



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Eduardo Fiorese

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE BIOGÁS  
UTILIZANDO A CAMA DE AVIÁRIO DE CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE  
CASO NO CENTRO-LESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Florianópolis  
2023

Eduardo Fiorese

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE BIOGÁS  
UTILIZANDO A CAMA DE AVIÁRIO DE CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE  
CASO NO CENTRO-LESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica, habilitação para Engenharia de Produção.  
Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Caroline Rodrigues Vaz, Dra.  
Coorientador: Mayara Rohenkohl Ricci, Me. Enga.

Florianópolis  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fiorese, Eduardo

Análise da viabilidade econômica para implementação de biogás utilizando cama de aviário : um estudo de caso no centro-leste do RS / Eduardo Fiorese ; orientadora, Caroline Rodrigues Vaz, coorientadora, Mayara Rohenkohl Ricci, 2023.

71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Mecânica. 2. Biogás. 3. Viabilidade Econômica. 4. Cama de Aviário. 5. Avicultura. I. Vaz, Caroline Rodrigues. II. Ricci, Mayara Rohenkohl. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. IV. Título.

Eduardo Fiorese

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE BIOGÁS  
UTILIZANDO A CAMA DE AVIÁRIO DE CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE  
CASO NO CENTRO-LESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Local Auditório João E. E. Castro – EPS/CTC, 28 de junho de 2023.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Caroline Rodrigues Vaz, Dr(a).  
Orientadora

Prof. Rogério Feroldi Miorando, Dr.  
Instituição UFSC

Doutorando Cosme Polese Borges,  
Instituição UFSC

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo autor que foi julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica, habilitação para Engenharia de Produção.

---

Prof<sup>a</sup>. Caroline Rodrigues Vaz, Dra.  
Orientador

Florianópolis, 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, em especial a minha mãe Eli Teresinha da Silva, irmão Oberdan Henrique Fiorese e minha namorada Maiara Zenni Carbonera. Vocês sempre estiveram ao meu lado durante toda a minha jornada acadêmica. O apoio emocional e encorajamento que recebi de vocês foram essenciais para superar os momentos de dificuldade e manter-me motivado. Agradeço por sempre acreditarem em mim e por compartilharem minha alegria nesta conquista.

Gostaria de agradecer também a minha orientadora e coorientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Caroline Rodrigues Vaz, Dra. e Me. Eng<sup>a</sup>. Mayara Rohenkohl Ricci, que dedicaram seu tempo, conhecimento e expertise para me guiar ao longo desta jornada acadêmica. Suas orientações valiosas foram fundamentais para a realização deste trabalho e contribuíram significativamente para o meu crescimento intelectual. Agradeço pela paciência, disponibilidade e comprometimento em me ajudar a superar os desafios encontrados durante o processo.

Por fim, expresso minha gratidão a todos amigos que fiz durante o curso, em especial Felipe e Gustavo Dalla Vechia Lourenço, Franklin Canever Damiani, Arthur Dutra Locks, Eduardo Legat Springmann e Igor Augusto Obreli Mouco, que compartilharam conhecimentos, experiências e amizade ao longo desses anos. A troca de ideias e o trabalho em equipe foram fundamentais para o enriquecimento do meu aprendizado e para o amadurecimento como profissional. Obrigado pela amizade sincera e genuína, vocês são pessoas incríveis.

O término deste Trabalho de Conclusão de Curso representa a conclusão de uma importante etapa em minha vida acadêmica e profissional. Mais uma vez, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso desta conquista. Estou profundamente grato pela confiança, apoio e orientação que recebi.

## RESUMO

O Brasil se destaca mundialmente na avicultura, atualmente assumindo a terceira colocação na classificação mundial de produção, ficando atrás dos Estados Unidos e da China. Esse setor tem gerado uma quantidade significativa de biomassa proveniente da produção de aves, a qual apresenta uma considerável capacidade de produção de biogás, bem como seu potencial de reutilização como biofertilizante. No entanto, quando manejado de forma inadequada também possui grande capacidade poluidora, causando grandes impactos ao meio ambiente. Visando conciliar o meio ambiente com um viés econômico, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a viabilidade econômica para implementação de biodigestor para produção de biogás utilizando da cama de aviário produzida em uma propriedade na cidade de Teutônia-RS, que utiliza em sua composição a casca de arroz. Para isso, primeiramente estimou-se a capacidade de produção de biogás e em seguida convertido em valores monetários através da produção de energia elétrica e quotas de crédito de carbono, esta última que está elencada nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, o que gerou uma receita de R\$36.843,62 por ciclo (aproximadamente 15 meses) produtivo da propriedade. Em seguida foi elencado os dados para investimento de capital e despesas operacionais do sistema de biodigestão anaeróbia a ser instalado no aviário, este custo totalizou R\$637.657,41. Com estes valores, foi utilizado de métodos matemáticos de engenharia econômica para determinar a análise do investimento, como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), com isso estimou-se a viabilidade do projeto em quatro cenários distintos, o primeiro representando o cenário atual com um aviário, o segundo com dois aviários, o terceiro com três aviários e o quarto sendo um cenário pessimista, onde a quantidade de energia produzida pela biomassa foi reduzida de 5,5kWh/m<sup>3</sup> para 4,2kWh/m<sup>3</sup>, com intuito de entender onde está o ponto de equilíbrio entre investimento e retorno. Nos dois primeiros cenários constatou-se que não é viável economicamente a implementação do sistema, apresentando valores negativos de VPL e VAUE e TIR abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) calculada. Já o terceiro cenário e quarto cenário, mostraram-se rentáveis e favoráveis a sua implementação, tendo seu retorno financeiro *Payback* em 7,5 e 9,8 ciclos respectivamente. Além de apresentar um VPL de R\$254.886,78, VAUE de R\$34.496,79 e TIR de 13,70%, para o terceiro cenário, o quarto cenário apresentou VPL de R\$ 52.378,60, VAUE de R\$ 7.089,01 e TIR de 7,62%. Portanto, recomendou-se a criação de uma cooperativa de crédito de energia composta pelos vizinhos da propriedade que também produzem frangos. A proposta tem como objetivo estabelecer uma parceria colaborativa para viabilizar o projeto de investimento em energia renovável. Essa abordagem permite que os envolvidos compartilhassem custos, recursos e conhecimentos, aumentando a viabilidade econômica do empreendimento.

**Palavras-chave:** Biogás 1. Avicultura 2. Viabilidade Econômica 3. Cama de Aviário 4. Casca de Arroz 5.

## ABSTRACT

Brazil stands out worldwide in poultry farming, currently ranking third in the global production classification, behind the United States and China. This sector has generated a significant amount of biomass from poultry production, which has a considerable capacity for biogas production, as well as its potential for reuse as biofertilizer. However, when mishandled, it also has a great polluting capacity, causing significant environmental impacts. With the aim of reconciling the environment with an economic bias, the present study aims to analyze the economic feasibility of implementing a biodigester for biogas production using poultry litter produced on a property in the city of Teutônia-RS, which includes rice husks in its composition. To achieve this, the biogas production capacity was first estimated and then converted into monetary values through electricity generation and carbon credit quotas. The latter is listed in the Clean Development Mechanism, generating revenue of R\$36,843.62 per productive cycle (approximately 15 months) of the property. Next, data for capital investment and operational expenses of the anaerobic digestion system to be installed in the poultry farm were listed, totaling R\$637,657.41. With these values, mathematical methods of economic engineering were used to determine the investment analysis, such as Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), and Equivalent Uniform Annual Value (EUAV). The viability of the project was estimated in four different scenarios: the first representing the current scenario with one poultry farm, the second with two poultry farms, the third with three poultry farms, and the fourth being a pessimistic scenario where the energy production from biomass was reduced from 5.5 kWh/m<sup>3</sup> to 4.2 kWh/m<sup>3</sup>, in order to understand the breakeven point between investment and return. It was found that the implementation of the system is not economically viable in the first two scenarios, with negative NPV and EUAV values and IRR below the calculated Minimum Attractive Rate (MAR). However, the third and fourth scenarios proved to be profitable and favorable for implementation, with a financial payback period of 7.5 and 9.8 cycles, respectively. In addition, the third scenario had an NPV of R\$254,886.78, EUAV of R\$34,496.79, and IRR of 13.70%, while the fourth scenario had an NPV of R\$52,378.60, EUAV of R\$7,089.01, and IRR of 7.62%. Therefore, the recommendation is to create an energy credit cooperative composed of neighboring property owners who also produce chickens. The proposal aims to establish a collaborative partnership to make the renewable energy investment project viable. This approach allows the involved parties to share costs, resources, and knowledge, increasing the economic viability of the venture.

**Keywords:** Biogas 1. poultry farming 2. economic viability 3. aviary bed 4. rice husk 5.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método SYSMAP. . . . .	17
Figura 2 – Cama de frango da propriedade analisada. . . . .	22
Figura 3 – Casca de arroz utilizada na propriedade como cama do aviário. . . .	24
Figura 4 – Processo de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.	25
Figura 5 – Esquema representativo de um biodigestor de lagoa coberta (BLC).	27
Figura 6 – Esquema representativo de um biodigestor tipo UASB. . . . .	28
Figura 7 – Esquema representativo de um biodigestor CSTR com agitador de pá lateral. . . . .	29
Figura 8 – Esquema representativo de um biodigestor em fase sólida. . . . .	30
Figura 9 – Propriedade a ser analisada. . . . .	38
Figura 10 – Aviário da propriedade. . . . .	39
Figura 11 – Proposta de cooperativa de energia. . . . .	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultado da pesquisa internacional. . . . .	18
Quadro 2 – Resultado da pesquisa nacional. . . . .	19
Quadro 3 – Descrição e apresentação do processo contínuo e batelada. . . . .	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potenciais de produção de biogás, em $m.kg^{-1}$ . . . . .	43
Tabela 2 – Temperaturas máximas, mínimas e médias em Teutônia-RS. . . . .	43
Tabela 3 – Estimativa da produção de biogás por meio da digestão anaeróbia na propriedade estudada. . . . .	45
Tabela 4 – Orçamento para instalação de biodigestor. . . . .	47
Tabela 5 – Estimativa de manutenção do sistema produtor de biogás. . . . .	48
Tabela 6 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 1 aviário. . . . .	50
Tabela 7 – Análise de investimentos para cenário com 1 aviário. . . . .	51
Tabela 8 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 2 aviários. . . . .	52
Tabela 9 – Análise de investimentos para cenário com 2 aviários. . . . .	53
Tabela 10 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 3 aviários. . . . .	54
Tabela 11 – Análise de investimentos para cenário com 3 aviários. . . . .	55
Tabela 12 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 3 aviários. . . . .	56
Tabela 13 – Análise de investimentos para cenário pessimista. . . . .	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
BLC	Biodigestor de Lagoa Coberta
Certel	Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia
CIBiogas	Centro Internacional de Energias Renováveis
CSTR	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
EPE	Empresa de Pesquisa em Energia
GEE	Gases de Efeito Estufa
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinil
RCE	Redução Certificada de Carbono
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
Udop	União Nacional da Bioenergia
UNFCCC	Convecção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
VAUE	Valor Anual Unificado Equivalente
VPL	Valor Presente Líquido
WACC	<i>Weighted Average Capital Cost</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	13
1.2	PROBLEMÁTICAS DA PESQUISA	14
1.3	OBJETIVOS	15
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>15</b>
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	ESTRUTURA DA PESQUISA	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
2.1	CAMA DE AVIÁRIO	21
<b>2.1.1</b>	<b>Problemas ambientais relacionados a cama de aviário</b>	<b>22</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Casca de arroz como cama de aviário</b>	<b>23</b>
2.2	PRODUÇÃO DE BIOGÁS	24
2.3	BIODIGESTORES	26
<b>2.3.1</b>	<b>Biodigestor de lagoa aberta (BLC)</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Biodigestor tipo UASB</b>	<b>27</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Biodigestor tipo CSTR</b>	<b>28</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Biodigestor em fase sólida</b>	<b>29</b>
2.4	ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	30
<b>2.4.1</b>	<b>Custos e Despesas</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Investimento</b>	<b>31</b>
2.5	ANÁLISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS	31
<b>2.5.1</b>	<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	<b>31</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)</b>	<b>32</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Taxa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>33</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Retorno de investimento (Payback)</b>	<b>33</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Taxa mínima de atratividade (TMA)</b>	<b>34</b>
2.6	CRÉDITOS DE CARBONO	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	37
3.2	AMBIENTE DA PESQUISA	37
<b>3.2.1</b>	<b>Características da Propriedade</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Características do aviário</b>	<b>38</b>
3.3	COLETA DE DADOS DO ESTUDO DE CASO	40
3.4	ANÁLISE DE INVESTIMENTO	41
<b>3.4.1</b>	<b>Análise de Cenários</b>	<b>41</b>
3.5	ESCOLHA DO BIODIGESTOR	42

3.6	ESTIMATIVA DO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOGÁS . . . . .	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .</b>	<b>44</b>
4.1	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS . . . . .	44
4.2	ORÇAMENTO DA INSTALAÇÃO DE BIODIGESTOR . . . . .	46
4.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA . . . . .	49
<b>4.3.1</b>	<b>Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário Atual com 1 Aviário</b>	<b>49</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário com 2 Aviários . . .</b>	<b>51</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário com 3 Aviários . . .</b>	<b>53</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário Pessimista . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Discussão do Cenário 3 com a Literatura . . . . .</b>	<b>57</b>
4.4	PROPOSTA DE MELHORIAS . . . . .	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO E ESCLARECIDO</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO AO PRODUTOR . .</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO AO ESPECIALISTA</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE D – FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DE FRAN-</b>	
	<b>GOS . . . . .</b>	<b>69</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma contextualização do tema abordado neste trabalho, além de expor a problemática de pesquisa. Também são apresentados o objetivo geral e os específicos, assim como justificativa e a estrutura da pesquisa.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Nos últimos anos, o aumento na demanda energética em todo o mundo tem motivado a busca por novas fontes de energia renovável. Essas fontes, provenientes da água, do vento, do sol e da biomassa, têm se tornado cada vez mais exploradas. O biogás enquadra-se como uma potencial fonte de energia limpa, sendo produzido através da biodigestão anaeróbica da matéria orgânica obtida de resíduos domésticos, industriais ou agropecuários, e pode ser produzido em pequena, média ou grande escala.

De acordo com IRENA (2021), em 2000, a capacidade mundial de geração de energia elétrica a partir do biogás era de 2.455 MW. Ao longo das últimas duas décadas, houve um crescimento significativo no número de instalações de biogás para geração de energia elétrica, alcançando em 2020 uma capacidade instalada de 20.150 MW. Atualmente, conforme CIBiogas (2023), sete países (Alemanha, Estados Unidos, Reino Unido, Itália, China, França e Brasil) são responsáveis por 73,8% das plantas de produção de energia elétrica por meio do biogás em todo o mundo.

