



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias

Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental

Patrícia Carvalho Barbosa

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS A PARTIR DO DIMENSIONAMENTO DO
BIODIGESTOR E TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA
SUINOCULTURA**

Unai/MG

2023

Patrícia Carvalho Barbosa

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR
DO DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E TRATAMENTO DA ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: **Prof. Dr. Denis Leocádio Teixeira**

Unai/MG

2023

Patrícia Carvalho Barbosa

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR
DO DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E TRATAMENTO DA ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: **Prof. Dr. Denis Leocádio Teixeira**

Data de aprovação 03/07/2023.

Prof. Dr. Denis Leocádio Teixeira
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM/Unai

Prof. Dr. Cristiane Fernandes Lisboa
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM/Unai

Prof. Dr. Jefferson Luiz Antunes Santos
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM/Unai

Unai/MG

2023

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela força e coragem, por nunca ter me deixado desistir, apesar de todas as dificuldades encontradas pelo caminho. Em segundo lugar esse trabalho é dedicado à minha família, em especial aos meus pais e irmãos, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente o meu agradecimento vai para Deus, Nossa Senhora Aparecida, pela oportunidade, força, discernimento em cada passo dado, sempre acalmando meu coração e me mantendo firme no meu propósito.

A minha família que sempre fez de tudo por mim, sem medir esforços, nada seria possível sem eles, tudo que sou, que fiz e que me tornarei será por eles.

Um agradecimento ao meu orientador pela dedicação do seu tempo ao meu trabalho, e pela ajuda e orientação.

A banca avaliadora, por ter aceito e disponibilizado um tempo para a avaliação deste trabalho.

Aos meus amigos, Carlo Lima (em memória), Hérliton Vitor, Geraldo Júnior, Letícia Silva, Rosy Mara, Ricardo Pires, Northon Matheus, Creudeci José e tantos outros que sempre estiveram presentes e me ajudaram de forma direta ou indiretamente, que nas horas difíceis estavam ao meu lado dizendo palavras positivas, arrancando sorrisos ou trabalhando de psicólogos.

Agradeço a cada professor (a) que esteve presente em minha jornada, por todos os ensinamentos, palavras, dedicação, que mesmo com tão pouco no início se desdobravam para passar o conhecimento adequado e de qualidade a todos nós alunos.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estimar a viabilidade técnica-econômica do uso da água residual da suinocultura como matéria-prima para a produção de biogás, visando oferecer uma alternativa energética sustentável e eficiente. A avaliação técnico-econômica abordada neste trabalho investigou a possibilidade de aproveitamento do potencial energético contido na água residuária da suinocultura por meio do processo de tratamento, para a produção de biogás, através da implantação de um biodigestor de modelo canadense, para geração de eletricidade a partir da produção de metano, em uma suinocultura no município de Unai-MG, contendo 2.395 suínos em diferentes fases. Os dados necessários para este estudo foram coletados na propriedade in loco, estimando a produção de água residuária em 22,75 m³/dia. O biodigestor escolhido para o processo de biodigestão anaeróbia foi avaliado economicamente, considerando o revestimento por uma geomembrana de Policloreto de Vinila (PVC) e Polietileno de Alta Densidade (PEAD), custo de escavação e custos do motogerador. A viabilidade econômica para a implantação do biodigestor e a geração de energia elétrica através da aquisição do motogerador apresentou-se positiva em todos os quesitos avaliados, onde o valor presente líquido (VPL) mostrou-se positivo, taxas internas de retorno (TIR) acima da taxa mínima de atratividade (TMA) e o payback simples abaixo do horizonte de 12 anos, relativo à vida útil do projeto e o tempo necessário para pagamento do financiamento do projeto. Conclui-se que a suinocultura avaliada possui a capacidade de ter a autossuficiência energética através do biodigestor, podendo não apenas suprir suas próprias necessidades internas, mas também gerar excedentes de energia elétrica.

Palavras-chave: biodigestor, suíno, meio ambiente, recuperação de recursos, economia circular, valor presente líquido, taxa interna de retorno, taxa mínima de atratividade.

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the technical and economic feasibility of using the residual water from pig farming as a raw material for biogas production, aiming to offer a sustainable and efficient energy alternative. The technical-economic evaluation approached in this work investigated the possibility of using the energy potential contained in the swine wastewater through the treatment process for the production of biogas by implanting a Canadian model biodigester to generate electricity from the production of methane in a swine farm in the municipality of Unaí-MG, containing 2,395 pigs in different phases. The data necessary for this study were collected on the property in loco, estimating the production of wastewater at 22.75 m³/day. The biodigester chosen for the anaerobic biodigestion process was evaluated economically, considering the lining of a Polyvinyl Chloride (PVC) and High Density Polyethylene (HDPE) geomembrane, cost of excavation and of the motogenerator. The economic viability for the implementation of the biodigester and the generation of electricity through the acquisition of the motogenerator was positive in all aspects evaluated, where the net present value (NPV) was positive, internal rates of return (IRR) above the minimum rate of attractiveness (TMA), and the simple payback below the horizon of 12 years, related to the useful life of the project and the time required to pay the project financing. It is concluded that the evaluated swine farm has the capacity to have energy self-sufficiency through the biodigester, being able not only to supply its own internal needs but also to generate surplus electricity.

Keywords: biodigester, pig, environment, resource recovery, circular economy, net present value, internal rate of return, minimum rate of attractiveness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estruturas para alojamento dos suínos.

Figura 2 – Motores utilizados na propriedade para a preparação e transporte da ração para os suínos.

Figura 3 – Vala para escoamento dos dejetos.

Figura 4 – Tanque de equalização para baias mais distantes.

Figura 5 – Lagoa Anaeróbia utilizada para tratamento da ARS.

Figura 6 – Layout do biodigestor a ser construído.

Figura 7 – Vista frontal do gasômetro.

Figura 8 – Estimativas da produção de biogás de acordo com cada metodologia.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de ARS gerados por categorias de criação.

Tabela 2 - Capacidade máxima de produção de metano para cada metodologia.

Tabela 3 - Poder Calorífico Inferior do Metano.

Tabela 4 - Volume de dejetos gerados empregando diferentes métodos.

Tabela 5 - Resumo das características construtivas do Biodigestor.

Tabela 6 - Resumo das dimensões construtivas do gasômetro.

Tabela 7 - Orçamento da geomembrana.

Tabela 8 - valor orçado para escavação do solo.

Tabela 9 - Orçamento para os motogeradores.

Tabela 10 - Valores mínimos calculados através dos resultados da metodologia de IPCC (2006).

Tabela 11 - Valores máximos calculados através dos resultados da metodologia de Chen (1983).

Tabela 12 - Fluxo de caixa para cada ano.

Tabela 13 - Resultados da viabilidade econômica considerando produção mínima de biogás.

Tabela 14 - Resultados da viabilidade econômica considerando produção máxima de biogás.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ARS - Água Residuária de Suinocultura

B₀ - Capacidade de produção de metano pelo dejetos

CH₄ - Metano

CO₂ - Dióxido de carbono

CIBiogás-ER - Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás

CFk - Valor genérico do fluxo de caixa

Ee - Energia elétrica gerada

Et - Energia térmica disponível no biogás

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

E - Valor esperado

FC - Fluxo de caixa

g - Gramas

GEE - Gases de efeito estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

h - Hora

H₂S - Sulfeto de hidrogênio

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICC - (Câmara de Comércio Internacional)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

i - Taxa de desconto

I Inicia - Investimento inicial

j - Período genérico

K - Período no instante

kVA - Quilovoltampere

kW - kilowatt

kWh - Quilowatt-hora

Kg - kilograma

kJ - Quilojoule

kcal - Quilocaloria
L - Litros
mm - Milímetros
m - Metros
MCI - Motor de combustão interna
MG - Minas Gerais
N° - Número
Nm³ - Normal Metro Cúbico
n° - Número
PEAD - Polietileno de Alta Densidade
PEbiogás - Potência elétrica do biogás
PCIbiogás - Poder calorífico inferior do biogás
PCI CH₄ - Poder calorífico inferior do metano
pH - Potencial hidrogeniônico
PrM - Produção diária de metano
PVC - Policloreto de Vinila
Q - Vazão
Qbiogás - Vazão média do biogás
RCE - Redução Certificada de Emissões
SV - Sólidos voláteis
tCH₄ - Teor de metano na composição do biogás
T - Tempo de operação do motor
TIR - Taxa Interna de Retorno
TRH - Tempo de Retenção Hidráulica
TMA - Taxa Mínima de Atratividade
VPL - Valor presente líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ Soma

