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 7, p. 2008-2030, jul. 1994. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2). Disponível em: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(94\)77147-2/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(94)77147-2/fulltext). Acesso em: 23 nov. 2022.

XAVIER, C. A. N. **Caldo de cana-de-açúcar na biodigestão anaeróbia com dejetos de vacas em lactação sob diferentes dietas**. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia - Área de Concentração em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/104902>. Acesso em: 22 jan. 2023.

WANG, H. *et al.* Physical properties of dairy manure pre- and post-anaerobic digestion. **MDPI Journal Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 13 p. 1-10, may./jul.

2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9132703>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/13/2703>. Acesso em: 20 nov. 2022.

WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by holstein dairy cattle. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 80, n. 12, p. 3193-3204, dec. 1997. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76292-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76292-1). Disponível em: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(97\)76292-1/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(97)76292-1/fulltext). Acesso em: 15 jun. 2022.

ZANK, J. C. C.; BRANDT, L. S.; BEZERRA, R. C.; PEREIRA, E. N. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. **Exacta**, Foz do Iguaçu, v. 18, n. 3 p., 502-516, jul./set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n3.10802>. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/10802>. Acesso em: 20 nov. 2022.

**APÊNCIDE A – Orçamento de materiais e mão de obra do biodigestor rural sertanejo dimensionado para a propriedade em Farol-PR**