No Brasil é utilizadas fontes renováveis para produção de energia elétrica, como o caso das hidrelétricas e o bagaço da cana. Mesmo assim, segundo a Empresa de Pesquisa em Energia (EPE) no país apenas 48% da oferta de energia é proveniente de fontes renováveis (EPE, 2021), ou seja, 52% são provenientes de fontes não-renováveis, como petróleo e seus derivados (33,1%), lenha e carvão vegetal (8,9%), carvão mineral e coque de carvão (4,9%) e outras fontes não-renováveis (5,1%).

Devido a expressiva produção agropecuária, agroindustrial e elevado número de centros urbanos super populosos, Zanette (2009) estimou que existe um potencial de produção de biogás equivalente a 50 milhões de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por dia, sendo que este pode ser utilizado para produção de energia térmica, luminosa ou elétrica. A produção de energia elétrica através de biogás está crescendo rapidamente em todo país, com um salto expressivo no número de plantas produtoras na última década, segundo Somer *et al.* (2021) o número passou de 39 em 2010, para 755 em 2023. Isso se deve ao fato do biogás não ser apenas uma solução ambiental para os resíduos gerados pela população e agroindústrias, mas uma questão de urgência em diversificar a matriz energética do país, fato que foi reforçado em 2021 pela grave crise de energia proveniente de fontes hídricas, que culminou em um entrave para o crescimento da economia brasileira, levando a aumentos nos custos da energia elétrica e de produção

da indústria.

Segundo dados do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) de 2023, a expectativa para a produção de biogás no Brasil no ano de 2022 é de 2,8 bilhões de m<sup>3</sup>, um aumento de 33% em comparação ao ano de 2020, a expectativa é que em 2030 a produção alcance 30 bilhões de m<sup>3</sup>.

Na região sul do Brasil, segundo a União Nacional da Bioenergia (Udop, a produção do biogás está fortemente relacionada a agropecuária, as atividades que lideram este setor são a bovinocultura com 53% do total da produção, suinocultura com 28% e avicultura com 7%. Ainda segundo a Udop, o mesmo aponta que a agroindústria Sul brasileira tem potencial para produzir cerca de 3 bilhões Nm<sup>3</sup>/ano de biogás, cerca de 6.698 GWh/ano. Por mais que a bovinocultura se destaque na produção de biogás, a produção que mais se destaca na região é a avicultura com 914 milhões de frangos abatidos no ano de 2021 (IBGE, 2021), seguido pela suinocultura com 9,3 milhões de suínos abatidos no mesmo ano. Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), os estados do Sul do Brasil abatem 64,08% de toda produção de aves do país, com destaque para o Paraná representando 35,54% de toda produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul com cerca de 14%.

Os dados fornecidos destacam o imenso potencial que o Brasil, mais precisamente o estado do Rio Grande do Sul, possui em relação à produção de biogás por meio da avicultura. No entanto, é evidente que esse setor necessita de maiores incentivos, estudos e divulgações científicas para que ocorra uma expansão significativa dessa fonte de energia sustentável.

## 1.2 PROBLEMÁTICAS DA PESQUISA

O sucesso da pecuária no Brasil foi possível graças ao grande investimento em novas tecnologias e inovações no setor, alavancando a produção nas últimas décadas a economia nacional. No entanto, esse aumento de produção trouxe consigo grandes impactos ambientais negativos, alguns irreversíveis.

No setor de produção de aves de corte no sistema integrado, existe uma grande necessidade de utilização de recursos naturais, o que torna a atividade uma poluidora potencial ao meio ambiente. Palhares (2013), afirma que a produção de aves impacta o ambiente de diversas maneiras, citando como exemplo a utilização de grandes quantidades de água, contaminação do solo pelos resíduos, produção de gases como amônia, emissão de poeira e odores no ar. Outro impacto é o consumo de energia, como abordado no início da seção mais da metade da energia produzida no país provem de fontes não-renováveis, indiretamente o grande consumo de energia demandada na produção de aves, impacta na utilização de energia proveniente de fontes fósseis. Ainda segundo Palhares (2013), uma alternativa para minimizar esses impactos seria a produção de biogás através de biodigestores, que além de fornecer energia e biofer-

tilizantes, reduz significativamente a demanda de oxigênio dos efluentes e redução da emissão do gás metano ( $CH_4$ ).

Airton M. Aires (2022) corrobora em seu artigo, um caso de sucesso no Brasil com produção de biogás, o "3Gs Família de Paula", uma planta de biogás instalada em 2017 na cidade de Boa Esperança do Iguaçu - PR. Com investimento de 2,3 milhões de reais nas plantas e capacidade de processar o equivalente a 1000 ton. de resíduos por ano (equivalente a 4 aviários), com geração de de 282 mil  $Nm^3$  a 385 mil  $Nm^3/ano$  de biogás, gerando energia, gás para aquecimento e biofertilizante para as lavouras da propriedade. Neste caso nota-se o grande porte do negócio e o alto investimento, que mostrou-se dar certo devido a grande quantidade de resíduos produzidos pelos quatro aviários.

No entanto, é escasso investigações sobre casos de sucesso em pequenas propriedades familiares, onde a quantidade de aviários não é tão elevado como no caso citado acima, e sobre sua viabilidade econômica. Como visto na seção anterior, o agronegócio na região sul é evidentemente muito presente e possui grande potencial de produção de energia através da produção do biogás, o que poderia sanar parte da necessidade de utilização de fontes fósseis para produção de energia.

Portanto, a pergunta de pesquisa que se pretende responder neste trabalho é: Seria economicamente viável a implementação de biodigestores em pequenas propriedades produtoras de aves de corte no Brasil?

### 1.3 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica da produção de biogás utilizando a cama de aviário de casca de arroz através de estudo de caso em uma propriedade no Centro-Leste do Rio Grande do Sul.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são: No que diz respeito à estrutura do trabalho, recomenda-se:

- a) Levantar dados de reutilização dos resíduos de cama de aviário de casca de arroz da propriedade a ser estudada.
- b) Estimar o total de biogás que será produzido a partir da quantidade de cama de frango disponível na propriedade.
- c) Estimar a quantidade de energia elétrica a ser produzida a partir do biogás gerado.

- d) Analisar os aspectos em torno do investimento e retorno a partir da produção do biogás.
- e) Propor melhoria no modelo atual de reutilização da cama de aviário de casca de arroz da propriedade.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

O aumento na automatização e climatização de aviários demandam uma quantidade cada vez maior de recursos para seu funcionamento, como energia, água e lenha, tais aumentos de demanda por recursos aliados aos elevados custos de implementação de uma planta mais tecnológica, acabam gerando grandes custos para produção de aves em todo país.

Um fator de muita relevância, é que pequenos produtores possuem poucos recursos para a realização de estudos econômicos desta natureza em suas propriedades, que os auxiliaria fortemente nas tomadas de decisão, ao mesmo tempo se tem estes pequenos produtores tentando fechar as contas no azul, existe grande pressão por parte das empresas por uma produção e desenvolvimento mais sustentável em toda cadeia produtiva. Uma solução conhecida na literatura, mas pouco difundida pelos pequenos produtores é a produção de biogás com cama de aviário de casca de arroz para produção de energia e/ou gás para substituição da lenha.

Porém, foi realizado levantamento na literatura através do método SYSMAP (*Sciometric and sYstemaic yielding MApping Process*, desenvolvido por VAZ e Uriona Maldonado (2017), SYSMAP é um método de pesquisa estruturado para revisão da literatura que emprega análises quantitativas e qualitativas. Ele consiste em cinco fases: 1) Construção da coleção de artigos (Amostra I); 2) Processo de filtragens; 3) Análise cientométrica; 4) Análise de conteúdo (Amostra II) e, 5) construção das lacunas/oportunidades de pesquisa.

As cinco fases do método SYSMAP, são observáveis na Figura 1.

Figura 1 – Método SYSMAP.



Fonte: Vaz e Uriona Maldonado, 2017, p.24.

A pesquisa foi realizada em dezembro de 2022, sendo feita em base internacional utilizando as palavras-chave: *biogas production*, *poultry farming*, *chicken manure wastes* e *chicken droppings*, e aplicando as restrições chegou-se nos resultados descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Resultado da pesquisa internacional.

<b>Artigo</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano de publicação</b>
Opportunities and Potential of Bioenergy Development in Agroindustrial Complexes of Kazakhstan	Omarov Z., Kalykov A., Niyazbekova R., Yessirkepova A.	2021
Development and performance evaluation of small size household portable biogas plant for domestic use	Abbas I., Liu J., Noor R.S., Faheem M., Farhan M., Ameen M., Shaikh S.A	2022
Comparative study of biogas production in composite of poultry droppings and lemon grass using pressure computed from strain gage rosette	Olaoluwa A., Williams A., Amanda N., Timileyin A. Henry Boyo	2018
Antimicrobial and Antioxidant Potential of <i>Scenedesmus obliquus</i> Microalgae in the Context of Integral Biorefinery Concept	Zaharieva M.M., Zheleva-Dimitrova D., Rusinova-Videva S., Ilieva Y., Brachkova A., Balabanova V., Gevrenova R., Kim T.C., Kaleva M., Georgieva A., Mileva M., Yoncheva K., Benbassat N., Najdenski H., Kroumov A.D.	2022
Improve Biogas Production By Using Bacteria	Sultan S.M., Wadullah H.M., Mohammed A.G., Ahmed O.K.	2019
Potential for biogas production from the anaerobic digestion of chicken droppings in Morocco	Elasri O., Afilal M.E.	2016
Production of Biogas from Mono- and Co-Digestion of Agricultural Waste (Cow Dung, Chicken Dropping, and Rice Husk)	Arekemase M.O., Aweda I.	2020

Fonte: Autor, 2023.

O mesmo foi feito para a pesquisa nacional utilizando as mesmas palavras-chave e restrições, o resultado obtido encontra-se no Quadro 2

Quadro 2 – Resultado da pesquisa nacional.

Artigo	Autores	Ano de publicação
Desenvolvimento de um Sistema para o Pré-Processamento da Cama de Frangos de Corte Destinada a Biodigestão Anaeróbia e Compostagem "in-vessel"	Aires A.M.	2012
Produção de biogás a partir da codigestão de cama de frango e efluente de suinocultura	Somer J.G.	2021
Estudo da Viabilidade de Produção de Biogás a partir de Dejetos de Aves e Sua Utilização para a Geração de Energia Elétrica na Zona Rural de Roque González de Santa Cruz/Paraguai	Medina M.M.B., Furtado A.C.	2021
Desenvolvimento de Planta de Biogás para Cadeia Avícola: Case 3Gs Família de Paula	Aires A.M.	2022
Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil	Zanette A.L.	2009
Produção De Biogás A Partir De Resíduos Da Avicultura: Um Estudo De Caso No Município De Tamboara	Paschoal F.A.	2015

Fonte: Autor, 2023.

Nota-se que os resultados encontrados resultam em pesquisas de grande escala de produção de biogás. Sendo assim, o presente trabalho se justifica na importância de levar o conhecimento da tecnologia aos pequenos produtores familiares e auxiliar na redução de impactos ambientais causados pela produção de aves de corte.

## 1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A estrutura da pesquisa do referente trabalho é apresentada em cinco capítulos, com intuito de realizar uma análise financeira referente a implementação de biodigestores em pequenas propriedades rurais.

O **primeiro capítulo** é a introdução, onde é contextualizado o tema, apresentado a problemática da pesquisa, os objetivos gerais e específicos e a justificativa da escolha do tema.

A fundamentação teórica se apresenta no **segundo capítulo**, nele os principais tópicos a serem abordados são: cama de aviário, produção de biogás, análise de

investimentos e avaliação econômica de investimentos.

O **capítulo três** é referente a metodologia da pesquisa e procedimentos metodológicos.

Seguindo para o **quarto capítulo** que apresentará os resultados obtidos através da metodologia utilizada, os dados obtidos serão discutidos e analisados seu impacto no modelo de custos do sistema atual.

No **quinto capítulo** serão apresentadas as considerações e conclusões finais, assim como recomendações para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem como objetivo levantar dados acerca do assunto exposto a fim de contribuir com conhecimento específico para alcançar o objetivo proposto. No presente trabalho buscou-se na literatura tratar sobre cama de aviário, produção de biogás, análise de investimentos e avaliação econômica do investimento.

### 2.1 CAMA DE AVIÁRIO

A cama de aviário é todo o material usado para cobrir o piso do galpão que vai alojar as aves. É muito importante para a produção das aves por garantir conforto térmico, funcionando como isolamento das baixas temperaturas do solo do galpão (PASCHOAL, 2015). Geralmente ela é composta pelos excrementos e penas das aves, restos de ração e o próprio material da cama. Os materiais mais utilizados para compor uma cama são: a casca de arroz, maravalha (descarte de serrarias de madeira), sabugo de milho picado, capim, entre outros materiais (GRIMES, 2004).

A cama de aviário apresenta grande quantidade de resíduos, que varia com o número de lotes que passam pelo galpão antes da realização da troca da cama, ou seja, a quantidade de reuso dessa cobertura (ALVES, 1991). Após esse reuso, a cama é substituída, essa cama retirada é uma ótima fonte de nutrientes para o solo, como nitrogênio, e quando utilizado da forma correta possibilita a substituição, total ou parcial, da demanda de fertilizantes e adubos químicos. Este material também melhora as características físicas do solo, como a capacidade de retenção de água e redução de erosão (BLUM et al., 2003).

Figura 2 – Cama de frango da propriedade analisada.



Fonte: Autor, 2023.

A cama de aviário é considerada um material de baixo custo, que pode gerar altos retornos a produção quando utilizada como adubo, sendo um dos métodos de reutilização de cama mais aceita pelos agricultores, pois traz maiores benefícios a produção além de diminuir os efeitos agressivos de adubos químicos (COSTA et al., 2009).

### 2.1.1 Problemas ambientais relacionados a cama de aviário

Nos últimos anos, tem havido uma atenção especial para o problema ambiental relacionado à produção animal em geral, incluindo a avicultura, devido ao alto potencial de emissão de gases de efeito estufa proveniente da degradação inadequada dos dejetos (YETILMEZSOY; SAKAR, 2008). A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) afirma que 20% das emissões globais de gases que contribuem para o efeito estufa são de origem agropecuária, em alguns países esse valor pode passar dos 50%, onde o metano produzido durante a degradação da matéria orgânica em meio anaeróbico, e o óxido nitroso, produzido em ambientes anaeróbios ao utilizar compostos nitrogenados orgânicos ou inorgânicos, são os principais gases envolvidos. Esses gases contribuem para o aumento da temperatura global ao impedir a saída da radiação solar que é refletida na superfície da Terra para o espaço.

Segundo Abouelenien *et al.* (2010), a disposição inadequada dos resíduos da avicultura, tais como cama de frango, dejetos de galinhas poedeiras, carcaças de aves, entre outros, compromete a qualidade do solo, do ar e dos corpos d'água, resultando em contaminação dos mananciais por microrganismos, toxidade para animais e plantas, e depreciação do produto. No entanto, tais impactos só são percebidos em médio e longo prazo.