% Porcentagem

m³ Metros cúbico

m² Metros quadrados

R\$ Reais

÷ Divisão

* Multiplicação

+ Soma

- Subtração

= Igual

() Parênteses

> Maior

< Menor

θ Inclinação

°C Graus Celsius

US\$ dólar americano

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1. Produção Suinícola no Brasil	10
1.2. Biogás	12
1.3. Biodigestor	13
1.4 Aproveitamento Energético do Biogás	15
1.5 Estimativa da Produção do Biogás	16
1.6 Conversão do Biogás em Energia Elétrica	16
1.7 Crédito de Carbono	17
1.8 Viabilidade Econômica de Implantação de Biodigestores em Suinoculturas	18
2. Objetivo Geral	19
2.1. Objetivos Específicos	19
3. Material e Métodos	20
3.1. Caracterização do Empreendimento	20
3.2. Cálculo do Volume da Água Residuária ARS	23
3.2.1. Volume de Dejetos Gerados	23
3.3. Dimensionamento do Biodigestor	24
3.4. Estimativas de Produção de Biogás	25
3.5. Energia Elétrica Gerada Pelo Motogerador a Biogás	26
3.6. Orçamento dos Principais Componentes Utilizados	27
3.7. Viabilidade Econômica do Projeto de Instalação do Biodigestor	29
3.7.1. Valor Presente Líquido VPL	29
3.7.2. Taxa Mínima de Atratividade TMA	30
3.7.3. Taxa Interna de Retorno TIR	30
3.7.4. Payback	31
4. Resultados e Discussão	31
4.1. Volume de ARS	32
4.2. Dimensionamento da Lagoa e Caracterização do Biodigestor	32
4.2.1. Dimensão da Lagoa Anaeróbia/Gasômetro	33
4.2.2. Quantidade de Geomembrana para Implantação do Biodigestor	34
4.2.3. Orçamento dos Principais Componentes Utilizados	35
4.3. Estimativas de Produção de Biogás de acordo com Diferentes Metodologias	36
4.4. Potencial Elétrico Gerado Pela Produção do Biogás no Biodigestor	37
4.5. Viabilidade Econômica do Projeto de Instalação do Biodigestor	38
5. Conclusão	43
6. Recomendações para Trabalhos Futuros	43
7. Referências Bibliográficas	43
APÊNDICE A – Motogerador 250 Kva	52
APÊNDICE B – Motogerador 500 Kva	52
APÊNDICE C – Valor da Geomembrana	53

1. Introdução

A produção suinícola no Brasil desempenha um papel fundamental na economia do país. No entanto, essa atividade gera uma quantidade significativa de resíduos, como a água residuária e os dejetos, que podem ser transformados em uma fonte de energia renovável altamente promissora por meio do uso de biodigestores.

O biodigestor é uma tecnologia eficiente que permite a decomposição anaeróbica da matéria orgânica, como a água residuária dos suínos, resultando na produção de biogás. Essa solução apresenta-se como uma opção sustentável e vantajosa para a suinocultura, pois permite a geração de energia de forma autônoma e localizada.

O aproveitamento energético do biogás é uma forma inteligente de utilizar os resíduos da produção suinícola. O biogás pode ser empregado para diversas finalidades, tais como geração de calor, produção de vapor e, principalmente, conversão em energia elétrica.

Ao utilizar o biogás como combustível em um gerador, é possível transformá-lo em energia elétrica. Esse processo contribui para suprir as necessidades energéticas do empreendimento, promovendo a autossuficiência e a redução de custos com energia elétrica.

Além dos benefícios econômicos e de independência energética, a produção de biogás, a partir de biodigestores na suinocultura, pode gerar créditos de carbono. Esses créditos representam a redução das emissões de gases de efeito estufa que ocorreriam caso os resíduos não fossem devidamente tratados. Essa possibilidade incentiva a adoção de práticas sustentáveis e contribui para a mitigação das mudanças climáticas.

1.1. Produção Suinícola no Brasil

De acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2023), o Brasil possuía 2.067.749 matrizes de suínos em alojamentos, ocupando a 4º posição no ranking mundial de produção, com cerca de 4,983 milhões de toneladas produzidas no ano de 2022. Quando comparado ao ano de 2021, corresponde a aproximadamente 5,99% de aumento na produção, dos quais 77,52% tem como destino o mercado interno e 22,48% o mercado externo. Em relação ao consumo de carne suína per capita, a média brasileira está em 18,0 kg por ano (EMBRAPA, 2022), sendo este um valor considerável quando comparado com outras fontes de proteína animal.

No 2º trimestre de 2022, em média, teve-se o abatimento de 14,07 milhões de suínos, o que corresponde a 7,2% de alta quando comparado ao mesmo período do ano de 2021, e 3,0%

frente ao 1º trimestre de 2022. Dentre os estados com participação nesses aumentos, estão: Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (IBGE 2022).

De acordo com Pereira *et al.* (2008), o grande aumento da atividade suinícola no país acarreta o surgimento de problemas no meio físico ambiental, impactando a fauna, flora, solo e também as águas das bacias hidrográficas. Tudo isso pode se dar pelo mal gerenciamento dos resíduos gerados pela suinocultura, principalmente no sistema de confinamento, devido à grande quantidade de água residuária gerada na atividade. A alimentação constante dos animais, a elevada necessidade de higienização do local, o grande número de animais por metro quadrado, diferentes categorias e tipos de bebedouros podem maximizar a produção dos efluentes a serem tratados.

Com o elevado potencial de gerar impactos, tem-se a necessidade de dar uma destinação adequada para o efluente, a fim de prevenir uma possível contaminação do solo e da água. A falta de tratamento ou o tratamento de forma inadequada dos dejetos, podem ocasionar ou agravar problemas no meio ambiente, tais como a contaminação do lençol freático, acumulação de elementos tóxicos no solo, salinização, desequilíbrio iônico, desequilíbrio de nutrientes no solo, impermeabilização, contaminação das culturas por patógenos e parasitas (BARROS *et al.*, 2019).

Quando dispostos de forma incorreta no solo, esses resíduos podem promover o selamento superficial por meio do bloqueio dos macro e microporos do solo. Nas águas, seus efeitos ocorrem devido ao excesso de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo presentes nos dejetos suínos. Em relação ao ar, o principal impacto se dá pela emissão de gases tóxicos de caráter poluente, além do metano e de odores desagradáveis produzidos durante a decomposição do material orgânico (PEREIRA *et al.*, 2008).

A geração de resíduos nos processos de produção é praticamente inevitável, entretanto, a utilização do mesmo para gerar energia, a partir dos biodigestores, tem como objetivo a redução de custos através da produção de energia de forma equilibrada e sustentável (CÁSSIO *et al.*, 2009) (SANTOS e LUCAS JÚNIOR, 2004).

Segundo Kunz *et al.* (2017), uma boa opção para produção sustentável de energia é o aproveitamento do biogás produzido em biodigestores, a partir da degradação anaeróbia do material orgânico, por meio do processo fermentativo e oxidativo, sob a ausência de oxigênio.

1.2. Biogás

O biogás é produzido por meio da digestão anaeróbica de diversos materiais orgânicos por organismos microbianos. Durante o processo de digestão, os materiais orgânicos complexos são transformados em compostos simples, tais como metano e dióxido de carbono. Além disso, alguns resíduos, como amônia, sulfeto de hidrogênio e fosfatos são liberados (COSTA, 2006).