OBRA:  
BIODIGESTOR RURAL SERTANEJO

FONTES:  
SINAPI - 03/2023 - Paraná  
SICRO3 - 01/2023 -  
Paraná

ENCARGOS SOCIAIS:  
Não Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Orçamento Sintético								
Item	Código Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
1	92801 SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM. AF_06/2022	KG	8,82	10,85	10,85	93,93	0,92 %
2	00043130 SINAPI	ARAME GALVANIZADO 12 BWG, D = 2,76 MM (0,048 KG/M) OU 14 BWG, D = 2,11 MM (0,028 KG/M)	KG	6,77	26,23	26,23	177,57	1,73 %
3	88629 SINAPI	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA). PREPARO MANUAL. AF 08/2019	m³	0,7	638,37	638,37	446,85	4,36 %
4	00043980 SINAPI	CAIXA D'ÁGUA / RESERVATÓRIO EM POLIÉSTER REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO, 7000 LITROS, COM TAMPAS	UN	1	3.867,11	3.867,11	3.867,11	37,74 %
5	00007271 SINAPI	BLOCO CERÂMICO / TIJOLO VAZADO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO, 8 FUROS NA HORIZONTAL, DE 9 X 19 X 19 CM (L X A X C)	UN	53	0,75	0,75	39,75	0,39 %
6	103330 SINAPI	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 11,5X19X19 CM (ESPESSURA 11,5 CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_12/2021	m²	5,83	89,36	89,36	520,96	5,08 %
7	96620 SINAPI	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM PISOS, LAJES SOBRE SOLO OU RADIERES. AF 08/2017	m²	0,55	608,89	608,89	334,88	3,27 %
8	00009838 SINAPI	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 50 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	M	4	10,97	10,97	43,88	0,43 %
9	00021012 SINAPI	TUBO AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE LEVE, DN 40 MM (1 1/2"), E = 3,00 MM, *3,48* KG/M (NBR 5580)	M	4	62,28	62,28	249,12	2,43 %
10	BG_01 Próprio	Chapa Zincada Em Rolo P/ Uso Geral- 40 Cm	M	8,5	46,60	46,60	396,10	3,87 %
11	00004343 SINAPI	PARAFUSO FRANCÊS ZINCADO, DIÂMETRO 1/2", COMPRIMENTO 4", COM PORCA E ARRUELA	UN	6	4,29	4,29	25,74	0,25 %
12	00020209 SINAPI	CAIBRO APARELHADO *7,5 X 7,5* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIÃO	M	9	36,88	36,88	331,92	3,24 %
13	00004335 SINAPI	PARAFUSO FRANCÊS ZINCADO, DIÂMETRO 1/2", COMPRIMENTO 12", COM PORCA E ARRUELA LISA MÉDIA	UN	1	12,73	12,73	12,73	0,12 %
14	00009873 SINAPI	TUBO PVC, SOLDÁVEL, DE 60 MM, ÁGUA FRIA (NBR-5648)	M	2	28,25	28,25	56,50	0,55 %
14	00004400 SINAPI	CAIBRO NÃO APARELHADO, *6 X 8* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIÃO - BRUTA	M	2,5	28,76	28,76	71,90	0,70 %
15	00006194 SINAPI	TABUA *2,5 X 15 CM EM PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIÃO - BRUTA	M	2	4,84	4,84	9,68	0,09 %
16	00009837 SINAPI	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	M	1	14,40	14,40	14,40	0,14 %
17	00000100 SINAPI	ADAPTADOR PVC SOLDÁVEL, COM FLANGES E ANEL DE VEDAÇÃO, 60 MM X 2", PARA CAIXA D	UN	1	50,97	50,97	50,97	0,50 %
18	00007108 SINAPI	TE DE REDUÇÃO, PVC, SOLDÁVEL, 90 GRAUS, 50 MM X 20 MM, PARA ÁGUA FRIA PREDIAL	UN	1	9,62	9,62	9,62	0,09 %
18	00009867 SINAPI	TUBO PVC, SOLDÁVEL, DE 20 MM, ÁGUA FRIA (NBR-5648)	M	4	4,09	4,09	16,36	0,16 %
18	00020087 SINAPI	CAP PVC, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN	1	10,85	10,85	10,85	0,11 %
19	00003521 SINAPI	JOELHO PVC, SOLDÁVEL COM ROSCA, 90 GRAUS, 20 MM X 1/2", COR MARROM, PARA ÁGUA FRIA PREDIAL	UN	8	2,20	2,20	17,60	0,17 %
20	00000095 SINAPI	ADAPTADOR PVC SOLDÁVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDAÇÃO, 20 MM X 1/2", PARA CAIXA D'ÁGUA	UN	3	12,60	12,60	37,80	0,37 %
21	00037460 SINAPI	MANGUEIRA CRISTAL TRANCADA, PVC COM REFORÇO, PRESSÃO DE TRABALHO (PT) 250 LBS/POL2, DE 1" X *3,4" MM	M	6	22,14	22,14	132,84	1,30 %
22	00006034 SINAPI	REGISTRO DE ESFERA DE PASSEIO, PVC PARA POLIETILENO, 20 MM	UN	2	12,12	12,12	24,24	0,24 %
23	00011927 SINAPI	ABRACADEIRA, GALVANIZADA/ZINCADA, ROSCA SEM FIM, PARAFUSO INOX, LARGURA FITA *12,6 A *14 MM, D = 2" A 2 1/2"	UN	4	7,16	7,16	28,64	0,28 %
24	00009905 SINAPI	UNIAO PVC, SOLDÁVEL, 20 MM, PARA ÁGUA FRIA PREDIAL	UN	1	7,37	7,37	7,37	0,07 %
25	00044396 SINAPI	COLA BRANCA BASE PVA	KG	0,075	39,48	39,48	2,96	0,03 %
29	88316 SINAPI	SERVEENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	50	25,12	25,12	1.256,00	12,26 %
30	88309 SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	50	32,55	32,55	1.627,50	15,88 %
40	00036365 SINAPI	TUBO COLETOR DE ESGOTO PVC, JEI, DN 100 MM (NBR 7362)	M	7,5	40,96	40,96	307,20	3,00 %
41	00000345 SINAPI	ARAME GALVANIZADO 18 BWG, D = 1,24MM (0,009 KG/M)	KG	0,5	37,41	37,41	18,70	0,18 %
42	BG_02 Próprio	Rede Proteção Preta Tela Segurança Construção Obra 3x5m	M²	1,2	4,37	4,37	5,24	0,05 %
<b>Total sem BDI</b>							<b>10.246,91</b>	
<b>Total do BDI</b>							<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>							<b>10.246,91</b>	

Fonte: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (2023)