É notório que os dejetos animais têm alto poder poluente devido ao grande número de contaminantes, que podem causar contaminação e degradação do ar, da água e do solo. Isso tem levado a legislação ambiental a estabelecer parâmetros de emissão cada vez mais rigorosos para preservar os recursos naturais e a saúde humana (STEIL, 2001).

Segundo Aires (2012) existe uma clara necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para reciclar os resíduos gerados na avicultura, aproveitando toda a energia e nutrientes existentes na cama de frango de maneira adequada, com o objetivo de mitigar os danos ao meio ambiente.

### **2.1.2 Casca de arroz como cama de aviário**

A cama de aviário é feita comumente de subprodutos da indústria e restos de culturas, a sua qualidade é essencial para garantir boas condições sanitárias do lote. Estudos que buscam comparar a eficiência da casca de arroz e da maravalha, quando comparados os dois substratos em critério de avaliação de peso ao abate, consumo de ração, mortalidade e bem-estar animal, observou-se que não houve diferença significativa dos resultados que justificasse o uso de um substrato em específico (DE AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992).

Figura 3 – Casca de arroz utilizada na propriedade como cama do aviário.



Fonte: Autor, 2023.

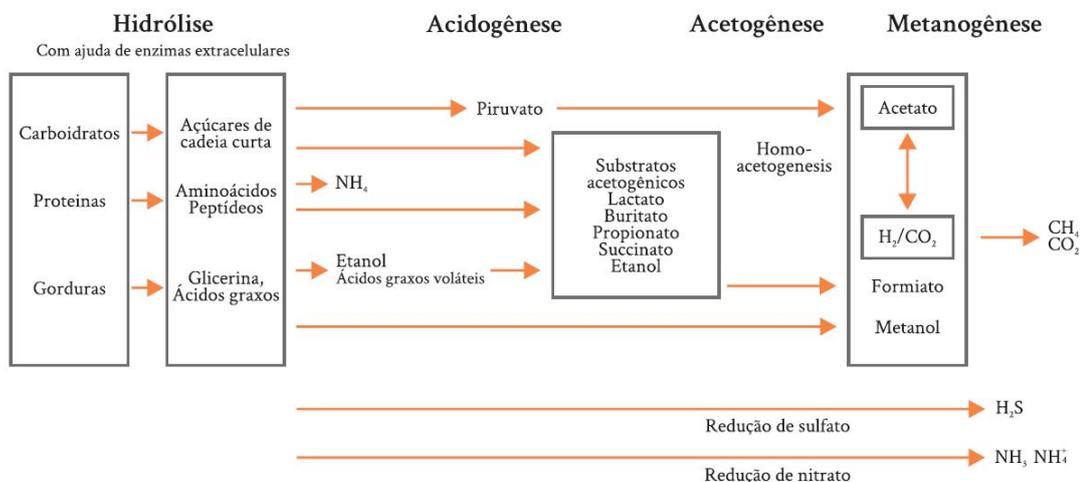
Uma vez que este material pode ser utilizado para a produção de biogás, pode-se estabelecer uma conexão com o próximo tópico, que aborda a produção de biogás. A produção de biogás envolve a decomposição anaeróbica de matéria orgânica, como esterco de animais e resíduos agrícolas, em um processo chamado de digestão anaeróbica.

## 2.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A energia produzida por biomassa que mais se destaca é o biogás, comumente utilizado para produção de energia elétrica ou térmica e combustível para veículos (SOMER *et al.*, 2021).

A produção de biogás se dá a partir da digestão anaeróbia da biomassa, essa digestão envolve e requer uma condição anaeróbia (potencial redox  $< -200$  V) e processos complexos para transformação de matéria orgânica em dióxido de carbono e metano. O processo de biodigestão é dividido em quatro fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 4 – Processo de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.



Fonte: Kunz et al., 2022, p.16

Como pode ser observado na Figura 4, cada etapa é realizada por grupos diferentes de microrganismos. Na primeira etapa temos a hidrólise, realizada pelas bactérias hidrolíticas, ela é responsável pela degradação de lipídios, polissacarídeos e proteínas orgânicas mais simples, transformando-os em aminoácidos e ácidos graxos (monômeros) (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Em seguida os monômeros produzidos pela etapa anterior são degradados por bactérias acidogênicas, esse processo é a acidogênese, e resultam em ácidos orgânicos de cadeia curta, conhecidos como ácidos voláteis. Ainda neste processo, existe a produção de gases como amônia, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio.

Na acetogênese, temos a ação das bactérias acetogênicas convertem a maior parte dos ácidos e álcoois, produzidos na acidogênese, em ácidos acéticos, como o  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . É a etapa mais crítica do processo, pois suas reações são endotérmicas. "As bactérias acetogênicas estabelecem relação de simbiose com as arqueas metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas[...]. A simbiose entre organismos dos grupos microbianos distintos possibilita que ambos apresentem crescimento, assegurando a viabilidade de produção de acetato a partir de ácidos orgânicos"(KUNZ et al.,2022, p.18).

A última etapa, metanogênese, é onde tem-se a formação de metano ( $\text{CH}_4$ ) e ela ocorre em condições exclusivamente anaeróbicas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

O biogás resultante é composto por diversos gases e sua composição depende da biomassa utilizada. No entanto, existem dois gases que se apresentam com maior concentração, esses gases são o metano ( $\text{CH}_4$ ), compondo 65% do biogás, e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )(MARCHIORO, 2017). Além disso, o biogás não pode ser utilizado

nos geradores sem um tratamento prévio, precisando estar com os ácidos e a água removidos completamente, do contrário os equipamentos utilizados se deterioram rapidamente (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Para a produção do biogás, faz-se necessário a utilização de biodigestores, uma vez que possuem a capacidade e estrutura fundamental para a biodigestão anaeróbia, estes serão apresentados no tópico a seguir.

## 2.3 BIODIGESTORES

O biodigestor é onde toda reação irá ocorrer, e o ponto principal de um sistema que irá produzir biogás é o biodigestor utilizado, por esse motivo deve-se entender quais são os tipos de biodigestores existentes e quais suas diferenças, a fim de selecionar o equipamento correto.

Segundo Minas e Energia (2007) biodigestores podem ser divididos quanto a sua forma de carregamento, os contínuos e os descontínuos (por batelada), definidos no Quadro 3.

Quadro 3 – Descrição e apresentação do processo contínuo e batelada.

<b>Processo</b>	<b>Ilustração/Descrição.</b>
<b>Contínuo</b>	O São construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado.
<b>Descontínuo (batelada)</b>	Biodigestor de batelada é um tanque de alvenaria, metal ou fibra de vidro que é carregado e fechado. Após 15 a 20 dias de fermentação, o biogás começa a ser produzido. Depois de utilizar o gás, o biodigestor é aberto, descarregado, limpo e recarregado para iniciar o processo novamente.

Fonte: Adaptado Minas e Energia (2007).

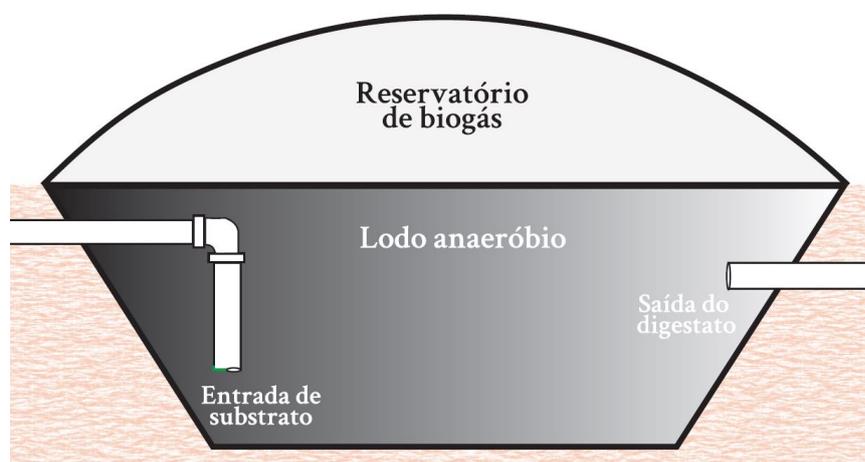
Atualmente existem quatro principais tipos de biodigestores: o de lagoa aberta (BLC), *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Continuos Stirred Tank Reactor* (CSTR) e em fase sólida (*dry digestion*).

### 2.3.1 Biodigestor de lagoa aberta (BLC)

O primeiro modelo de biodigestor é o de lagoa coberta (BLC), usualmente conhecido como "biodigestor de lona" ou "modelo canadense", é um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto por materiais geossintéticos, como o policloreto de vinil (PVC) e o polietileno de alta densidade (PEAD). O BLC é o que apresenta

menor nível tecnológico e é o mais utilizado no meio rural pela facilidade de construção e manutenção, além de ser o com menor custo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 5 – Esquema representativo de um biodigestor de lagoa coberta (BLC).



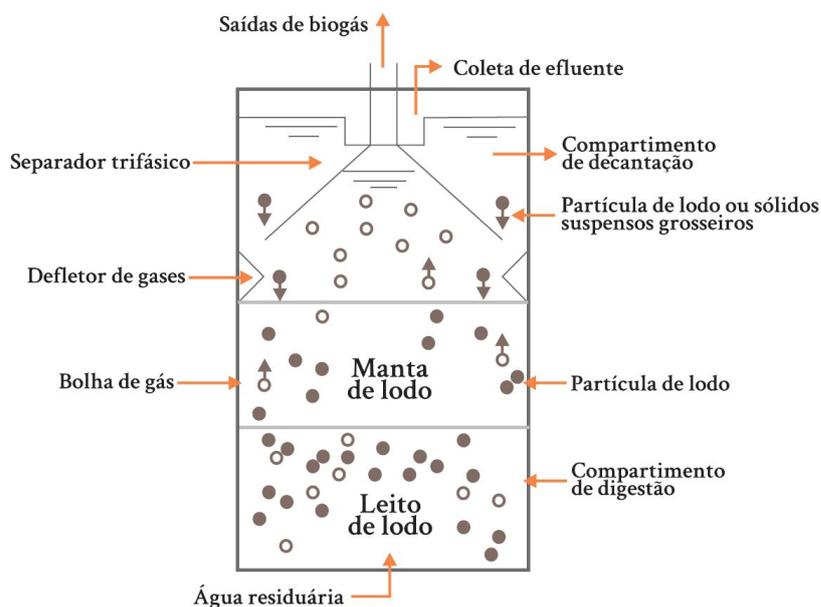
Fonte: Kunz et al., 2022, p.43.

Um aspecto importante sobre este tipo de biodigestor, representado na Figura 5, é a necessidade de retenção hidráulica (TRH) por um tempo muito elevado, fazendo ser necessário uma área maior para sua instalação. Por ser menos tecnológico não apresenta sistemas de aquecimento, que implica na variabilidade de produção de biogás, sendo essa geração muito afetada em regiões com inverno muito rigoroso. Este modelo de biodigestor é recomendado para tratamento de resíduos com baixa concentração de sólidos, até 3% ( $m.v^{-1}$ ), e baixa carga orgânica volumétrica (COV) (MARCHIORO, 2017).

### 2.3.2 Biodigestor tipo UASB

O biodigestor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (figura 5), tem como características principais o fluxo ascendente do resíduo até o topo do biodigestor, onde possui um separador trifásico, alta capacidade de retenção de biomassa, baixo tempo de retenção hidráulica e suportam grandes cargas orgânicas volumétrica. Um ponto negativo que este biodigestor apresenta é que seu efluente deve possuir baixa concentração de sólidos totais (< 2%), devido a questões hidrodinâmicas, fazendo com que seu uso para biomassa de origem animal precise passar por um pré-tratamento (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 6 – Esquema representativo de um biodigestor tipo UASB.

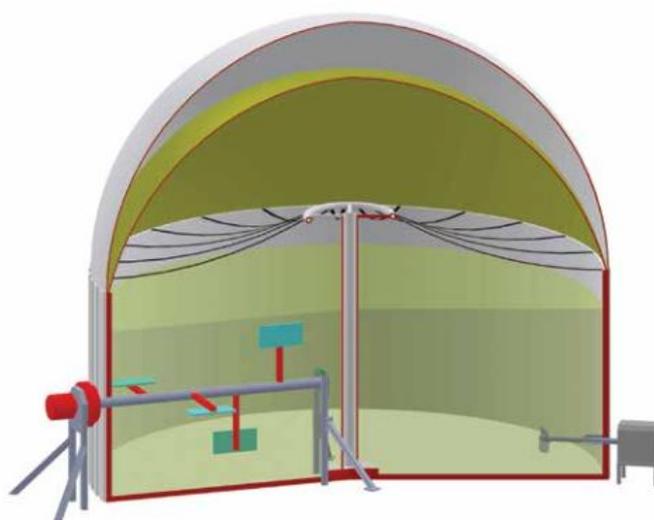


Fonte: LINS, 2022, p.48.

### 2.3.3 Biodigestor tipo CSTR

Os biodigestores do tipo Reator Tanque de Agitação Contínua (do inglês, (*Continuous Stirred Tank Reactor* [CSTR]), são os mais utilizados na Europa, representando cerca de 90% dos reatores do continente, é um dos modelos mais tecnológicos e devido ao sistema de agitação seu conteúdo é totalmente homogeneizado, fazendo com que suporte para altas cargas orgânicas volumétricas e concentração de sólidos ( $10\% m.v^{-1}$ ), é adequado para efluentes com elevadas concentrações de sólidos. (STEINMETZ et al., 2022)

Figura 7 – Esquema representativo de um biodigestor CSTR com agitador de pá lateral.



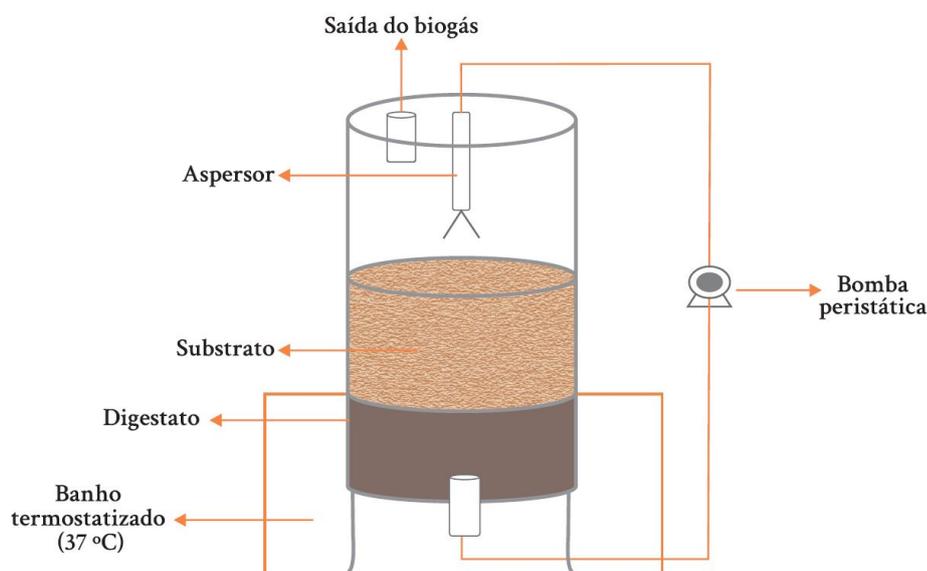
Fonte: ProBiogas., 2015, p.43.