O gás metano é o principal componente do biogás, sua concentração varia de 60 a 80%, sendo composto também por gás carbônico, vapor de água e gás sulfídrico. O nível de pureza do biogás varia com o nível de metano presente, deste modo, quanto maior o teor de metano, mais puro o biogás. Outro gás de grande importância é o gás sulfídrico, este apresenta alto poder de corrosão nos componentes do sistema de combustão (BRASIL, 2016).

De acordo com Magalhães (1986), Karlsson (2014), às características do biogás dependem da temperatura, da pressão e do teor de umidade do local de geração. O gás apresenta aspecto incolor, não possui cheiro e quando em combustão suas chamas apresentam coloração azul-lilás e algumas manchas vermelhas, não sendo produzido fuligem durante a queima. Para cada m³ de biogás queimado pode haver a liberação de 5.000 a 7.000 kcal, o que o torna um produto com médio poder calorífico (BARROS e DELGROSSI, 2021).

A produção de biogás a partir de resíduos da pecuária, é possível com a utilização dos biodigestores como alternativas para o tratamento dos efluentes. O biodigestor além de minimizar possíveis danos ao meio ambiente, ocasionado pelo descarte incorreto dos dejetos, também tem a capacidade de gerar o biogás, o qual poderá ser convertido em algum tipo de energia dentro da propriedade ou até mesmo comercializado, caso seja produzido em larga escala. Tem-se ainda, após a produção do biogás, a geração do digestato na saída do biodigestor, o qual pode ser utilizado de forma racional no campo como fertilizante orgânico. Este tem a capacidade de melhorar a qualidade do solo por proporcionar aumento dos teores de matéria orgânica e de nutrientes, além de atenuar diversos problemas ambientais (GOMES E RAIHER, 2013).

O biogás pode ser produzido a partir de quaisquer resíduos ou biomassa orgânica, desde que a característica física do afluente a ser tratado se enquadre em líquido ou pastoso. Também pode haver a mistura de efluentes residuais orgânicos, industriais, dejetos de animais e resíduos da produção agrícola. Dentre os resíduos provenientes da pecuária, os da suinocultura merecem destaque, dado o elevado crescimento da produção de suínos nos últimos anos. Assim, a utilização do biodigestor se torna uma ferramenta de cunho muito importante no tratamento e destinação final desses resíduos (GOMES E RAIHER, 2013).

O Brasil tem alto potencial de aproveitamento dos resíduos agropecuários na produção de biogás e, conseqüentemente, alto potencial de geração de energia. O biogás é aproveitado principalmente na geração de energia térmica e na produção de energia elétrica (MILANEZ *et al.*, 2021).

1.3. Biodigestor

A utilização do biodigestor para tratamento de efluentes é uma técnica consideravelmente antiga no Brasil, tendo sido verificado seu auge nas décadas de 70 e 80. Entretanto, devido à falta de conhecimento e acompanhamento técnico, houve um decréscimo em sua utilização, voltando a ganhar forças somente a partir da década de 90 (KUNZ *et al.*, 2005).

Através da biodigestão, tem-se a possibilidade da estabilização de diferentes substratos, uma vez que o processo é capaz de metabolizar carboidratos, lipídios e proteínas para a produção do biogás (SANTOS e LUCAS JÚNIOR, 2004). De acordo com Chernicharo (2016), o processo de produção do biogás, a partir da digestão anaeróbia, passa por quatro etapas, sendo estas:

Hidrólise: Por ação de exoenzimas liberadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas, os materiais particulados complexos (polímeros) são convertidos em materiais dissolvidos mais simples, sendo reduzidos em moléculas menores que são capazes de atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas;

Acidogênese: Por ação de bactérias fermentativas acidogênicas, os compostos formados na fase de hidrólise são convertidos em diversos compostos mais simples, principalmente ácidos orgânicos (propionato, butirato), ácidos graxos voláteis, álcoois e ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e gás sulfídrico;

Acetogênese: As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas, os produtos gerados são o acetato, hidrogênio e o dióxido de carbono; e,

Metanogênese: É a etapa final do processo de degradação da matéria orgânica, sendo esta convertida em metano e dióxido de carbono por ação das bactérias metanogênicas.

O biodigestor é projetado para se comportar como um reator, o qual acontecem reações químicas em seu interior, de origem biológica. Logo após a sua produção, o biogás passa por um processo de purificação, podendo ser realizado a queima ou direcionado para a cogeração de energia, processo no qual se obtém energia elétrica ou térmica. A energia elétrica produzida

pode ser usada no próprio empreendimento, já o calor pode ser utilizado para o aquecimento do biodigestor ou para o aquecimento dos suínos em noites frias (FRANÇA JÚNIOR, 2008).

A utilização dos biodigestores para tratamento dos dejetos suínos visa a redução dos poluentes que podem ser liberados para o meio ambiente, além de possibilitar a recuperação energética com a produção do biogás. Também vale ressaltar a diminuição dos odores liberados e a eliminação de parte dos microrganismos patogênicos que podem ocasionar doenças (DALMAZO et al., 2009).

Segundo Filho e Ferreira (2004), cada biodigestor possui características físicas e operacionais de acordo com o modelo hidráulico adotado, os quais podem ser de fluxo contínuo ou descontínuo. No modelo de fluxo contínuo a produção do biogás ocorre ao longo do biodigestor, à medida que o efluente percorre o comprimento do reator, sem a necessidade de abertura do biodigestor para enchimento e esvaziamento. Os dejetos entram em um dos lados do biodigestor e após todo processo concluído, verifica-se a saída do digestato ou biofertilizante na extremidade oposta. Já no modelo de fluxo descontínuo, conhecido também como de batelada, os dejetos são colocados no biodigestor, em seguida veda-se totalmente, e sua abertura se dá somente após a interrupção da produção do biogás, que leva em média 90 dias. Depois deste período o reator é aberto para realizar a limpeza, e o processo é repetido.

De acordo com Lima (2021), os biodigestores com maior utilização no Brasil são os de fluxo hidráulico contínuo, do tipo lagoa coberta, conhecido também como modelo canadense. Esses biodigestores são produzidos através da escavação do solo, impermeabilização com geomembranas flexíveis, usualmente fabricadas em polietileno de alta densidade (PEAD) ou policloreto de vinila (PVC), e cobertos com outro tipo de geomembrana para obtenção do gasômetro e armazenamento do biogás. Segundo o autor, esse modelo permite o tratamento de dejetos com baixo teor de sólidos totais, chegando a no máximo 3%.

No dimensionamento do biodigestor deve-se atentar às características do dejetos a ser tratado visando garantir uma elevada eficiência na remoção da carga orgânica do efluente, além de alta produção de biogás. Segundo Kunz *et al.* (2004), biodigestores utilizados no tratamento de dejetos de diferentes animais, podem ter diversas conformações e tamanhos, sendo o dimensionamento realizado de acordo com a capacidade de geração de resíduos pelos animais, em suas determinadas fases de criação.

Biodigestores canadenses ou de lagoa coberta são fáceis e simples de construir, apresentam elevada difusão no Brasil, devido ao bom desempenho decorrente das altas temperaturas encontradas no território Brasileiro. Recomendados para efluentes líquidos com média de 2% de sólidos suspensos, essas lagoas escavadas e cobertas, são de caráter menos

tecnificado, não significando que sejam menos eficientes, o que os torna mais adequados a pequenas propriedades rurais com baixa escala de produção e pouco recurso disponível para investimentos. Como fator limitante, pode-se citar o elevado tempo de detenção hidráulica no interior do biodigestor, resultando em grandes áreas de lagoa coberta instaladas (GALINKIN *et al.*, 2009).

1.4 Aproveitamento Energético do Biogás

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2012 aprovou a resolução de N° 482, que autorizou ao consumidor a geração da própria energia através de fontes renováveis, como por exemplo, proveniente do uso do biogás (BRASIL, 2012). Diferente de outras fontes de energia renovável, o biogás caracteriza-se pela sua intermitência, podendo ser utilizado em qualquer horário, ou dia, desde que se atente ao seu armazenamento.

De acordo com a Resolução Normativa n° 687, de 24 de novembro de 2015 da ANEEL (BRASIL, 2015) fica estabelecido as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição, e o sistema de compensação de energia elétrica, da qual o consumidor pode gerar sua própria energia, incluindo formas de geração por fontes renováveis ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. O sistema de compensação de energia elétrica ocorre de forma que a energia ativa injetada pela unidade geradora é cedida por meio de empréstimo à distribuidora local de energia, a qual posteriormente será compensada e abatida no seu valor de consumo de energia elétrica (BRASIL, 2015).

A propriedade rural tem a possibilidade de ter ganhos econômico e financeiros, através da produção de energia elétrica, além de contribuir com o meio ambiente por meio do tratamento adequado dos dejetos. Através do reaproveitamento da energia produzida a partir do biogás (elétrica, térmica ou mecânica), a propriedade rural tem a capacidade de diminuir o custo de produção dos suínos, modernizar os processos de operação e melhorar a eficiência energética da fazenda como um todo (FERNANDES, 2012).

Outro grande e importante benefício da produção do biogás, está relacionado a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). O reaproveitamento do biogás também permite a substituição de fontes não renováveis dentro da fazenda, como as que utilizam óleo diesel, gás natural e gás liquefeito de petróleo (GLP) (MARIANI, 2018).

1.5 Estimativa da Produção do Biogás

A estimativa da produção de biogás e seu potencial na redução de emissões de metano, podem ser obtidos a partir do cálculo ou monitoramento da produção de dejetos, a qual varia em função da quantidade de suínos e do estágio de desenvolvimento em cada fase de criação.

Para calcular o potencial teórico de produção de biogás e também de produção de dejetos, podem ser empregadas diversas metodologias, como as utilizadas por Colatto e Langer (2011) e Ritter (2013). Estas metodologias consideram a produção de dejetos provenientes das atividades suinícolas e o rendimento do biogás por kg de material orgânico. Outra metodologia muito empregada é a do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS-ER, 2009), Intergovernmental Panel on Climate Change – (IPCC) (2006) que faz a determinação do volume de metano, considerando que a estimativa do biogás é obtida pela quantidade de metano presente no biogás, sendo neste caso assumido o valor de 60%. Outro método utilizado é a calculadora da EMBRAPA, disponibilizado em seu próprio site, a calculadora traz diversas informações possibilitando o cálculo do potencial de biogás, produção de dejetos, potencial de metano e potencial de energia elétrica.

Através das metodologias citadas e informações da quantidade de animais confinados, torna-se possível a obtenção da quantidade de metano produzido, além da comparação entre os volumes de dejetos gerados e a viabilidade da produção de biogás na propriedade.

1.6 Conversão do Biogás em Energia Elétrica

Entre as fontes de energias renováveis, a biomassa proveniente de fontes orgânicas de origem não fóssil como a lenha, etanol e biodiesel, podem ser empregadas para produção de biogás. Toda energia convertida em combustível através desse cenário, pode abrir novos horizontes para o setor agrícola brasileiro, com grandes perspectivas de desenvolvimento e autossuficiência energética, dado a abundância dos recursos naturais disponíveis (JANDREY, 2010).

O Brasil tem um grande potencial no crescimento da geração de energia elétrica em áreas rurais, principalmente quando se trata do reaproveitamento de resíduos suínos e bovinos para a produção do biogás (FERNANDES, 2012). Dentre as principais aplicações do biogás, tem-se a combustão direta em motores. Nesse processo de combustão direta o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, sendo o calor liberado, utilizado no processo produtivo de geração de eletricidade. Já em motores de combustão interna, o calor se converte em potência mecânica, de maneira que esses motores (máquinas primárias) se acoplam

em geradores elétricos, os quais são chamados de motores geradores. Esses motores geradores podem ser utilizados em propriedades rurais que tenham disponibilidade de biomassa para geração de biogás e posterior conversão em energia elétrica.

Através da conversão do biogás em energia elétrica (kWh), pode-se estimar o poder energético dos dejetos suínos (OLIVEIRA, 1993). De acordo com Serafim e Guimarães Filho (2012), para cada m³ de dejetos de suínos é possível gerar de 0,35 a 0,60 m³ de biogás, e a cada 1m³ de biogás, pode-se gerar de 1,25 a 1,43 kWh de eletricidade. A conversão do biogás em eletricidade se dá através do processo de conversão da energia química, ocorre a decomposição que resulta na geração do gás, o qual é posteriormente transformado em energia mecânica. Essa energia mecânica é então utilizada para acionar um gerador, que possibilita a produção de energia elétrica.

1.7 Crédito de Carbono

A Redução Certificada de Emissões (RCE), comumente conhecida como crédito de carbono, atua como uma compensação financeira para países e empresas que colaboram com o acordo global de redução dos gases de efeito estufa (GEEs). Empresas e produtores que não conseguem atingir suas metas de redução de emissões podem adquirir créditos de carbono daqueles que conseguiram reduzir suas emissões. O processo de aquisição de créditos de carbono envolve cinco etapas: reconhecimento do potencial de redução de emissões, aprovação para emissão de certificados de redução de emissões, venda dos certificados, aquisição por parte das empresas que precisam compensar suas emissões e verificação da efetividade da redução realizada (JUNIOR *et al.*, 2015).

Existem dois tipos de mercado de carbono: o mercado voluntário e o mercado regulado. O mercado regulado está sujeito a um marco regulatório que estabelece um limite máximo de emissões de GEEs. Os agentes que emitem abaixo desse limite podem negociar seus direitos de emissão com aqueles que excedem o limite. Já o mercado voluntário não possui um limite máximo regulamentado e as metas de redução de emissões seguem padrões determinados, geralmente gerenciados por organizações não governamentais. As reduções de emissões são negociadas por empresas e indivíduos que estabelecem metas voluntárias de redução (CEBDS, 2021).

A precificação do crédito de carbono é um mecanismo de mercado que incentiva a redução das emissões de GEEs, impondo um preço por tonelada de CO₂ equivalente. O mercado voluntário de carbono no Brasil tem crescido nos últimos anos, com empresas e organizações

que decidem compensar suas emissões comprando créditos de carbono gerados por projetos de redução de emissões. Empresas como Natura, Vivo e Braskem atuam nesse mercado, assim como empresas especializadas em comercializar créditos de carbono, como ClimateTrade e Carbon Trust.

É importante destacar que o mercado voluntário de carbono não substitui a necessidade de regulação e precificação do carbono pelo Estado, mas pode ser uma forma complementar de incentivar a redução das emissões. No Brasil, o preço médio do crédito de carbono no mercado voluntário em 2020 foi de US\$ 3,88 por tonelada de CO₂ equivalente, conforme a Câmara de Comércio Internacional (ICC). O governo brasileiro anunciou a criação do mercado de carbono nacional em março de 2021, e as regras para contabilização, registro, verificação e emissão de créditos de carbono foram estabelecidas pelo Decreto nº 11.075/2022, publicado em maio de 2022 pelo Ministério da Economia.

No empreendimento em questão, não foram desenvolvidos projetos de redução de emissões ou soluções relacionadas à gestão de GEEs. No entanto, tem-se a possibilidade e potencial de desenvolver projetos e comercializar créditos gerados na propriedade, podendo ser mais uma forma de obter lucros, a partir dos dejetos.

1.8 Viabilidade Econômica de Implantação de Biodigestores em Suinoculturas

A realização da viabilidade econômica na implantação de um biodigestor em suinoculturas é de suma importância para embasar decisões e otimizar recursos. Nesse contexto, a utilização de métricas financeiras como a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o período de retorno são fundamentais para uma análise precisa e criteriosa. A TIR é um indicador que mede a rentabilidade do investimento, considerando a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros aos investimentos iniciais. O VPL, por sua vez, avalia o valor presente líquido dos fluxos de caixa futuros, considerando uma taxa de desconto. A TMA, por sua vez, é a taxa de retorno mínima exigida pelos investidores para considerar um projeto atrativo. Já o período de retorno é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Essas métricas fornecem informações valiosas sobre a viabilidade financeira do projeto, permitindo a identificação de oportunidades, mitigação de riscos e maximização dos resultados.