O maior nível tecnológico, como o sistema de agitação elevam o custo de implementação e manutenção, em contrapartida temos uma melhor transferência de calor, o que garante maior capacidade de produção de biogás (KUNZ et al., 2022).

#### 2.3.4 Biodigestor em fase sólida

Os biodigestores em fase sólida (figura 7) são usados quando há resíduos contendo de 20% a 40% de sólidos, devido à baixa quantidade de água é necessário reatores com menor volume. Esse biodigestor apresenta algumas características em comparação aos demais, como: 1) Produz de 15% a 40% menos biogás; 2) Alimentação é descontínua; 3) Precisa ser aberto para preenchimento e/ou esvaziamento (STEINMETZ et al., 2022).

Figura 8 – Esquema representativo de um biodigestor em fase sólida.



Fonte: STEINMETZ et al., 2022, p.61.

Cada modelo de biodigestor abrange necessidades e especificidades do que se procura como requisito, uma vez que há diversas opções disponíveis com uma diversidade de custos que impulsionam e direcionam de maneiras diferentes sua capacidade de processamento e produção.

Além disso, ao considerar a escolha de um modelo de biodigestor, a análise de investimentos desempenha um papel fundamental. A avaliação dos custos iniciais, como aquisição e instalação do equipamento, bem como os custos operacionais, como manutenção e suprimentos, é essencial para determinar a viabilidade econômica do projeto.

## 2.4 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

A análise de investimentos é um processo essencial para avaliar a viabilidade econômica de projetos, considerando custos, benefícios, riscos e retorno esperado. Ela permite tomar decisões financeiras fundamentadas, utilizando técnicas e métodos para quantificar e comparar os fluxos de caixa futuros gerados pelo investimento.

### 2.4.1 Custos e Despesas

Os custos e despesas estão ligados a saída de caixa de uma empresa, ou seja, ambos são gastos necessários para que uma empresa mantenha seu funcionamento.

Os custos são caracterizados como valores gastos ligados direta e indiretamente para produção e/ou comercialização de algum produto. O custo é inversamente

proporcional ao lucro, ou seja, quanto menor o custo maior será o lucro (POMPER-MAYER; LIMA, J. E. P., 2002). Para ele os principais tipos de custos estão ligados Matérias-primas, embalagens, materiais auxiliares, mão-de-obra, energia elétrica.

Diferente dos custos, as despesas estão ligadas diretamente como um gasto para obtenção de receitas, como despesas com vendas e financeiras (PASCHOAL, 2015).

Ambos os gastos podem ser classificados como fixos ou variáveis, os fixos são os que não variam conforme a quantidade de produção, como exemplos, aluguéis, salários etc. Já os variáveis são o contrário, dependem totalmente da quantidade de produtos que será produzido, ou seja, para um dado aumento percentual na produção, resultará em um aumento igual nos gastos (GITMAN *et al.*, 2010).

#### **2.4.2 Investimento**

Os investimentos são gastos utilizados para aquisição de bens que irão gerar receitas, como o caso de compra de terrenos, maquinários e implementos (OLIVO; BOSCHILIA, 2012). Investimentos são caracterizados por serem recuperados no futuro, pode ser provenientes de recursos de terceiros como financiamentos e empréstimos ou recursos próprios (dinheiro do proprietário). Sempre que houver retorno do investimento e esse valor superar o custo capital, há criação do valor ou riqueza (ASSAF NETO, 2020).

### **2.5 ANÁLISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS**

A análise econômica serve para avaliar se o investimento proposto é economicamente viável, ou seja, se vai trazer retornos significativos que justifiquem o investimento necessário. Esta é uma etapa fundamental para determinar a capacidade da implementação de gerar lucros e/ou reduzir custos para os produtores, para isso existem diversas maneiras de fazer essa análise, a viabilidade econômica do negócio utilizando o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Anual Uniforme Equivalente VAUE e o Payback, para definir a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) será utilizado o modelo *Weighted Average Capital Cost* (WACC).

Vale destacar que todos os métodos (VPL, TIR e payback) dependem de valores da demanda, preço de venda e seus custos envolvidos na produção.

#### **2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)**

O valor presente líquido (VPL) é uma técnica de orçamento de capital, que consiste em considerar o valor do dinheiro no tempo. O VPL é encontrado subtraindo o valor inicial de um projeto (investimento) dos valores de entrada de caixa (GITMAN *et al.*, 2010).

Ainda segundo Gitman *et al.* (2010), o VPL possui alguns critérios de decisão, com intuito de verificar se o investimento viável, os critérios são:

1.  $VPL > 0$ , fazer o investimento.
2.  $VPL < 0$ , não fazer o investimento.

Se o VPL for maior que 0, significa que o retorno do investimento é maior que o custo capital, mostrando que o investimento é viável e aumentará a riqueza do proprietário (GITMAN *et al.*, 2010).

O **Valor Presente Líquido (VPL)** representa o retorno atualizado líquido gerado por um projeto, permitindo a análise de sua viabilidade econômica em longo prazo, e é obtido pela Equação (1).

$$VPL = -\Pi + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (1)$$

Onde:

FE<sub>j</sub>: fluxo econômico do projeto por período;

n: número de períodos que representa o horizonte do projeto;

j: duração de um período em dias;

r: taxa de juros cobrada por período.

### 2.5.2 Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)

O Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE) consiste em Determinar a "série uniforme anual (A) equivalente" de um fluxo de caixa, levando em consideração a taxa de juros como a taxa mínima de atratividade. Ao tomar uma decisão, é importante considerar que a alternativa mais adequada é aquela que apresenta um saldo positivo superior em relação às outras opções disponíveis (CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2010).

Então, após levantamento do Valor Presente Líquido foi realizado o cálculo do **Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)**, com propósito de comparar os resultados obtidos no VPL. Para o cálculo do VAUE, é necessário a aplicação da Equação (2).

$$VAUE = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} * \left[ \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (2)$$

Onde: FC<sub>j</sub>: Fluxo de Caixa do projeto;

i: taxa de juros aplicado (TMA);

n: Tempo de duração do projeto.

### 2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é uma das técnicas de orçamento de capital mais utilizadas. A TIR consiste em encontrar a taxa que faça o VPL se igualar a \$0, e serve como estimativa do desempenho do investimento e um indicador de qualidade do investimento (GITMAN *et al.*, 2010).

Os critérios de decisão referente a TIR quanto a aceitação ou rejeição de um investimento são dados por:

1. TIR maior que o custo capital, fazer o investimento.
2. TIR menor que o custo capital, não fazer o investimento.

Ao utilizar a Taxa Interna de Retorno (TIR) como critério para determinar a escolha de um projeto, considera-se a sua viabilidade quando a TIR do projeto é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Se a TIR for menor do que a TMA, o projeto não é considerado viável e, portanto, não deve ser realizado. Essa abordagem garante que a empresa obtenha um retorno de investimento igual ou superior ao mínimo exigido por ela. A TMA pode ser estabelecida com base no custo de capital da empresa ou em outras referências relevantes. Dessa forma, ao adotar a TIR como critério de decisão, a empresa busca assegurar que o projeto escolhido seja capaz de oferecer um retorno financeiro que supere o custo de oportunidade de seu capital ou qualquer outra taxa mínima de atratividade estabelecida internamente. Isso ajuda a garantir a rentabilidade e a eficiência dos investimentos da empresa (ARAÚJO, 2010).

### 2.5.4 Retorno de investimento (Payback)

O *payback* é o prazo necessário para que um investidor recupere o valor inicial do investimento, esse prazo é de fácil cálculo, sendo este feito com base nas entradas de caixa. O objetivo do *payback* é mais intuitivo e não possui ligação com a maximização do capital que o investidor vai obter (GITMAN *et al.*, 2010).

Ao utilizar o método de *payback* para decidir sobre a aceitação ou rejeição de um projeto, considera-se o seguinte: se o período de *payback* do projeto for menor do que o *payback* máximo aceitável, o projeto é considerado viável e pode ser realizado. Por outro lado, se o projeto tiver um período de *payback* superior ao máximo aceitável, ele não deve ser realizado. É importante ressaltar que o período de *payback* máximo é uma escolha subjetiva e pode variar de acordo com critérios estabelecidos, o que acaba sendo um dos desafios associados a esse método de avaliação (ARAÚJO, 2010).

Para o cálculo do **Payback** descontado, primeiro é necessário encontrar o valor descontado, para isso pode-se trabalhar com uma versão simplificada da fórmula do VPL Equação (3).

$$VD = \frac{FC}{(1 + TMA)^1} \quad (3)$$

Onde:

VD: Valor Descontado;

FC: Fluxo de Caixa;

TMA: Taxa Mínima de Atratividade.

Agora aplica-se a fórmula de *Payback*, representado na Equação (4).

$$PB = \frac{I}{VD} \quad (4)$$

Onde:

I: Investimento Inicial;

PB: *Payback*

### 2.5.5 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é o montante mínimo de lucro ou benefício que um investidor espera obter ao realizar um projeto. Essa medida serve como critério para avaliar a viabilidade do projeto, pois se o retorno não alcançar ou ultrapassar essa exigência, torna-se inviável prosseguir com o empreendimento. Em outras palavras, ao empreender um projeto, é crucial assegurar que o retorno esperado pelo investidor seja, no mínimo, atingido. Caso contrário, a realização do projeto pode não ser justificada, uma vez que não atenderia às expectativas de lucratividade ou benefícios estabelecidos pelo próprio investidor. Portanto, ao iniciar um projeto, é indispensável considerar o retorno exigido como um parâmetro fundamental para garantir a efetividade e o êxito do empreendimento (ARAÚJO, 2010).

A **Taxa Interna de Retorno (TIR)** é calculada quando o VPL é igual a zero, o que indica que o investimento não apresenta lucro nem prejuízo no momento presente. Para chegar a esse resultado, as entradas do fluxo de caixa são somadas e subtraído o investimento inicial, de forma a igualar a fórmula a zero, como representado na Equação (5).

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} - I \quad (5)$$

Para encontrar a TMA, será necessário encontrar a taxa de juros real, para isso faz-se utilização da Equação (6).

$$(1 + i) = (1 + i_{real}) * (1 + i_{inf}) \quad (6)$$

Onde:

i: juros nominal;

$i_{real}$ : juros real;

$i_{inf}$ : inflação do período.

Será necessário conversão das taxas encontradas para períodos diferentes, neste caso de ano para meses, para isso é utilizado a Equação (7).

$$i_{mensal} = ((1 + i_{real})^{1/12}) - 1 \quad (7)$$

Onde:

$i_{mensal}$ : juros mensais;

Por último, temos a conversão da taxa de juros mensal para o período desejado de meses, onde será utilizada a Equação (8).

$$i_{periodo} = ((1 + i_{mensal})^n) - 1 \quad (8)$$

Onde:

$i_{periodo}$ : é a taxa do período que deseja encontrar.

n: é o período em meses.

A construção dos cálculos e modelo matemático foi desenvolvido no *software* Excel, no qual possui fórmulas próprias para as equações apresentadas acima.

Os conceitos apresentados neste capítulo servirão de subsídios para a análise que será desenvolvida nos próximos capítulos. Antes, porém, será apresentada a metodologia da pesquisa.

## 2.6 CRÉDITOS DE CARBONO

Com o objetivo de aumentar a viabilidade ambiental e econômica do projeto, também foram calculadas as cotas de créditos de carbono, com base nos mecanismos de desenvolvimento limpo. Essas cotas representam uma medida para quantificar a redução de emissões de gases de efeito estufa alcançada pelo projeto, de acordo com padrões e diretrizes internacionais estabelecidos. Ao calcular e obter créditos de carbono, o projeto pode obter benefícios financeiros adicionais, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, promovendo a redução das emissões de gases poluentes. Essa abordagem demonstra o compromisso com a sustentabilidade e a busca por soluções ecologicamente corretas e economicamente favoráveis.

Para este cálculo é preciso transformar a produção total de biogás em metano ( $CH_4$ ), de acordo com a Equação (9), descrita por Santos e Nardi Junior (2013).

$$CH_4 = 40dias \times cabecas \times Et \times Pb \times Conc.CH_4 \times VE^{-1} \quad (9)$$

Onde:

Et: Esterco total [kg esterco t (*dia.unidadegeradora*)<sup>-1</sup>];

Pb: Produção de biogás (kg de biogás kg *esterco*<sup>-1</sup>);

$Conc.CH_4$ : Concentração de Metano no biogás (%), para frangos é utilizado 60%;

$VE^{-1}$ : Volume específico do metano ( $kgCH_4^{-1} m^{-3} CH_4^{-1}$ ).

O mercado de crédito de carbono é dividido em dois tipos principais: o mercado voluntário e o mercado regulado. No mercado regulado, que é restrito a alguns países e setores específicos, as reduções e/ou compensações das emissões de gases de efeito estufa (GEE) são obrigatórias, e o preço da tonelada de carbono é determinado por um órgão regulador.

No mercado regulado, as metas e obrigações relacionadas à emissão de GEE são definidas pelo governo, e as empresas devem cumprir essas regulamentações, adquirindo créditos de carbono para compensar suas emissões excedentes. O preço dos créditos de carbono é estabelecido pelo órgão regulador, refletindo a escassez de emissões permitidas e outros fatores relevantes.

Por outro lado, no mercado voluntário, empresas, organizações e indivíduos têm a opção de participar de iniciativas de redução de emissões e comprar créditos de carbono como forma de compensação. Nesse mercado, o preço dos créditos de carbono é negociado em contratos, de acordo com o projeto específico e as condições do mercado. Os participantes têm mais flexibilidade para estabelecer preços e termos de transação.

### 3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos estabelecidos é necessário a definição da metodologia de pesquisa correta a ser aplicada. Neste capítulo serão abordadas as questões referentes a metodologia científica, a pesquisa classificada, ambiente de pesquisa e a coleta de dados.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A classificação dos trabalhos de pesquisa segundo Gil *et al.* (2002) podem ser em quatro diferentes pontos de vista: 1) de sua natureza; 2) da forma de abordagem; 3) dos propósitos; e 4) dos procedimentos técnicos.

Em relação quanto à natureza, a abordagem desta pesquisa é classificada como quantitativa, pois é relacionada a interpretações de dados coletados que serão transformados em informações que serão classificadas e analisadas.

Quanto aos procedimentos técnicos, este é um estudo de caso, segundo Yin (2015) estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que responde às perguntas “como” e “por que” e que foca em contextos da vida real de casos atuais. Sendo o atual trabalho realizado em uma propriedade rural, o que permitiu a coleta de dados reais.

Também podendo ser incluído como um estudo bibliográfico, pois é utilizada uma base de trabalhos científicos já realizados sobre o tema para interpretação dos dados coletados.

Conforme Gil *et al.* (2002), o presente trabalho adota uma abordagem de pesquisa exploratória, pois busca ampliar o conhecimento sobre o problema investigado. Além da revisão bibliográfica, serão conduzidas entrevistas com dois especialistas que possui expertise na área de produção de biogás com cama de frango. Essa abordagem permitirá obter informações e aprofundar a compreensão do tema, contribuindo para o avanço do conhecimento no campo de estudo.

#### 3.2 AMBIENTE DA PESQUISA

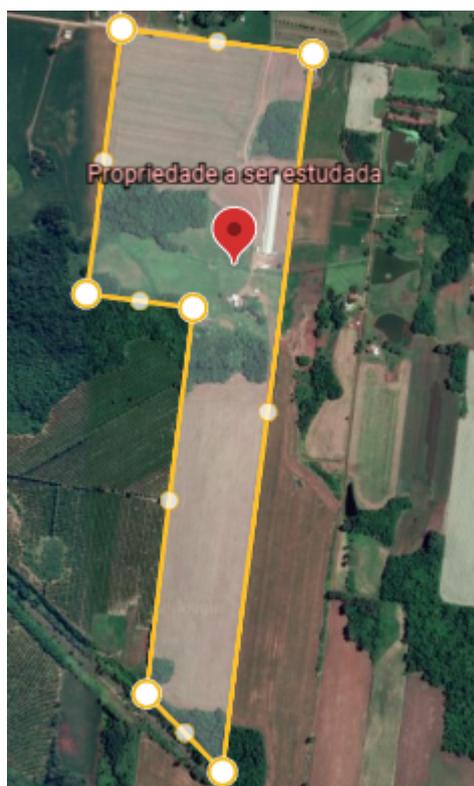
O objetivo de estudo deste trabalho foi uma propriedade rural do centro-leste do Rio Grande do Sul, que será descrita a seguir referente a suas características.

##### 3.2.1 Características da Propriedade

A propriedade onde será realizado o estudo fica localizada no município de Teutônia, no estado do Rio Grande do Sul, com área de aproximadamente 31 hectares, sendo caracterizada como pequena propriedade familiar, onde reside apenas a família, a delimitação da propriedade pode ser vista na Figura 9. Desde 2019 a propriedade substituiu sua principal atividade econômica, que até então era produção de grãos

como soja e milho, para a produção de frangos de corte no sistema integrado, a produção atualmente é formada por um único galpão no estilo *dark house*, este sistema de criação consiste na automatização do controle de luminosidade e temperatura do aviário, sem interferência das condições ambientais externas.

Figura 9 – Propriedade a ser analisada.



Fonte: Google Earth, 2022.

Na propriedade reside apenas a família

### 3.2.2 Características do aviário

O aviário existente na propriedade é no estilo *dark house* padronizado com dimensão de 150 metros de comprimento por 16 metros de largura, totalizando  $2400m^2$ , como mostrado na figura 6.

Figura 10 – Aviário da propriedade.



Fonte: Autor, 2023.

O aviário tem como objetivo a criação de frangos de corte, que são produzidos em lotes, cada lote conta com um período de produção onde o alojamento das aves dura entre 38 e 45 dias variando conforme o sexo e o kg/frango que é estabelecido pela cooperativa contratante. Com estas características o aviário é capaz de alojar até 35 mil aves por lote. No aviário analisado é utilizado a casca de arroz como cama inicial. A casca de arroz é adquirida pelo avicultor de empresas que processam o arroz para venda.

Durante a produção, a cooperativa contratante fornece as aves, ração, medicamentos e todo suporte técnico necessário para criação das aves durante o alojamento, durante o período de alojamento existem alguns parâmetros de controle e monitoramento ideal para um bom desenvolvimento das aves, como temperatura, umidade, qualidade da água, nível de abastecimento de água e ração e a qualidade do ar. Quando o lote se encerra, as aves são transportadas por uma empresa terceirizada, que é encarregada da retirada das aves do galpão e transportá-las até a empresa onde será feito o abate dos frangos.

É importante citar que existe um intervalo de 15 dias entre os lotes produzidos, este intervalo serve para limpeza e higienização do aviário para o recebimento do próximo lote. Essa etapa é a por questões fitossanitárias, e incluem a queima das

penas que ficaram do lote passado, aplicação de veneno para controle de insetos, a cama é revirada para descompactação e secagem, além da aplicação de cal virgem para secagem mais rápida e uma nova camada de casca de arroz em todo aviário.

O fim deste intervalo representa também o encerramento do lote de produção e pode-se receber um novo lote de aves. O ciclo de produção da propriedade é composto de 8 a 10 lotes de aves, o que equivale a aproximadamente 16 meses. Após o fim do ciclo é feita a retirada da cama, que é substituída por uma nova, e dá início a um novo ciclo.

Para um melhor entendimento do processo, foi criado um fluxo de processos referente à produção de frangos, o qual se encontra no Apêndice D.

Segundo relato do produtor, a cama de aviário começa com aproximadamente 12cm contando apenas com a casca de arroz colocada, ao fim de oito ciclos, aproximadamente 16 meses, a mesma está com cerca de 52 cm de resíduos. Essa variação é decorrente das novas camadas de casca de arroz colocada entre os lotes e aos dejetos e penas das aves que ficam acumulados durante o alojamento. Este acúmulo fornece ao produtor uma quantia de aproximadamente 149 toneladas de resíduos, a biomassa retirada fica estocada, até o momento em que é utilizado pelo produtor como biofertilizante para a lavoura.

### 3.3 COLETA DE DADOS DO ESTUDO DE CASO

Para a coleta de dados na propriedade foi realizado um termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) para a autorização do proprietário para a pesquisa. Além disso, foi realizada uma visita *in loco* e aplicação de um questionário estruturado ao produtor rural, com o intuito de obter informações acerca do processo produtivo do aviário, tais como o consumo mensal médio da propriedade, o tempo de reuso da cama, material utilizado e seu preço de compra, preço pago na venda da cama após reuso, quantidade de cama que é gerada após reuso e qual atual destinação da cama. O questionário utilizado na visita encontra-se no Apêndice B.

Foram consultados também dois especialistas em produção de biogás através da cama de aviário: um deles do meio acadêmico, com o intuito de sanar dúvidas e entender melhor os processos referentes à geração de biogás, e outro do meio profissional, para compreender melhor os custos de implementação de um sistema de produção de biogás para geração de energia elétrica. Ambas as entrevistas foram conduzidas na forma de entrevista não-estruturada e estão presentes no Apêndice C.

## 3.4 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

### 3.4.1 Análise de Cenários

A viabilidade de um projeto geralmente é determinada pelo equilíbrio entre custos e benefícios. A análise de cenários permite explorar diferentes combinações de variáveis, como investimentos iniciais, custos operacionais, preços de mercado e receitas esperadas. Essa análise ajuda a identificar os pontos de equilíbrio em que os benefícios superam os custos e o projeto se torna viável.

Após uma entrevista com um especialista, foi constatado que a implantação de biodigestores para apenas um aviário pode não ser economicamente viável. Diante dessa informação, será necessário recorrer à análise de cenários para determinar o ponto em que o projeto se torna viável. Com base nisso, serão analisados quatro cenários distintos.

O primeiro cenário aborda a propriedade atual, onde apenas um aviário está em funcionamento. Nessa análise, levar-se-á em consideração os custos de implementação do biodigestor para esse único aviário, avaliando se a receita gerada seria suficiente para cobrir os investimentos e tornar o projeto viável.

No segundo cenário, serão considerados os mesmos custos de implementação do biodigestor, porém, será levado em conta a utilização de dois aviários com as mesmas características do estudo anterior. Essa análise visa verificar se a produção de biogás proveniente de dois aviários seria capaz de equilibrar os custos e tornar o projeto economicamente viável.

O terceiro cenário envolve o uso da biomassa produzida por três aviários. Essa análise visa verificar se a produção de biogás proveniente de três aviários seria capaz de equilibrar os custos e determinando se o projeto se torna econômica e financeiramente atrativo.

Por fim, o quarto cenário é considerado pessimista, com uma capacidade de conversão de biogás em energia menor do que nos cenários otimistas. Nesse caso, será utilizada a quantidade de produção de energia de 4,2 kWh por metro cúbico de biogás produzido. Essa análise será baseada no melhor dos três cenários otimistas.

A escolha desses cenários baseia-se na capacidade de produção do gerador e dos equipamentos orçados, que aparentam ser adequados para atender à demanda de energia de até três aviários. Portanto, é necessário examinar essas diferentes configurações para identificar o ponto em que os benefícios superam os custos, garantindo a viabilidade do projeto.

Através da análise de cenários, será possível obter uma visão abrangente dos diferentes contextos e suas implicações financeiras. Isso permitirá tomar decisões fundamentadas, considerando a capacidade produtiva, os custos envolvidos e a capacidade de gerar receita por meio da produção de biogás. Com essas informações, será

possível determinar o cenário em que o projeto se torna viável e possivelmente criar um plano de ação adequado para sua implementação bem-sucedida.

### 3.5 ESCOLHA DO BIODIGESTOR

O presente trabalho faz a utilização do biodigestor de batelada, seguindo as indicações obtidas em entrevista com os especialistas. Para esse tipo de biodigestor, é necessário abastecer somente uma vez e esvaziar após um período conveniente de biodigestão anaeróbia. Para estabelecer relações entre o biodigestor de batelada e suas características microbiológicas, é fundamental o conhecimento de dois parâmetros básicos que influem na operação destes e em suas eficiências na produção de biogás. Esses parâmetros são:

- Tempo de Retenção de Microrganismos (TRM), é o período necessário para que os microrganismos presentes no biodigestor realizem a digestão anaeróbia de forma eficiente e produzam biogás em quantidade adequada;

- Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), é o tempo que a biomassa fica dentro do biodigestor.

A escolha deste modelo foi feita por a produção de biomassa ser sazonal, para o caso estudado esse período é de 8 lotes (460 dias aproximadamente). Além disso a propriedade conta com um único funcionário, o mesmo é responsável por todas as etapas produtivas, logo um biodigestor contínuo sobrecarregaria o mesmo. Segundo AIRES (2012) o sistema batelada pode ser utilizado para qualquer tipo de resíduo orgânico, inclusive animais mortos durante a produção e resíduos domésticos produzidos pela propriedade.

Ainda segundo AIRES (2012) pelo fato da cama de aviário ser seca e apresentar elevado valor de sólidos totais (ST), para poder ser utilizada neste tipo de biodigestor é preciso fazer uma diluição na proporção de 1:6,7 (cama kg / água kg). Com essa diluição é possível chegar em uma ST de aproximadamente 4,0%.

Com essa diluição é indicado um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 24 dias, pois é o tempo em que apresenta maior produção de biogás.

### 3.6 ESTIMATIVA DO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOGÁS

Sugerido no trabalho de Peres e PEREZ (2016), é encontrado o potencial de produção de biogás, em  $m^3.kg^{-1}$ , conforme descrito na tabela 1. Destacando que as informações sobre a geração de biomassa anual foram fornecidas pelo proprietário.

Tabela 1 – Potenciais de produção de biogás, em  $m.kg^{-1}$ .

<b>Tipo de animal</b>	<b>Dejetos (<math>kg.dia^{-1}</math>)</b>	<b>sólidos</b>	<b><math>m^3</math> de biogás.<math>kg^{-1}</math></b>
Gado de corte	10-15		0,025-0,040
Porcos (25-100kg)	2,25-4		0,025-0,049
Galinhas de corte	0,10-0,18		0,09
Galinhas poedeiras	0,10-0,18		0,10

Fonte: adaptado de Silva e Palha (2016).

Desta forma, pode ser realizar uma multiplicação entre a quantidade de biomassa produzida pelo aviário e a quantidade potencial estimada de biogás por frango. De acordo com Oliver et al. (2008), estimou que a quantidade de energia gerada com  $1m^3$  de biogás é de 5,5kWh. Portanto, para obter o total de energia produzida pelo biodigestor, basta multiplicar o valor unitário de potencial de geração de energia (5,5) pelo total de biogás produzido.

Segundo Gonçalves (2019) a produção de biogás está diretamente ligada a temperatura, sendo a temperatura externa a que mais afeta a produção, os resultados para temperaturas menores que  $15^{\circ}C$  pode ser considerada zero. Sendo assim, deve-se considerar a temperatura da localidade, para isso foi utilizado um histórico com dados de 2015 a 2022 com as temperaturas médias em cada mês do ano, estes dados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Temperaturas máximas, mínimas e médias em Teutônia-RS.

<b>Média</b>	<b>jan</b>	<b>fev</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>
Alta	$31^{\circ}C$	$31^{\circ}C$	$29^{\circ}C$	$26^{\circ}C$	$22^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$19^{\circ}C$	$22^{\circ}C$	$23^{\circ}C$	$26^{\circ}C$	$28^{\circ}C$	$30^{\circ}C$
Média	$25^{\circ}C$	$25^{\circ}C$	$24^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$16^{\circ}C$	$14^{\circ}C$	$14^{\circ}C$	$16^{\circ}C$	$17^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$23^{\circ}C$	$25^{\circ}C$
Baixa	$20^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$19^{\circ}C$	$16^{\circ}C$	$12^{\circ}C$	$10^{\circ}C$	$10^{\circ}C$	$11^{\circ}C$	$13^{\circ}C$	$15^{\circ}C$	$18^{\circ}C$	$20^{\circ}C$

Fonte: adaptado weatherspark, 2023.

Pode-se analisar que 4 meses do ano apresentam condições desfavorável para produção de biogás, são eles maio, junho, julho e agosto, onde apresentam temperatura média próxima aos  $15^{\circ}C$ . Devido a isso, nestes meses o biodigestor tende a ficar inoperante, ou seja, sem ser alimentado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo concentra-se na apresentação, interpretação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa, fornecendo uma análise aprofundada e fundamentada dos dados coletados e sua relevância para a área de estudo, assim como as respostas dos objetivos descritos no primeiro capítulo.

### 4.1 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A pesquisa foi conduzida na cidade de Teutônia-RS, no período de 10 a 12 de janeiro de 2023, com o objetivo de investigar a produção de biogás. Para tal, o estudo teve início com a estimativa da temperatura adequada para a produção eficiente de biogás.

Conforme destacado por Fukayama (2008), o biogás obtido por meio da biodigestão anaeróbia possui diversas aplicações, sendo uma delas o aquecimento de pintinhos utilizando equipamentos que queimam o biogás para gerar calor. Essa utilização é de extrema importância, uma vez que o calor desempenha um papel fundamental na sobrevivência desses animais, especialmente nos primeiros 15 dias de vida. Além disso, estima-se que os custos de energia relacionados ao aquecimento, como gás e lenha, correspondam a aproximadamente 3,8% dos custos de produção por quilo-grama de frango no sistema automatizado. Esses dados ressaltam a relevância do biogás como uma alternativa sustentável e econômica para atender às necessidades de aquecimento na criação de pintinhos.