Conforme afirmado por Coldebella (2006), a introdução de biodigestores como método de tratamento dos dejetos provenientes da suinocultura em propriedades rurais se torna uma opção financeiramente viável quando o biogás e o biofertilizante são utilizados de forma

adequada. Ao empregar esses subprodutos na própria produção como fonte de energia elétrica, é possível atingir o princípio fundamental da sustentabilidade, que engloba os aspectos ambientais, sociais e financeiros (LOCH *et al.*, 2019).

Além dos benefícios ambientais e das mudanças no modo de produção dos suínos, a implementação de biodigestores traz vantagens financeiras, principalmente por meio do aproveitamento do biogás como fonte alternativa de energia. Também existem benefícios sociais, uma vez que os envolvidos na produção se tornam mais conscientes em relação às questões ambientais. Dessa forma, alcança-se o princípio essencial da sustentabilidade, que abrange os pilares ambientais, sociais e financeiros (CRUZ *et al.*, 2007).

2. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo dimensionar e realizar a avaliação técnico-econômica da produção de biogás, a partir do tratamento da água residuária da suinocultura em um biodigestor, a ser implantado em uma propriedade de pequeno-médio porte, situada no município de Unaí-MG.

2.1. Objetivos Específicos

- Obter o volume de água residuária gerada na suinocultura;
- Dimensionar o biodigestor para tratamento da água residuária da suinocultura e geração de biogás;
- Estimar o volume de metano produzido pelo biodigestor e a quantidade de energia elétrica possível de ser gerada por um motogerador a biogás;
- Calcular a viabilidade financeira de implementação do projeto, por meio do cálculo de indicadores econômicos;
- Avaliar a autossuficiência energética da propriedade com o uso do biogás para geração de energia elétrica;
- Subsidiar o processo de tomada de decisão futura em relação a investimentos para implantação do biodigestor e aproveitamento energético do biogás na propriedade.

3. Material e Métodos

3.1. Caracterização do Empreendimento

A suinocultura utilizada neste trabalho está localizada no município de Unaí-MG, e conta com aproximadamente 2.395 suínos, dos quais são separados por categorias, sendo 427 animais na maternidade, 521 animais na creche, 1230 animais na terminação, 2 macho e 215 fêmeas.

A estrutura da suinocultura onde se encontram alojados os suínos são de alvenaria construída com tijolos, com paredes de aproximadamente 1 metro de altura, revestidos com argamassa visando aumentar a durabilidade e resistência do local, conforme apresentado na (Figura 1). Esses animais são alojados em gaiolas, baias menores ou maiores de acordo com a fase de desenvolvimento.



Figura 1 - Estruturas para alojamento dos suínos.
Fonte: Autora.

A alimentação é produzida na própria fazenda por meio da fábrica de ração onde o milho é triturado e misturado com farelo de soja e concentrados. Para isso a fazenda utiliza 7 motores para processamento das matérias primas, além dos empregados para transporte da ração para os silos (Figura 2). A propriedade ainda faz o uso de outros motores para o bombeamento de água para abastecimento dos animais e distribuição da ração nas baias.



Figura 2 - Motores utilizados na propriedade para a preparação e transporte da ração para os suínos.

Fonte: Autora.

As baias foram construídas com valas/canaletas, apresentadas nas (Figuras 3), como parte importante para o sistema de manejo de dejetos na suinocultura, elas estão localizadas em todas as baias dos suínos. As canaletas foram projetadas para recolher e direcionar os dejetos produzidos pelos suínos para o sistema de coleta. As valetas estão constituídas ao lado oposto da área de alimentação e ao longo das laterais das baias dos suínos. Em algumas baias, as valetas são abertas sem revestimento, e outras são revestidas por uma grade permeável.



Figura 3 - Vala para escoamento dos dejetos.

Fonte: Autora.

A limpeza das baias acontece de uma a duas vezes ao dia, sendo realizada através de lâmina d'água sobre a superfície. Toda água da limpeza, fezes e urina dos suínos é direcionada para as valetas na lateral das baias, de modo a facilitar o seu direcionamento para o tanque de

equalização (Figura 4). O tanque de equalização é de concreto projetado para conter os dejetos durante um curto período de tempo específico, permitindo com que o material mais pesado das fezes sedimentem parcialmente.



Figura 4 - Tanque de equalização para baias mais distantes.
Fonte: Autora.

Após passar pelo tanque de equalização, toda água residuária é direcionada para a lagoa anaeróbia (Figura 5), para o seu tratamento.



Figura 5 - Lagoa anaeróbia utilizada para tratamento da ARS.
Fonte: Autora.

A água utilizada no interior da fazenda para todas as atividades é bombeada através de um poço tubular profundo que abastece uma caixa d'água com capacidade de 30 mil litros. De acordo com o proprietário, essa água é consumida em menos de dois dias pelos animais.

Atualmente a principal demanda de energia elétrica na propriedade provém da utilização dos motores já mencionados. O consumo de energia do empreendimento foi obtido através da conta de energia da propriedade, a qual possuía o histórico de consumo dos últimos 12 meses.

Os meses com o maior consumo energético foram: março, abril, maio, junho e julho, com consumos de 903, 806, 806, 844 e 800 kWh, respectivamente. O valor médio de cada 1,0 kWh foi de R\$ 0,65313, o que resulta em um pagamento mensal de aproximadamente, R\$ 543,27 quinhentos e quarenta e três reais e vinte e sete centavos.

3.2. Cálculo do Volume da Água Residuária ARS

3.2.1. Volume de Dejetos Gerados

O levantamento do volume aproximado de ARS gerado por dia na suinocultura, foi realizado por meio de medições diretas de vazão com auxílio de um balde graduado e um cronômetro. As medições foram realizadas em triplicata, sendo obtido o valor médio de vazão. Vale ressaltar que o volume de ARS não é constante durante todo o dia, entretanto, esse fato foi considerado nos cálculos efetuados.

A segunda metodologia empregada foi a recomendada por Mito *et al.* (2018) e utilizada pela Rede BiogásFert, na qual considera a quantidade de ARS produzida, como função do consumo diário de água dos suínos (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de ARS gerados por categorias de criação.

Categoria	L animal⁻¹ dia⁻¹
Leitão creche	1,40
Crescimento e terminação	7,0
Matriz (macho)	9,0
Matriz (fêmea)	16,0
Maternidade	27,0

Adaptado de Mito *et al.* (2018).

Considerando os números de animais em cada categoria apresentado anteriormente, juntamente com os dados da Tabela 1, foi calculado o valor total de ARS gerada na suinocultura, multiplicando o número total de animais pela produção de efluente per capita como demonstra a Equação 1.

$Q = \Sigma (N^{\circ} * \text{consumo diário de água})$	(1)
--	-----

Onde:

Q - Produção de dejetos (m^3/dia);

Nº - Número de suínos por categoria.

3.3. Dimensionamento do Biodigestor

O modelo selecionado de biodigestor para implantação na propriedade, foi o modelo canadense de operação contínua, uma vez que irá receber diariamente cargas orgânicas provenientes da ARS. Para seleção deste tipo de biodigestor foi considerado suas vantagens em termos de custos, rapidez e facilidade em sua implementação, sendo também o mais recomendado pela EMBRAPA para suinocultura (KUNZ, 2004).

A metodologia de dimensionamento do biodigestor se baseia em parâmetros geométricos de secção transversal trapezoidal, o talude com inclinações variáveis de acordo com as características do solo, devendo sempre ser respeitado as particularidades na hora da construção, sendo estas: a) relação comprimento x largura mínima de (2 x 1); b) profundidade (3 a 4,5 m); e c) inclinação do talude cerca de 45° , podendo variar em função do solo (KUNZ, 2019). Esse parâmetro geométrico promove uma grande área de exposição ao sol, contribuindo e favorecendo a ação das bactérias que fazem parte do processo de digestão.

O modelo canadense se constitui por duas partes principais e muito importantes, sendo a cúpula de geomembrana maleável de PVC, que irá inflar de acordo com a produção do gás, tendo uma representação de 34 a 58 % do custo de instalação. E a caixa de carga, escavada no solo, onde toda carga orgânica produzida pelos suínos se acomoda pelo tempo necessário para a digestão (MORAIS, 2012; MOREIRA *et al.*, 2014).