No entanto, com base em entrevistas realizadas com especialistas, verificou-se que a utilização do biogás para aquecimento não é viável na região sul do país devido à ineficiência da produção de biogás durante os meses em que o aquecimento é mais demandado. Como evidenciado anteriormente, a temperatura média da cidade situa-se abaixo ou próxima de 15°C nesses períodos. Portanto, assume-se que a produção de biogás na propriedade seria integralmente direcionada para a geração de energia, em vez de ser utilizada para o aquecimento dos pintinhos.

Utilizando os dados fornecidos pelo proprietário referentes à produção do último ciclo de 8 lotes da propriedade, cujo ciclo contemplou o período de dezembro de 2020 a março de 2022. Foi feito o cálculo referente ao potencial de geração de biogás, os resultados obtidos são observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Estimativa da produção de biogás por meio da digestão anaeróbia na propriedade estudada.

<b>Espécie animal</b>	<b>Quantidade de animais por ciclo</b>	<b>Geração de cama de frango (ton.ciclo<sup>-1</sup>)</b>	<b>Produção de biogás (m<sup>3</sup>.ciclo<sup>-1</sup>)</b>
Frango de corte	268.800	149,76	13.748,40

Fonte: Autor, 2023.

Como apresentado na tabela 3, tem-se uma produção aproximada de 13.478m<sup>3</sup> de biogás por ciclo de produção. Portanto, levando em conta a proposta de Oliver et al. (2008), que estima a produção de energia em 5,5kWh por metro cúbico de biogás, pode-se estimar a produção de energia em 74.131,2kWh por ciclo de produção.

Segundo dados fornecidos pelo produtor, o consumo de energia no último ciclo (dezembro/2020 a março/2022) foi de 80.475 kWh. Sendo assim, pode-se admitir que a produção de biogás suprirá 92,12% da necessidade energética, sendo quase autossuficiente.

Utilizando dados da Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia (Certel), distribuidora de energia da região, a tarifa de energia elétrica cobrada para produtores rurais é de R\$0,52140/kWh. Logo, em termos monetários, a produção de biogás utilizando sistema de biodigestão acarretará uma economia de aproximadamente R\$38.652,00 por ciclo.

Ao utilizar essas tecnologias, é possível viabilizar a geração descentralizada de energia. Esse sistema apresenta uma série de vantagens, incluindo a minimização das emissões de gases poluentes, a redução da distância entre a fonte de geração e os pontos de consumo, o que resulta em menores perdas nas redes de energia e redução dos custos de distribuição e transmissão. Além disso, ocorre a diminuição da dependência absoluta do produtor em relação à central geradora, o que promove maior segurança energética para o empreendimento. Essas vantagens ressaltam a importância e os benefícios da geração descentralizada de energia, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência do sistema energético.

Como citado anteriormente, a utilização de biogás e aproveitamento dos dejetos vindos da avicultura pode ser certificado como projeto de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Segundo Frondizi (2009) as reduções de emissão são medidas em toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2e}$ ), e cada tonelada equivale a um crédito, sendo emitido pelo Conselho Executivo do MDL, sendo denominada Redução Certificada de Emissões (RCE). Essas unidades podem ser negociadas no mercado de carbono, o que gera uma receita extra para o proprietário.

Os títulos de crédito de carbono podem ser negociados diretamente entre o proprietário do projeto e o comprador, ou por meio do mercado secundário, que é regulado pelas Bolsas de Valores, permitindo a compra e venda de créditos de carbono como qualquer outro ativo financeiro. Essa estrutura proporciona liquidez e facilita as transações entre os envolvidos no mercado de crédito de carbono.

De acordo com a cotação realizada no dia 15 de maio de 2023, cada crédito de carbono equivale a US\$17,82 nos mercados voluntários, considerando a atual cotação do dólar, onde US\$1,00 equivale a R\$4,89, tem-se que cada crédito de carbono corresponde a R\$87,14.

Portanto, de acordo com a equação de Santos e Nardi Junior (2013), é possível reduzir a emissão em aproximadamente  $5.348,841 m^3 ms^{-1}$  de gás metano ( $CH_4$ ) para a atmosfera, ou  $74.883,92 m^3 ms^{-1}$  em um ciclo de produção.

Com isso se obtém uma receita aproximada de R\$6.525,39 por ciclo.

#### 4.2 ORÇAMENTO DA INSTALAÇÃO DE BIODIGESTOR

Os investimentos necessários para instalação de um sistema de biodigestão anaeróbia na propriedade estudada foi obtido por meio de orçamento fornecido por empresa BioSolucion, especializada em implementação de sistemas de biodigestão, os itens e valores estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4 – Orçamento para instalação de biodigestor.

Descrição	Qtde.	Preço Unitário (R\$)	Preço (R\$)	Total
Gerador Biogás 13kW	1	57.524,20	57.524,20	
Biodigestor 500m <sup>3</sup> (Manta PVC), Lagoa de biodigestão, Lagoa de biofertilizante, escavação, mão-de-obra e material civil	1	160.000,00	160.000,00	
Caixa d'água de PEAD para armazenagem da água da chuva + sistema de captação da água da chuva (calhas, tubulações, filtro de água)	1	15.450,00	15.450,00	
Flare (queimador) com ignição automática através das placas solares	1	27.050,11	27.050,11	
Válvula de Alívio	1	32.095,00	32.095,00	
Tanque de agitação, com vol. de 3 m <sup>3</sup> em inox, com motor de 1cv	1	39.123,00	39.123,00	
Peneiras de separação das frações sólidas para cama de frango	2	51.346,12	102.692,24	
Sistema de canalização do gás em aço galvanizado 3/4 e central de biogás	1	32.463,22	32.463,22	
Soprador de gás para transporte do biogás	1	7.502,60	7.502,60	
Área para armazenamento de sólidos	1	36.308,60	36.308,60	
Serviços de instalação dos equipamentos	1	19.890,84	19.890,84	
Estrutura metálica e cívil (pré-processamento)	1	107.557,60	107.557,60	
<b>TOTAL</b>			<b>637.657,41</b>	

Fonte: Autor, 2023.

Deve-se destacar que de acordo com a empresa especializada, no orçamento estão inclusos todos os encargos desde a contratação até a instalação de todos os equipamentos necessários para a geração da energia, incluído a mão-de-obra especializada que irá fazer a instalação. A empresa ainda se compromete com uma garantia de 10 a 15 anos dependendo do equipamento, como exemplo, o gerador possui uma garantia de 15 anos e o biodigestor 10 anos.

Para o caso foi considerado um motogerador com potência nominal de 13kW, que possui capacidade de trabalhar com vazão de  $3,6m^3 \cdot h^{-1}$  de biogás, o que representa três vezes da capacidade necessária para o atual cenário, onde a vazão está em aproximadamente  $1,26m^3 \cdot h^{-1}$ , isso se dá, pois é um dos menores geradores a gás encontrados no mercado, porém em caso de construção de novo aviário, o que foi citado pelo proprietário, não há a necessidade de troca do gerador, sendo ele suficiente para os 2 aviários com a mesma capacidade produtiva.

Para estimativa dos custos de manutenção do sistema produtor de biogás foi

utilizado como base o estudo realizado por Aires (2012), sendo representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de manutenção do sistema produtor de biogás.

Descrição	Tempo entre cada manutenção	Custo (R\$)	Custo por ano (R\$)
Gerador (óleo lubrificante, filtro de óleo, sistema de combustíveis e refrigeração, alternador, rolamentos)	5	10.132,20	2.026,44
Troca da lona do biodigestor	6	22.540,00	3.756,67
Reforma do sistema de canalização de biogás	6	724,50	120,75
Limpeza e reforma do sistema de coleta de água	6	402,50	67,08
Reforma no Tanque de Agitação	6	5.152,00	858,67
Reforma das peneiras	6	5.000,00	833,30
Reforma soprador de gás	6	4.025,00	670,83
<b>TOTAL</b>		<b>47.976,20</b>	<b>8.333,77</b>

Fonte: Adaptado de Aires (2012).

Além dos custos de investimento associados à instalação do sistema de geração de biogás, também foram considerados os custos de manutenção do biodigestor. No entanto, os demais custos relacionados à produção de frangos, como os custos de operação e financiamento do aviário, não foram incluídos nas despesas consideradas.

Os custos operacionais incluíram a mão-de-obra do produtor, foi considerado que o salário recebido por ele para operação do biodigestor é de R\$6400,00 por ciclo, este valor se deve ao fato de ser um trabalho esporádico, não exigindo muito tempo diário do mesmo. Além disso, considerou-se que todas as atividades relacionadas à operação do biodigestor, como abastecimento, limpeza e tarefas diárias necessárias para garantir o seu bom funcionamento, são realizadas pelo próprio produtor. Essa abordagem permitiu reduzir os custos operacionais envolvidos no processo.

Para as receitas, considerou-se a o ganho de economia em energia estimado, como mostrado anteriormente este valor é de R\$38.652,01. Além do crédito de carbono, como citado em tópico anterior, ele é estimado em R\$6.525,39 por ciclo produtivo.

### 4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para análise de viabilidade econômica atribuiu-se um horizonte de 10 ciclos de produção para o cálculo do fluxo de caixa, pois esse prazo é próximo aos prazos de financiamentos rurais e a vida útil do biodigestor.

Para a TMA, foi utilizado o método WACC, onde é considerado a taxa de financiamento do banco, uma vez que não existe utilização de capital próprio. Sendo assim, foi feita uma simulação de financiamento junto a cooperativa de crédito, onde constatou que o programa que a implementação do biodigestor se enquadra é o Inovagro, que possui taxa de juros de 10,5% ao ano.

Utilizou-se da Equação (6), para encontrar a taxa de juros real, a partir da taxa de juros nominal do financiamento, utilizando inflação igual a 5,8%. A taxa de juros real encontrada foi de 4,44% ao ano.

Como um ciclo de produção refere-se a 16 meses, ou 8 lotes de produção, é necessário fazer a conversão da taxa em anos para o ciclo, para isso converte-se a taxa anual em mensal utilizando a Equação (7), obtendo uma taxa mensal de 0,36%. E por último utilizando a Equação (8) foi encontrado a taxa de juros, para o período de 16 meses, igual a 5,92%. Portanto assume-se esta como a TMA.

#### 4.3.1 Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário Atual com 1 Aviário

Foi estabelecido um horizonte de análise de investimentos de 10 ciclos de produção para realizar os cálculos do fluxo de caixa, levando em consideração que esse período é coerente com os prazos de financiamento rural e a vida útil estimada do biodigestor. Dessa forma, apresenta-se o resultado obtido na Tabela 6 para análise.

Após analisar o fluxo de caixa no cenário atual com 1 aviário, pode-se concluir que o investimento não é viável, uma vez que o valor investido não é recuperado mesmo após os 10 ciclos de produção, conforme observado no *Payback*.

Entretanto, é importante ressaltar que a análise baseada apenas no *Payback* não considera o valor do dinheiro ao longo do tempo. Por essa razão, foram aplicados métodos da engenharia econômica e da análise de investimentos para obter resultados mais precisos e próximos da realidade.

Para isso, adotou-se uma taxa mínima de atratividade de 5,92% e calcularam-se o VPL, o VAUE e a TIR. Os resultados desses cálculos estão apresentados na Tabela 7, proporcionando uma visão mais abrangente e precisa sobre a viabilidade do investimento.

Tabela 6 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 1 aviário.

Dados Econômicos	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
(+) Reaproveitamento do Biogás	-	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01
(+) Venda de Créditos de Carbono	-	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38
Receita Operacional	R\$ 0,00	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39
(-) Manutenção	-	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77
(-) Mão-de-obra		R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00
(=) Disponível no caixa		R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62
(-) Instalação do sistema de biodigestão	R\$ 637.657,41					
(+) Investimento Inicial	R\$ 637.657,41					
(=) Fluxo de Caixa	-R\$ 637.657,41	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62	R\$ 30.443,62
<b>Dados Econômicos</b>	<b>Ciclo 6</b>	<b>Ciclo 7</b>	<b>Ciclo 8</b>	<b>Ciclo 9</b>	<b>Ciclo 10</b>	
(+) Reaproveitamento do Biogás	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	R\$ 38.652,01	
(+) Venda de Créditos de Carbono	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	R\$ 6.525,38	
Receita Operacional	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	R\$ 45.177,39	
(-) Manutenção	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	
(-) Mão-de-obra	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	
(=) Disponível no caixa	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	
(-) Instalação do sistema de biodigestão						
(+) Investimento Inicial						
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	R\$ 36.843,62	-10*

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 7 – Análise de investimentos para cenário com 1 aviário.

VPL	VAUE	TIR
-R\$392.449,90	-R\$53.114,82	-11,59%

Fonte: Autor, 2023.

Ao analisar o VPL, verifica-se que o investimento não é viável, pois o seu valor é negativo. Essa constatação reforça a inviabilidade econômica do projeto.

Da mesma forma, o VAUE também indica a inviabilidade do investimento, mostrando que a cada ano o produtor teria um prejuízo de R\$53.114,82. Essa evidência reforça a falta de viabilidade financeira do projeto.

Além disso, a TIR apresenta um valor abaixo da taxa mínima de atratividade, chegando a ser negativa, -11,59%. Isso indica que o retorno esperado do investimento não é satisfatório em relação ao custo de oportunidade do capital.

Portanto, ao analisar os resultados obtidos por meio dos métodos de engenharia econômica aplicados ao cenário atual do produtor, pode-se inferir que não é recomendável realizar o investimento, uma vez que ele se mostra economicamente inviável.

#### 4.3.2 Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário com 2 Aviários

Na segunda análise, foi considerado um cenário hipotético em que o produtor possui um aviário adicional com as mesmas características. Nesse contexto, o custo de implementação do sistema foi mantido inalterado, enquanto os custos de produção e as receitas foram multiplicados por 2.

Com base nesse novo cenário, foi elaborado um fluxo de caixa atualizado, cujos resultados podem ser observados na Tabela 8. Essa abordagem permitiu uma análise mais abrangente das perspectivas financeiras do projeto, considerando o impacto da expansão da capacidade de produção no desempenho econômico.

Ao realizar uma análise aprofundada do novo fluxo de caixa, é possível constatar uma série de resultados que apontam claramente para a inviabilidade econômica do projeto em questão. Um aspecto inicialmente observado é que não ocorre o *Payback* dentro dos 10 ciclos analisados.

Além disso, ao examinar o VPL, nota-se que os resultados continuam apresentando valores negativos, chegando a um total de -R\$78.964,53 ao final do décimo ciclo. Essa constatação evidencia que o projeto ainda não se mostra viável do ponto de vista econômico, uma vez que os retornos esperados não são suficientes para cobrir os custos iniciais do empreendimento.

Outro indicador que reforça a inviabilidade econômica do projeto é o VAUE, que revela um prejuízo de -R\$10.688,12 por ciclo ou um montante total de -R\$106.881,22

Tabela 8 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 2 aviários.