O dimensionamento da lagoa anaeróbia foi realizado com o auxílio do software AutoCAD, respeitando e adequando aos parâmetros geométricos descritos por Kunz (2019). Para o tempo de detenção ou retenção hidráulica na literatura a recomendação de Oliveira (2004) está entre 30 a 35 dias, já Alves (2007) diz que pode variar de 30 a 40 dias. Perdomo (1999), para fins de volume, recomenda o tempo de retenção de 45 dias. De acordo com o autor, o tempo de retenção dos dejetos suínos para uma boa redução de SV, tem a variação de acordo com a temperatura.

3.4. Estimativas de Produção de Biogás

A estimativa de produção de metano foi realizada considerando a metodologia apresentada no trabalho “Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil” (MITO *et al.*, 2018). Nesta proposta os autores fornecem uma abordagem direta para estimar o potencial teórico de produção de metano em

biodigestores. Essa abordagem envolve um cálculo simples que leva em consideração a capacidade máxima de produção de metano de acordo com a concentração de sólidos voláteis presentes na água residuária, juntamente com o volume de dejetos produzidos diariamente.

Na Tabela 2, estão apresentadas as quatro metodologias utilizadas neste trabalho com as respectivas capacidades máximas de produção de biogás (B_0), conforme análise laboratorial da biomassa.

Tabela 2 - Capacidade máxima de produção de metano para cada metodologia.

Categoria	B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$)	Fonte	Sv ($g_{sv} L^{-1}$)
Suínos	0,29	IPCC (2006)	25,45
	0,34	EU-Agro Biogás (2015)	
	0,37	CIBiogás (2015)	
	0,5	Chen (1983)	

Fonte: adaptado de Mito *et al.* (2018).

A partir dos dados apresentados e da Equação 2, foi possível calcular a produção diária de metano na suinocultura avaliada.

(2)

$$PrM = B_0 * Sv * Q$$

Onde:

PrM - produção diária de metano ($m^3_{CH_4} dia^{-1}$);

B_0 - capacidade máxima teórica de produção de metano pela ARS ($m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$);

Sv - concentração de sólidos voláteis na ARS ($kg_{sv} m^{-3}$);

Q - volume total de ARS produzida por dia ($m^3 dia^{-1}$).

A concentração de sólidos voláteis foi obtida a partir da análise da ARS, seguindo a metodologia proposta por Matos (2016). Dessa forma as amostras de ARS foram homogeneizadas e subdivididas em quatro amostras de 40 ml, colocadas cada uma em um cadinho identificado, em seguida colocados em banha Maria a 90°C, até ser evaporado totalmente o líquido e restando somente a fração sólida, as amostras foram levadas à estufa a 100 °C, por cerca de uma hora. Após as amostras secas em estufa, as mesmas foram levadas à mufla, onde foram submetidas à temperatura de 600°C por um tempo de 10 minutos. Posteriormente os cadinhos foram pesados e realizados os cálculos necessários para a determinação dos sólidos voláteis.

3.5. Energia Elétrica Gerada Pelo Motogerador a Biogás

O cálculo da energia elétrica gerada a partir da produção do biogás foi determinada a partir da equação proposta por Carolina *et al.* (2012) (Equação 3):

(3)

$$Et = Q_{biogás} * PCI_{biogás}$$

Onde:

Et - Energia térmica disponível no biogás (kcal dia⁻¹);

Q_{biogás} - Vazão média do biogás medida (m³ dia⁻¹);

PCI_{biogás} - Poder calorífico inferior do biogás (kcal m⁻³).

Através da equação 3, considerando a composição de CH₄, CO₂ e H₂S, e estudos de Coelho *et al.* (2006) e Frare *et al.* (2009), onde indicam que o biogás apresenta uma faixa de 50-70% de metano, 25-45% de gás carbônico e outros gases como nitrogênio e ácido sulfúrico (H₂S), calculou-se a energia térmica disponível no CH₄, considera a vazão do metano, que se obtém multiplicando a vazão total do biogás pelo poder calorífico inferior do metano presente na tabela 3, Essas informações são combinadas na Equação 4 para determinar a quantidade de energia térmica gerada pelo biogás.

(4)

$$Et = Q_{biogás} * PCI_{CH4}$$

Onde:

t_{CH₄} - Teor de metano na composição do biogás;

PCI CH₄ - Poder calorífico inferior do metano (kcal/m³).

Tabela 3 - Poder calorífico inferior do metano.

Gás	Poder Calorífico (Kcal/Nm ³)
Biogás	5500
Gás de cozinha- GLP	25775
Gás natural	7600
Metano	8500

Fonte: Adaptado de Cribari (2004).

A potência elétrica do biogás foi estimada utilizando-se a Equação 5.

(5)

$$PE_{biogás} = \frac{Et * 4,1848 * n_{tec} * n_{gerador}}{86400}$$

Onde:

PE biogás - Potência elétrica do biogás (kW);

4,1848 - Fator de conversão de “kcal” para “kJ”;

n tec - Eficiência da tecnologia de conversão (turbina, Microturbina ou motor de combustão interna geralmente entre 30% e 40%);

n gerador - Rendimento do gerador, (geralmente entre 70% e 80%);

86400 - Fator de conversão de dias para segundos.

Após obtenção da potência elétrica estimada do biogás, realizou-se o cálculo da energia elétrica gerada multiplicando a potência elétrica pelo tempo de operação, conforme demonstrado por Lima *et al.* (2012), na Equação 6.

(6)

$$Ee = PE_{biogás} * T_{operação}$$

Onde:

PE_{biogás} - Potência elétrica do biogás (kW);

Ee - Energia elétrica gerada (kWh/dia);

T operação - Tempo de operação do motor (h/dia).

Ao utilizar essa equação, foi possível obter uma medida precisa da energia elétrica gerada, fornecendo informações valiosas para avaliar o desempenho do sistema de geração de biogás. Com base nesses dados, foi possível estimar a economia de energia elétrica.

3.6. Orçamento dos Principais Componentes Utilizados

O orçamento necessário para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado utilizando a internet e por meio de consulta aos fornecedores. Através do uso de ferramentas e recursos disponíveis na internet, foi possível obter cotações e estimativas de custos de forma rápida e precisa. Essa estratégia permitiu acessar uma ampla gama de fornecedores e comparar diferentes opções de preços e serviços sem a necessidade de deslocamento físico ou contato direto com cada empresa.

Os principais itens de maior valor no projeto, ou seja, com maior valor agregado, foram a manta ou geomembrana, o sistema de geração de energia e a escavação do solo para construção do biodigestor.

A manta ou geomembrana de PVC (policloreto de vinila) empregada neste trabalho é um material recorrente utilizado na construção de biodigestores para impermeabilização de suas paredes e fundo. Esse material apresenta propriedades como alta resistência mecânica, química e térmica, além de boa flexibilidade e durabilidade.

Em relação à flexibilidade, o PVC geralmente apresenta maior flexibilidade em comparação com o PEAD. O PVC é conhecido por ser mais maleável e ter maior capacidade de se adaptar a diferentes formas e curvaturas. Essa característica pode ser vantajosa ao revestir um gasômetro, que geralmente possui uma estrutura com curvas e formas específicas (COLDEBELLA *et al.*, 2008).

Após análise, optou-se por utilizar uma geomembrana de PEAD com espessura de 1,0 mm para revestir o fundo e as laterais do biodigestor, enquanto uma geomembrana de PVC com espessura de 1,20 mm foi selecionada para revestir o gasômetro. Essa escolha foi embasada em critérios como devido ao fundo e laterais estarem diretamente em contato com a ARS e as limpezas que devem ser realizadas há a necessidade de ser mais resistente, já a geomembrana para o gasômetro necessita de flexibilidade e resistência, considerando as propriedades específicas de cada material visou-se garantir a eficiência e a durabilidade do sistema de biodigestão.

A metragem das geomembranas para revestimento do fundo do biodigestor, assim como a empregada no gasômetro foram obtidas a partir do dimensionamento do biodigestor. O custo relativo à escavação pode se obter de acordo com as dimensões da base menor, base maior e inclinação do talude calculados no item anterior.