Dados Econômicos	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
(+) Reaproveitamento do Biogás	-	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02
(+) Venda de Créditos de Carbono	-	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77
Receita Operacional	R\$ 0,00	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78
(-) Manutenção	-	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77
(-) Mão-de-obra		R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00
(=) Disponível no caixa		R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01
(-) Instalação do sistema de biodigestão	R\$ 637.657,41					
(+) Investimento Inicial	R\$ 637.657,41					
(=) Fluxo de Caixa	-R\$ 637.657,41	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01
<b>Dados Econômicos</b>	<b>Ciclo 6</b>	<b>Ciclo 7</b>	<b>Ciclo 8</b>	<b>Ciclo 9</b>	<b>Ciclo 10</b>	
(+) Reaproveitamento do Biogás	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	R\$ 77.304,02	
(+) Venda de Créditos de Carbono	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	R\$ 13.050,77	
Receita Operacional	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	R\$ 90.354,78	
(-) Manutenção	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	
(-) Mão-de-obra	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	
(=) Disponível no caixa	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	
(-) Instalação do sistema de biodigestão						
(+) Investimento Inicial						
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	R\$ 75.621,01	-10*

Fonte: Autor, 2023.

ao longo do período de dez ciclos. Esses resultados deixam claro que o investimento acarretaria em perdas financeiras constantes ao longo do tempo, o que inviabiliza sua concretização.

Por fim, a análise da TIR reafirma a falta de atratividade do investimento, pois seu valor de 3,23% fica abaixo da taxa mínima de atratividade estabelecida. Essa constatação reforça a falta de viabilidade financeira do projeto, indicando que os retornos esperados não são satisfatórios em comparação com o custo de oportunidade do capital.

Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de investimentos para cenário com 2 aviários.

VPL	VAUE	TIR
-R\$78.964,53	-R\$10.688,12	3,23%

Fonte: Autor, 2023.

### 4.3.3 Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário com 3 Aviários

Conforme mencionado anteriormente, verificou-se que o orçamento fornecido pela empresa é suficiente para cobrir a produção de biogás de três aviários. Portanto, procedeu-se à análise considerando um cenário em que o produtor possui três aviários com características semelhantes às do aviário em estudo.

Da mesma forma que foi feito anteriormente, optou-se por manter o mesmo custo de implementação do sistema, enquanto os custos de produção e as receitas foram multiplicados por 3, levando em conta o número de aviários envolvidos. Com base nesse cenário expandido, foi elaborado um novo fluxo de caixa, apresentando os resultados obtidos na Tabela 10, que refletem a viabilidade financeira do projeto em questão.

Ao analisar o novo fluxo de caixa, é evidente que os resultados diferem significativamente dos dois primeiros cenários examinados. Observa-se que o *Payback* descontado ocorre a partir de 7,5 ciclos de produção.

Além disso, neste novo cenário, é possível constatar que o VPL passa a apresentar resultados positivos, totalizando R\$254.808,93 ao final do décimo ciclo. Essa mudança indica que o investimento se tornou economicamente viável, com o retorno esperado superando os custos iniciais e gerando ganhos financeiros.

Esses achados ressaltam a importância de considerar diferentes cenários e fluxos de caixa ao avaliar a viabilidade de um investimento. No caso em questão, a análise do novo fluxo revela uma perspectiva mais favorável, indicando que a tomada de decisão pode ser respaldada por fundamentos econômicos positivos.

Por sua vez, a análise do VAUE também confirma a viabilidade econômica do

Tabela 10 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 3 aviários.

Dados Econômicos	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
(+) Reaproveitamento do Biogás	-	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02
(+) Venda de Créditos de Carbono	-	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15
Receita Operacional	R\$ 0,00	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18
(-) Manutenção	-	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77
(-) Mão-de-obra	-	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00
(=) Disponível no caixa	-	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41
(-) Instalação do sistema de biodigestão	R\$ 637.657,41					
(+) Investimento Inicial	R\$ 637.657,41					
(=) Fluxo de Caixa	-R\$ 637.657,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41
<b>Dados Econômicos</b>	<b>Ciclo 6</b>	<b>Ciclo 7</b>	<b>Ciclo 8</b>	<b>Ciclo 9</b>	<b>Ciclo 10</b>	
(+) Reaproveitamento do Biogás	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	R\$ 115.956,02	
(+) Venda de Créditos de Carbono	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	
Receita Operacional	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	R\$ 135.532,18	
(-) Manutenção	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	
(-) Mão-de-obra	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	
(=) Disponível no caixa	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	
(-) Instalação do sistema de biodigestão						
(+) Investimento Inicial						
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	R\$ 120.798,41	-10*

Fonte: Autor, 2023.

projeto, revelando um lucro de R\$ 34.489,27 por ciclo ou um total de R\$ 344.892,70 ao final do período de dez ciclos. Essa métrica demonstra que o projeto é capaz de gerar retornos financeiros consistentes e favoráveis ao longo do tempo.

Adicionalmente, ao examinar a TIR, constata-se que a atratividade do investimento é significativa, uma vez que sua taxa supera em quase três vezes a taxa mínima de atratividade, alcançando 13,70%. Essa evidência ressalta que o projeto apresenta um retorno satisfatório em relação ao custo de oportunidade do capital, tornando-o financeiramente atrativo e promissor.

Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 – Análise de investimentos para cenário com 3 aviários.

VPL	VAUE	TIR	Payback Descontado (ciclos)
R\$ 254.886,73	R\$ 34.496,79	13,70 %	7,52

Fonte: Autor, 2023.

#### 4.3.4 Estudo de Viabilidade Econômica - Cenário Pessimista

Conforme mencionado anteriormente, verificou-se que o melhor cenário foi com 3 aviários, por isso, o cenário pessimista vai ser feito com base no fluxo de caixa do mesmo. Da mesma forma que foi feito anteriormente, optou-se por manter o mesmo custo de implementação do sistema, enquanto os custos de produção e as receitas foram alterados para a produção de energia equivalente a 4,2kWh por metro cubico de biogás, o que resultou num valor de receita com energia de R\$ 88.548,24.

Ao analisar o novo fluxo de caixa, é evidente que os resultados diferem significativamente dos dois primeiros cenários examinados. Observa-se que o *Payback* descontado ocorre após 9,8 ciclos de produção.

Além disso, neste novo cenário, é possível constatar que o VPL mantém resultados positivos, totalizando R\$53.378,60 ao final do décimo ciclo. Esse valor indica que o investimento não deixa de se tornar economicamente viável, mesmo com uma queda significativa na geração de energia.

Por sua vez, a análise do VAUE também confirma a viabilidade econômica do projeto, revelando um lucro de R\$ 7.089,01 por ciclo ou um total de R\$ 70.890,10 ao final do período de dez ciclos. Essa métrica demonstra que o projeto é capaz de gerar retornos financeiros consistentes e favoráveis ao longo do tempo.

Adicionalmente, ao examinar a TIR, constata-se que a atratividade do investimento é significativa, uma vez que sua taxa continua a superar a TMA, alcançando 7,62%. Essa evidência ressalta que o projeto apresenta um retorno satisfatório em relação ao custo de oportunidade do capital, tornando-o financeiramente atrativo e promissor aos produtores.

Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 12 – Fluxo de caixa com horizonte de 10 ciclos para implantação de biodigestor no cenário atual com 3 aviários.

Dados Econômicos	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
(+) Reaproveitamento do Biogás	-	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24
(+) Venda de Créditos de Carbono	-	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15
Receita Operacional	R\$ 0,00	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39
(-) Manutenção	-	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77
(-) Mão-de-obra	-	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00
(=) Disponível no caixa	-	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62
(-) Instalação do sistema de biodigestão	R\$ 637.657,41					
(+) Investimento Inicial	R\$ 637.657,41					
(=) Fluxo de Caixa	-R\$ 637.657,41	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62
<b>Dados Econômicos</b>	<b>Ciclo 6</b>	<b>Ciclo 7</b>	<b>Ciclo 8</b>	<b>Ciclo 9</b>	<b>Ciclo 10</b>	
(+) Reaproveitamento do Biogás	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	R\$ 88.548,24	
(+) Venda de Créditos de Carbono	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	R\$ 19.576,15	
Receita Operacional	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	R\$ 108.124,39	
(-) Manutenção	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	R\$ 8.333,77	
(-) Mão-de-obra	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	
(=) Disponível no caixa	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	
(-) Instalação do sistema de biodigestão						
(+) Investimento Inicial						
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	R\$ 93.390,62	-10*

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 13 – Análise de investimentos para cenário pessimista.

VPL	VAUE	TIR	Payback Descontado (ciclos)
R\$53.378,60	R\$ 7.089,01	7,62%	9,83

Fonte: Autor, 2023.

Com base nas análises realizadas, chega-se à conclusão de que o projeto se mostra viável ao ser implementado em três aviários, mesmo considerando um cenário pessimista, que pode representar fatores que possam a vir a prejudicar a produção de biogás, como frios muito intensos ou perda de capacidade de geração da biomassa. Um dos principais fatores que sustentam essa viabilidade reside na diluição do custo total do investimento, graças ao incremento da receita gerada por meio da adição de dois aviários adicionais. Essa expansão na quantidade de aviários resulta em uma maior produção de biogás, o que contribui significativamente para a viabilidade do projeto. Além disso, o aumento na quantidade de créditos de carbono produzidos também desempenha um papel importante na sustentação desse resultado favorável.

#### 4.3.5 Discussão do Cenário 3 com a Literatura

Ao comparar os resultados obtidos por meio da análise econômica do investimento com a literatura existente, é possível identificar algumas divergências. No estudo realizado, os indicadores financeiros, como o *Payback*, o VPL, o VAUE e a TIR, apontaram para a viabilidade econômica do projeto, a partir do cenário 3.

No entanto, ao revisar a literatura disponível sobre investimentos semelhantes, como o caso do trabalho de Silva (2017), encontrou-se um estudo que apresentava resultados positivos para a viabilidade do projeto com dois aviários. Esse estudo destacava que o investimento era lucrativo, com um *Payback* rápido e valores positivos de VPL e TIR, além de um VAUE de R\$4.142,65 por lote do estudo. Enquanto o VAUE deste estudo para 2 aviários é de -R\$4.288,12. É importante ressaltar que essas discrepâncias podem ser atribuídas ao cenário econômico em que o país estava na data do estudo (2017), que está diretamente relacionada aos custos de implementação (no caso, R\$53.097,76), juros e a taxa de atratividade empregada nos cálculos.

Por outro lado, temos o trabalho de Aires (2012), que se assemelha mais ao atual orçamento fornecido pela empresa especializada, embora apresente uma capacidade de produção de biogás maior, 130.500  $m^3/ano$ , biodigestor com capacidade de 1000 $m^3$  e gerador de 58 kw. Enquanto este estudo utilizou dados de 13 mil  $m^3$  de biogás ciclo de 16 meses, biodigestor com capacidade de 500 $m^3$  e gerador de 13kw. Nesse estudo, foi realizada a orçamentação de uma planta de biogás com características semelhantes ao projeto em questão, considerando aspectos como investimentos e custos operacionais.

Além disso, é relevante mencionar o estudo de Vinicius de Oliveira Lima (2017), que analisou a viabilidade de um condomínio de frangos com 42 aviários e um orça-

mento de R\$3,8 milhões. Nesse caso, o alto número de galpões e a quantidade de biomassa produzida resultaram em resultados econômicos positivos, com um VAUE de R\$736.482,28. Isso evidencia a influência significativa da quantidade de biomassa convertida em biogás na viabilidade desse tipo de investimento.

É importante ressaltar que os resultados obtidos na presente análise foram baseados em dados específicos do cenário da propriedade em questão, levando em consideração suas características e condições locais. Por outro lado, a literatura revisada pode ter considerado diferentes contextos geográficos, tamanhos de projetos e tecnologias empregadas, o que pode influenciar significativamente nos resultados econômicos.

É fundamental lembrar que a avaliação de implementação de projetos não deve ser baseada somente na viabilidade econômica ou aspectos financeiros, mas também abranger outros elementos relevantes, como considerações ambientais, sociais, auxílios governamentais e estratégias organizacionais. Para tomar uma decisão informada sobre a implementação de um investimento, é imprescindível realizar uma análise holística e abrangente, que considere todos esses aspectos.

#### 4.4 PROPOSTA DE MELHORIAS

Conforme abordado neste estudo, a viabilidade econômica para a instalação de biodigestores em propriedades de pequenos produtores é comprometida em virtude dos elevados custos de aquisição. No entanto, durante a visita realizada na propriedade, constatou-se a presença de um conjunto de granjas próximas na área rural do município, voltadas para a criação de aves. Neste contexto, propõe-se a utilização dos dejetos gerados em cada propriedade com o intuito de produzir biogás, mediante o estabelecimento de uma cooperativa de energia baseada nessa fonte renovável. Essa cooperativa seria concebida como uma entidade colaborativa, congregando os produtores em uma rede de compartilhamento de recursos e conhecimentos. Cada produtor contribuiria com os resíduos orgânicos provenientes de suas respectivas propriedades, os quais seriam encaminhados para um biodigestor central.

O biogás resultante poderia ser utilizado para a geração de eletricidade, conferindo maior autonomia energética às propriedades rurais. Ademais, o estudo foi realizado baseado no auto-consumo. Então que o *net-metering*, que é o sistema de compensação de energia, é imprescindível para estes produtores manterem a redução das contas de acordadas com os períodos de cada lote, considerando que existem altas e baixas demandas de energia nas granjas. Caso a produção seja consolidada é possível alugar o sistema gerador, que garantiria um fluxo ainda mais estável. Na Figura 12, pode-se observar a estrutura que seria adotada para criação da cooperativa de energia.

Figura 11 – Proposta de cooperativa de energia.



Fonte: Autor, 2023.

Essa proposta de cooperativa de energia produzida por meio do biogás concretizaria vantagens tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Além de contribuir para a mitigação do impacto ambiental decorrente dos resíduos orgânicos, ao convertê-los em energia limpa, os produtores rurais poderiam reduzir seus custos com eletricidade, incrementar sua independência energética e diversificar suas fontes de renda.

A cooperativa também fomentaria o fortalecimento da comunidade rural, incentivando a cooperação e o desenvolvimento sustentável. A partilha de experiências e conhecimentos entre os produtores poderia impulsionar a adoção de práticas mais sustentáveis em outras áreas da produção agropecuária.

A partir da criação da cooperativa de energia, poderiam se originar outros negócios rentáveis para os produtores, como o comércio de biofertilizantes sólidos, produção de biometano para uso nos veículos das propriedades e a co-digestão entre a biomassa com os resíduos orgânicos municipais.

Outro ponto que pode-se destacar com a criação da cooperativa de energia, é que esta seria uma ótima forma de não manter os resíduos da cama em estoque, se os ciclos de produção forem intercalados, seria uma ótima vantagem para a produção do biogás.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral do estudo foi alcançado, porém, devido à baixa quantidade de biomassa gerada por um único aviário, juntamente com o dimensionamento mínimo do sistema de biodigestor proposto, a proposta de investimento se torna inviável no cenário atual. Isso ocorre porque os resultados da análise econômica indicaram um resultado negativo.