Para escavação da lagoa, de acordo com a tabela de Custo Horário “Sobratema” o custo por hora do maquinário do tipo Escavadeira Hidráulica (12 a 17 toneladas) para atividades de escavação é de R\$ 331,88 por hora. Esses valores foram estabelecidos com base em uma tabela atualizada, tendo como referência a Data-Base em Fevereiro de 2023. É importante destacar que esses custos incluem diversos aspectos, como a taxa de consumo de combustível, a depreciação do equipamento, a manutenção preventiva e corretiva, além dos custos operacionais relacionados à mão de obra e ao seguro. Essas informações fornecem uma estimativa precisa e confiável do custo horário do maquinário específico mencionado, utilizado em atividades de escavação. O maquinário será orçado para um dia de trabalho, com jornada de 8 horas.

O sistema de geração de energia por motogerador selecionado é uma tecnologia comum em projetos de biodigestores. A geração de energia será através de um motogerador, que envolve a combustão do biogás no interior de um motor de combustão interna (MCI), que gera

energia mecânica. Em seguida, a energia mecânica é convertida em energia elétrica por meio de um gerador. A seleção do motogerador a ser utilizado considerou a quantidade de biogás produzida pelo biodigestor e a demanda de energia elétrica do local conforme recomendação apresentada por Abreu *et al.* (2016).

3.7. Viabilidade Econômica do Projeto de Instalação do Biodigestor

Na análise da viabilidade econômica do biodigestor, foram utilizadas ferramentas e metodologias provenientes da matemática financeira, tais como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o Payback simples. Essas ferramentas possibilitam a avaliação da viabilidade de um investimento (MARQUEZAN *et al.*, 2006).

3.7.1. Valor Presente Líquido VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma das ferramentas utilizadas para avaliar a viabilidade econômica de um projeto. Ele representa a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros e o investimento inicial necessário para implementar o projeto, a fórmula do VPL será demonstrada na Equação 7.

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC}{(1+i)^j} - I \text{ Inicial} \quad (7)$$

Onde:

FC - Fluxo de caixa;

i - Taxa de desconto;

n - Número de períodos do fluxo;

I Inicia - Investimento inicial;

j - Período genérico.

Para uma tomada de decisão deve se atentar aos critérios de decisão do VPL, conforme recomendações de Assaf Neto *et al.* (2011).

- Sendo $VPL > 0$, o projeto irá gerar valores econômico.
- Sendo $VPL = 0$, o projeto não irá gerar valores econômico para o investidor.
- Sendo $VPL < 0$, projeto inviável, podendo reduzir valor econômico do investidor.

Para avaliar a viabilidade econômica de um projeto, o VPL deve ser maior do que zero. Se o VPL for menor do que zero, significa que o investimento não é viável, pois os fluxos de

caixa futuros não serão suficientes para recuperar o investimento inicial.

3.7.2. Taxa Mínima de Atratividade TMA

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) desempenha um papel fundamental na análise de investimentos. Essa taxa de juros representa o mínimo que o investidor busca obter ao alocar seus recursos ou o máximo que uma empresa está disposta a pagar ao buscar financiamento.

A TMA reflete a rentabilidade mínima esperada para o investimento em questão. Assim, a viabilidade do projeto requer que a Taxa Interna de Retorno seja superior à TMA, conforme destacado por (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

3.7.3. Taxa Interna de Retorno TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma importante ferramenta utilizada para avaliar a viabilidade econômica de um projeto. Ela representa a taxa de juros que torna o VPL igual a zero, ou seja, é a taxa que faz com que os fluxos de caixa futuros do projeto sejam iguais ao investimento inicial (HELFERT, 2000). Ao assumir que a taxa de desconto é equivalente à taxa de juros, os fluxos de caixa intermediários são reinvestidos na própria TIR calculada ao investimento (HOJI, 2006).

(8)

$$TIR = \sum_{k=0}^n \frac{E(CF_k)}{(1 + TIR)^{k+j}} = 0$$

Onde:

E - Valor esperado;

CF_k - Valor genérico do fluxo de caixa líquido no período k;

TIR - Taxa interna de retorno;

K - Período no instante K do fluxo de caixa;

j - Posição do vetor (início de período = 0; meio = 0,5; fim = 1).

n - Número de períodos do fluxo;

Para calcular o TIR, é necessário levar em consideração alguns parâmetros, como o investimento inicial, o fluxo de caixa projetado ao longo da vida útil do projeto e a taxa mínima de atratividade, que é a taxa de juros utilizada para descontar os fluxos de caixa futuros.

De acordo com Gitman (2010) e Brealey *et al* (2013), os critérios para decisão de aceitar ou rejeitar o projeto quando se utiliza a TIR, são: Se TIR for maior do que TMA, deve-se aceitar o projeto. Caso TIR seja menor do que a TMA, deve-se rejeitar o projeto.

3.7.4. Payback

O Payback é uma das ferramentas utilizadas para avaliar a viabilidade econômica de um projeto, medindo o tempo necessário para recuperar o investimento inicial (MOTTA & CALLÔBA, 2002).

O período de recuperação do capital consiste essencialmente em determinar o tempo necessário para que o somatório do fluxo de caixa seja igual ao investimento inicial (CASAROTTO FILHO *et al.*, 2007). O cálculo do Payback pode ser feito dividindo o investimento inicial total investido no projeto, pelo fluxo de caixa anual que é o valor dos fluxos de caixa gerados pelo projeto a cada ano, demonstrado na Equação 9.

(9)

$$Payback = \frac{I_{inicial}}{FC}$$

Onde:

I inicial - Investimento inicial é o valor total investido no projeto;

FC - Fluxo de caixa anual é o valor dos fluxos de caixa gerados pelo projeto a cada ano.

Para avaliar a viabilidade econômica de um projeto, é importante observar o tempo de retorno do investimento. O Payback é uma ferramenta útil para avaliar a rapidez com que um investimento pode ser recuperado, mas não deve ser utilizado como única ferramenta de análise de investimentos. Deste modo, neste trabalho o mesmo será empregado juntamente com outros indicadores como o VPL e o TIR (ASSAF NETO, 2014).

4. Resultados e Discussão

A seguir serão apresentados os resultados do volume de água residuária gerada na suinocultura, dimensões do biodigestor, volume de metano produzido pelo biodigestor, quantidade de energia elétrica possível de ser gerada e a viabilidade econômica de implementação do projeto.

4.1. Volume de ARS

As metodologias aplicadas para obtenção do volume de ARS, resultaram em uma pequena diferença. Conforme mencionado por Konzen (1980), a produção média diária de dejetos por unidade de suíno varia de acordo com as diferentes fases do sistema de criação.

Na metodologia proposta por Mito *et al.* (2018), que leva em consideração o consumo

de água por animal em cada fase, obteve-se um volume de 24,32 m³/dia de ARS. Dartora *et al.* (1998) afirmam que a quantidade total de dejetos produzidos por um suíno em uma determinada fase de desenvolvimento é influenciada por fatores como idade, tamanho, sexo, raça, além de fatores ambientais como temperatura e umidade, que estão diretamente relacionados à produção da ARS.

O volume obtido através da medição direta foi de 22,75 m³/dia, valor este que leva em consideração todo os parâmetros descritos por Oliveira Moreira (2007), no qual afirma que a produção de fezes, urina, água utilizada para limpeza e higiene, bem como as perdas de água pelos bebedouros, são fatores contribuintes para a produção e diluição dos dejetos. Mas, devemos ressaltar que o volume obtido de 22,75 m³/dia pode conter variações, pois a vazão no momento da medição não é constante durante todo o dia.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores de volume de ARS obtidas por medição direta e por determinação indireta através da metodologia empregada neste trabalho.

Tabela 4 - Volume de dejetos obtidos por diferentes metodologias.

	Medição Direta	Mito (2018)
Volume de ARS (m³/dia)	22,75	24,32

Sendo assim, para uma estimativa mais precisa e para o desenvolvimento de um plano eficiente de gestão de resíduos, optou-se por utilizar nos cálculos posteriores o valor de 22,75 m³/dia obtido através de medição direta. Essa estimativa é uma maneira de abordar a produção de dejetos com base na produção real dos suínos em sua respectiva fase de desenvolvimento.