Por outro lado, ao comparar o orçamento fornecido pela empresa com a capacidade real do projeto, considerando o Cenário 3 com três aviários, constatou-se a viabilidade do empreendimento. Essa conclusão foi respaldada pelos métodos de engenharia econômica, que apresentaram resultados positivos para o cenário hipotético, com um VPL de \$253.882,58, um VAUE de R\$34.363,89 e uma TIR de 13,67%.

A criação de uma cooperativa de produção de energia por biogás é uma alternativa viável na qual produtores vizinhos de frangos se unem para gerar e distribuir energia. Esse modelo tem demonstrado ser rentável e eficiente em diversas regiões do país, permitindo que os produtores compartilhem os custos e otimizem a produção de biogás, resultando em benefícios econômicos e ambientais significativos. Além de reduzir a dependência de fontes convencionais de energia, a cooperativa fortalece as relações entre os produtores e estimula a colaboração mútua, impulsionando o desenvolvimento sustentável da região. Desta forma, a utilização eficiente de recursos renováveis contribui para a redução dos custos associados ao consumo de energia convencional, gerando economia ao longo do tempo. Essa abordagem sustentável não apenas traz vantagens econômicas, mas também desempenha um papel fundamental na redução das emissões de gases de efeito estufa e na preservação do meio ambiente.

Conclui-se que a principal contribuição deste estudo para a propriedade estudada consiste na identificação de um potencial aumento na eficiência energética por meio da implementação de um sistema de geração de biogás e na recomendação de criar uma cooperativa de crédito de energia. Essas iniciativas oferecem oportunidades para aproveitar a biomassa disponível, proveniente dos resíduos agropecuários e convertê-la em energia limpa e renovável, promovendo a utilização sustentável dos resíduos.

No campo da literatura, a contribuição deste estudo está relacionada com a análise detalhada da viabilidade econômica e da sustentabilidade do uso de biogás como fonte de energia renovável em propriedades agrícolas. Ao investigar a implementação de um sistema de geração de biogás em conjunto com a criação de uma cooperativa de crédito de energia, o estudo oferece uma abordagem inovadora para otimizar a produção e o uso de energia limpa. Além disso, ao considerar as premissas específicas da propriedade estudada e fornecer resultados e recomendações detalhadas, o

estudo enriquece o corpo de conhecimento existente, fornecendo informações valiosas para pesquisadores, tomadores de decisão e outros interessados no campo da energia renovável e sustentabilidade agrícola. Portanto, esse estudo contribui para o avanço da literatura ao explorar novas estratégias e soluções para promover a adoção de energias renováveis em propriedades rurais.

Apesar das divergências encontradas entre os resultados deste estudo e os da literatura, é fundamental destacar que cada caso é único e deve ser analisado com base em suas particularidades. Recomenda-se uma revisão mais aprofundada da literatura e a realização de novos estudos com enfoque semelhante para uma comparação mais precisa e abrangente dos resultados obtidos. Além disso, propõe-se a condução de estudos mais precisos sobre cooperativas de produção de biogás entre vizinhos, levando em consideração que a quantidade de biomassa produzida por cada aviário varia de acordo com as características de produção e manejo exigidas por cada empresa. Além da realização de uma análise que inclua a co-digestão da cama de frango com outras biomassas, como esterco suíno e bovino, bem como a realização de comparação entre viabilidade da implementação de biogás com outra fonte de energia renovável, como a energia fotovoltaica.

## REFERÊNCIAS

- ABOUELENIEN, Fatma; FUJIWARA, Wataru; NAMBA, Yuzaburo; KOSSEVA, Maria; NISHIO, Naomichi; NAKASHIMADA, Yutaka. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 101, n. 16, p. 6368–6373, 2010.
- AIRES. Desenvolvimento de um sistema para o pré-processamento da cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e compostagem in-vessel. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2012.
- AIRES, Airton M. Desenvolvimento de Planta de Biogás para cadeia Avícola: Case “3Gs Família De Paula”. **Bioenergy Solution**, n.a., 2022.
- ARAÚJO, DF. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE NOVOS PROJETOS. 2018. **Universidade Candido Mendes - UCAM**, 2010.
- ASSAF NETO, Alexandre. Estrutura e análise de balanços: um enfoque econômico-financeiro, 2020.
- CASAROTTO FILHO, N; KOPITTKE, BH. Investment Analysis: Financial Mathematics, Economic Engineering. **Decision Making, Business Strategy**, 2010.
- DE AVILA, VS; MAZZUCO, Helenice; FIGUEIREDO, EAP de. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. Concordia: EMBRAPA-CNPQA, 1992., 1992.
- FRONDIZI, Isaura Maria de Rezende Lopes. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: guia de orientação-2009**. [S.l.]: Imperial Novo Milênio, 2009.
- FUKAYAMA, Ellen Hatsumi. Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2008.
- GIL, Antonio Carlos *et al.* **Como elaborar projetos de pesquisa**. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2002. v. 4.
- GITMAN, Lawrence J *et al.* Principios de administração financeira. Pearson Education do Brasil, 2010.

GONÇALVES, MN. Os Efeitos Da Temperatura Na Produção De Biogás Em Biodigestores. 2018. **Universidade federal de Uberlândia-UFU Faculdade de Engenharia Elétrica**, 2019.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Gestonaro do. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2022., 2022.

LIMA, Vinicius de Oliveira. **Estudo da viabilidade econômica para a instalação de um biodigestor em um condomínio para avicultura de corte**. 2017. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MARCHIORO, Vanessas. Digestão anaeróbia em estado sólido de cama de aviário a diferentes razões de substrato/inóculo e intervalos de recirculação. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2017.

MINAS E ENERGIA, Ministério de. **Série Energias Renováveis - Biomassa**. 1. ed. Brasília: [s.n.], 2007.

OLIVO, Ana Maria; BOSCHILIA, L. Contabilidade geral e gerencial: conceitos introdutórios para os cursos superiores de tecnologia. **Florianópolis: IF-SC**, 2012.

PALHARES, JCP. Impacto ambiental na produção de frangos de corte—revisão do cenário brasileiro. **Manejo Ambiental na Avicultura. Disponível em: [cnpa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_s3v74t2l.pdf](http://cnpa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_s3v74t2l.pdf). Acesso em**, v. 9, n. 05, 2013.

PASCHOAL, Fernando Augusto. Produção de biogás a partir de resíduos da avicultura: um estudo de caso no município de Tamboara. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

PERES, S; PEREZ, MLA. Inventário da biomassa produtora de biogás de Pernambuco. **Recife: Gráfica & Copiadora Nacional**, 2016.

POMPERMAYER, Cleonice Bastos; LIMA, João Evangelista Pereira. Gestão de custos. **Finanças empresariais. Curitiba: Associação Franciscana de Ensino Senhor Bom Jesus. Coleção Gestão Empresarial**, n. 4, p. 49–68, 2002.

SANTOS, Edval Batista dos; NARDI JUNIOR, Geraldo de. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, v. 4, n. 2, p. 80–90, 2013.

SILVA, Tamires Guimarães da. **Análise ambiental, econômica e financeira da produção de biogás a partir da cama de aviário**. 2017. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOMER, Juliana Gaio *et al.* **Produção de Biogás a Partir da Codigestão de Cama de Frango e Efluente de Suinocultura**. 2021. Diss. (Mestrado).

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 108 p. 2001. Tese (Doutorado) – Tese de Mestrado–Araraquara: Universidade Estadual Paulista.

VAZ, Caroline Rodrigues; URIONA MALDONADO, Mauricio. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and Systematic Yielding Mapping Process). **Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos da Engenharia de Produção**, UFSC Florianópolis, Brazil, v. 1, p. 21–42, 2017.

YETILMEZSOY, Kaan; SAKAR, Suleyman. Development of empirical models for performance evaluation of UASB reactors treating poultry manure wastewater under different operational conditions. **Journal of Hazardous materials**, Elsevier, v. 153, n. 1-2, p. 532–543, 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. [S./]: Bookman editora, 2015.

ZANETTE, André Luiz. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. **Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE**, 2009.

**APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO E ESCLARECIDO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
CURSO DE ENGENHARIA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Florianópolis, 03 de Janeiro de 2023.

À

**Leonardo Heinrich**

At.: Proprietário da propriedade estudada

Ref.: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Sou Eduardo Fiorese aluno de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis. Estou realizando meu Trabalho de Conclusão de Curso e gostaria de realizar a pesquisa em sua propriedade, pois verifiquei que sua propriedade se encaixa com minha pesquisa.

O objetivo da minha pesquisa é “*Analisar a viabilidade econômica da produção de biogás utilizando a cama de aviário de casca de arroz*”. Este trabalho verificará a viabilidade da implementação de um biodigestor para a produção de energia elétrica na propriedade, com base na literatura científica, verificando a viabilidade deste sistema para pequenos produtores de frango de corte no Rio Grande do Sul.

Desta forma, venho através deste documento, pedir se poderia realizar minha pesquisa em vossa propriedade, realizando coleta de dados com vossa senhoria e visita *in loco* se possível ao processo da empresa.

Cabe ressaltar que esta pesquisa será objeto de estudos exclusivamente acadêmico, tendo como resultado sua divulgação na defesa do TCC (Eduardo Fiorese).

Sendo assim, atendendo o Código de Ética da pesquisa científica da Universidade, asseguramos que não serão revelados os nomes das pessoas e nem o nome da empresa, uma vez que a pesquisa será utilizada para publicação do Trabalho de Conclusão de Curso e em forma de artigo científico das informações coletadas.

Informamos que vossa contribuição é de fundamental importância para o estudo e desenvolvimento dos alunos envolvidos, por alcançarem seus objetivos de auxiliar pequenos produtores quanto a viabilidade deste tipo de empreendimento. Antecipadamente agradecemos vossa colaboração.

Fico à disposição para maiores esclarecimentos.

Atenciosamente,



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Ciente do sigilo das informações

---

Eduardo Fiorese  
Responsável pelo TCC  
Aluno do Curso de Engenharia de Produção Mecânica  
Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis

De acordo:

---

Caroline Rodrigues Vaz  
Orientadora do TCC  
Curso de Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis



---

Responsável pela Propriedade Leonardo Heinrich

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO AO PRODUTOR

### Roteiro de Perguntas ao Produtor Rural

#### 1. Produção

- 1.1. Por que escolheu a casca de arroz no lugar de outros insumos, como maravalha, capim etc?
- 1.2. Como se dá o processo produtivo? (tempo e quantidade)
- 1.3. Qual a quantidade de frangos produzidos?
- 1.4. Qual a média de mortalidade? E qual idade existe maior taxa?
- 1.5. Com quantos lotes é feita a troca da cama do aviário?
- 1.6. Qual altura está a cama quando é feita essa troca?

#### 2. Custos e Investimentos

- 2.1. Quanto foi investido no aviário e na fotovoltaica?
- 2.2. Referente a fotovoltaica:
  - 2.2.1. Qual a quantidade de placas?
  - 2.2.2. Quanto gera de energia?
  - 2.2.3. De quanto é a economia?
- 2.3. Qual era o valor da energia antes da implementação?
- 2.4. Qual o valor pago no frango?
- 2.5. Qual o valor dos insumos utilizados, pallet, lenha, casca de arroz, energia, água, financiamentos?
- 2.6. Quais são os outros custos indiretos que possui? (mão-de-obra, transporte)

**APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO AO ESPECIALISTA**

Geral:

1. Quais os benefícios/vantagem de adotar a produção de biogás em aviários? Como poderia ser quantificado a redução de emissões?
2. Quais os modelos de negócio mais utilizados e o recomendado para o estudo de caso (e.g., autoconsumo, uso para aquecimento)?
3. Existem plantas de biogás em aviários no Brasil? Onde? Quais tecnologias eles utilizam, quais tipos de biodigestores? Qual o tipo mais recomendado (e.g., dos 4 existentes) e porquê?
4. Quais empresas trabalham com estes tipos de tecnologia? E na mais indicada pela questão 4.
5. Como é feita e quais os principais passos para a manutenção destes equipamentos?

Substrato com casca de arroz:

6. Poderia descrever o processo completo para a produção de biogás com cama de casca de arroz? Quais os tempos de cada processo?
7. Qual a eficiência para produção de biogás utilizando a casca de arroz?
8. Quais as principais diferenças entre utilizar a maravalha ou a casca-de-arroz para produção de biogás?
9. Existe alguma recomendação para o tratamento da cama (e.g., retirar a cama com maior frequência.)? A cama perde seu potencial para produção de biogás ao longo do ano? Como preparar a biomassa de forma adequada?
10. Quais os principais problemas que podem ocorrer neste processo, como a necessidade de remoção dos cascudos com veneno ou interferência do cal no substrato?
11. Qual a qualidade do substrato resultante, forma um fertilizante NPK ?

Sobre o estudo de caso:

12. Qual o tamanho de biodigestor para o volume sugerido?
13. Qual a faixa de custo das principais tecnologias para a granja em estudo?
14. Existem incentivos financeiro ou fiscais que possam ser considerados em um estudo de viabilidade econômica para este caso?
15. Existe uma recomendação para a co-digestão deste substrato (e.g., adição de novos substratos com maior teor de gordura ou carboidrato?)
16. Qual a viabilidade econômica para produção de biogás em granjas pequenas? Existe uma quantidade mínima de substrato necessário?

## APÊNDICE D – FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DE FRANGOS

Processo Atual <input checked="" type="checkbox"/>		Gráfico de Fluxo de Processo				
Processo Proposto <input type="checkbox"/>						
Processo: Produção de frangos						
Passo	Operação	Transporte	Espera	Controle	Armazenagem	Descrição da atividade
1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pegar o trator na garagem
2	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirigir até o local que está o espalhador de cama
3	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Acoplar Espalhador de cama ao Trator
4	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirigir até o armazem de casca de arroz
5	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Carregar o espalhador
6	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirigir até o aviário
7	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espalhar a casca de arroz em todo aviário
8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirigir até a garagem para deixar o trator
9	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ligar o sistema de controle do aviário
10	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Checar o funcionamento dos equipamentos
11	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Abastecer o forno com pellet
12	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ligar o forno
13	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aguardar a chegada dos pintinhos
14	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espalhar os pintinhos na area especifica para os pintinhos
15	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Checar o funcionamento do alimentador
16	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Checar funcionamento do sistema de controle
17	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Checar se a temperatura está adequada
18	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Passar pelo aviário para checagem de mortos
20	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Levar os mortos até a composteira

21		Abastecer o forno
21		Checar funcionamento do sistema de controle
22		Checar se a temperatura está adequada
23		
24		Revirar a cama com o revirador manual
26		
27		Desligar o forno
28		Revirar a cama com o revirador manual
29		
30		Um dia antes da saída dos frangos desligar os alimentadores.
31		Desligar fornecimento de água 3 horas antes da saída dos frangos
32		Acompanhar a retirada dos frangos
33		
34		Lavar o aviário
35		Queimar as penas com vassoura de chamas
36		Revirar a cama com revirador acoplado no trator
37		Passar cal
38		Revirar a cama com revirador acoplado no trator
39		
40		Espalhar casca de arroz
41		Ciclo a cima se repete 8 vezes.
42		Retirar a cama
43		Armazenar em local adequado