4.2. Dimensionamento da Lagoa e Caracterização do Biodigestor

As dimensões mencionadas a seguir, correspondem a estimativas para a construção do biodigestor, levando em consideração a carga diária de dejetos. Esses parâmetros são essenciais para o desenvolvimento integral do projeto da estrutura, bem como para a estimativa do custo de instalação.

4.2.1. Dimensão da Lagoa Anaeróbia/Gasômetro

Por meio de avaliação na suinocultura, foi observado que a limpeza da lagoa anaeróbia existente no local, é realizada pelos funcionários e proprietário a cada 35 a 45 dias em média, deste modo a lagoa foi dimensionada para suportar um TRH de 45 dias. De acordo com Henn

(2005), a eficiência média de remoção de um biodigestor com TRH de 45 dias é de 92,4%, esse tempo é essencial para as bactérias degradarem a matéria orgânica presente na ARS.

Através do TRH e do volume de 22,75 m³ de ARS produzido no dia, o volume do biodigestor foi calculado para suportar uma carga de 1.023,75 m³. Considerando-se um adicional de aproximadamente 10% na carga total do biodigestor para garantir uma margem de segurança e suportar alguma variação que possa ocorrer, o volume do biodigestor passa a ser 1.126,12 m³. Na tabela 5 estão apresentadas todas as dimensões consideradas para a lagoa do biodigestor.

Tabela 5 - Resumo das características construtivas do Biodigestor.

Larg. Menor	Larg. Maior	Comp. Menor	Comp. Maior	Profundidade	Área Superficial	Inclinação	TRH
----- (m) -----					(m ²)	(θ)	(dias)
5	12,5	9,5	17	4,0	212,5	45°	45

As dimensões acima apresentadas correspondem a estimativas utilizadas no projeto do biodigestor, levando em consideração a carga diária de dejetos. Tais informações foram empregadas para estimativa do custo de instalação do biodigestor, conforme apresentado na Figura 7.

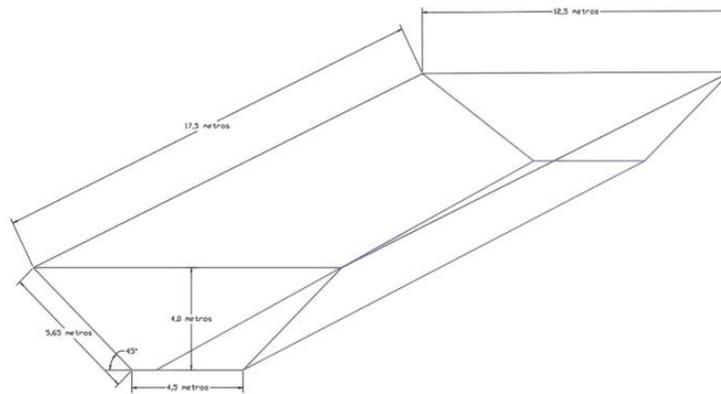


Figura 6 - Layout do biodigestor a ser construído.

As dimensões do gasômetro foram obtidas através do software AutoCAD, considerando uma altura ideal na qual consiga se manter inflada, garantindo um armazenamento adequado do biogás e um funcionamento eficiente do sistema. Na Tabela 6 e Figura 8 estão apresentadas as dimensões do gasômetro.

Tabela 6 - Resumo das dimensões construtivas do gasômetro.

Diâmetro	Raio	Altura
----- (m) -----		
17,67	8,83	2,60

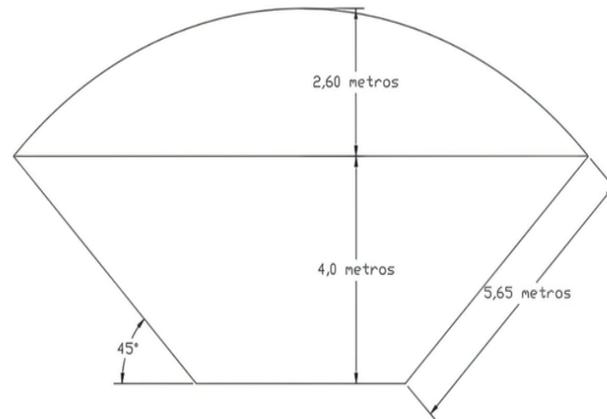


Figura 8 - Vista Frontal do Gasômetro.

4.2.2. Quantidade de Geomembrana para Implantação do Biodigestor

A área total de geomembrana necessária para a edificação do biodigestor é estimado em cerca de 730,0 m². Essa quantia é distribuída em duas parcelas distintas: 330,0 m² destinados à envoltória do gasômetro, empregando uma lona composta por PVC, e 400,0 m² para a estrutura da lagoa, onde o material utilizado é o PEAD. Além disso, para cada área de geomembrana foi aplicado um acréscimo de 10% com o intuito de contemplar a realização de arremates e sobreposições nas bordas.

Para Martins et al. (2020), na estimativa da quantidade de geomembrana para um reservatório é crucial levar em consideração não só o volume calculado, mas também as medidas necessárias para a fixação adequada do revestimento. Além disso, é importante considerar uma pequena margem de folga nas laterais. Essa folga é essencial devido às variações de temperatura às quais o sistema está exposto, já que os materiais plásticos tendem a expandir e contrair. Essa margem adicional também é necessária para prevenir possíveis rupturas na estrutura.

4.2.3. Orçamento dos Principais Componentes Utilizados

O valor orçado para a geomembrana foi subdividido em duas partes, devido a espessura e o material da composição da geomembrana serem diferentes, como demonstra a Tabela 7.

Também foi acrescido o valor da entrega pela empresa responsável até o local do empreendimento, totalizando um custo de R\$ 31.626,70.

Tabela 7 - Orçamento da geomembrana

	Área (m ²)	Material	Espessura (mm)	Valor (R\$/m ²)	Frete (R\$)	Total
Envoltório do gasômetro	330,0	PVC	1,20	47,89	823,0	15.803,7
Estrutura da lagoa	400,0	PEAD	1,0	37,50		15.000,0
Total	730,0	-	-	-		31.626,7

Para a escavação do solo, considerou-se um maquinário com capacidade da caçamba de 1,20 m³, sendo estimado 8 horas de trabalho para remoção do volume necessário de 1.126,12 m³, totalizando um custo de R\$ 2.655,04, demonstrado na Tabela 8. Para Cardoso et al. (2002), a produtividade horária de uma escavadeira equipada com uma colher de 1,0 m³ é capaz de realizar a escavação de, aproximadamente, 160 m³ de solo por hora. No entanto, esse valor é reduzido em quase 50% quando se trata de argilas úmidas altamente coesivas, alcançando cerca de 90 m³.

Tabela 8 - valor orçado para escavação do solo.

	Volume de solo (m ³)	Tempo necessário (h)	Valor R\$/h	Total
Escavação	1.236,0	8:00	331,88	2.655,04
Total	-	-	-	2.655,04

O orçamento para os motogeradores, Tabela 9, foi realizado considerando duas potências distintas, a fim de comparação na viabilidade econômica. O motogerador I, com potência de 250 kVA aberto, foi orçado em R\$ 266.708,00, enquanto o motogerador II, com potência de 500 kVA carenado, foi orçado em R\$ 507.127,00. A escolha da potência necessária do motogerador foi baseada na produção de biogás, tendo em vista a produção máxima e a produção mínima de biogás por dia.

Tabela 9 - Orçamento para os motogeradores.

	Potência (kVA)	Valor (R\$)
Motogerador I	250	266.708,00
Motogerador II	500	507.127,00

4.3. Estimativas de Produção de Biogás de Acordo com Diferentes Metodologias

A estimativa e quantificação da produção de biogás do empreendimento foram obtidas a partir das quatro metodologias citadas anteriormente, IPCC (2006), EU-Agro Biogás (2015), CIBiogás-ER (2015) e Chen (1983). Os valores encontrados estão descritos na Figura 8.

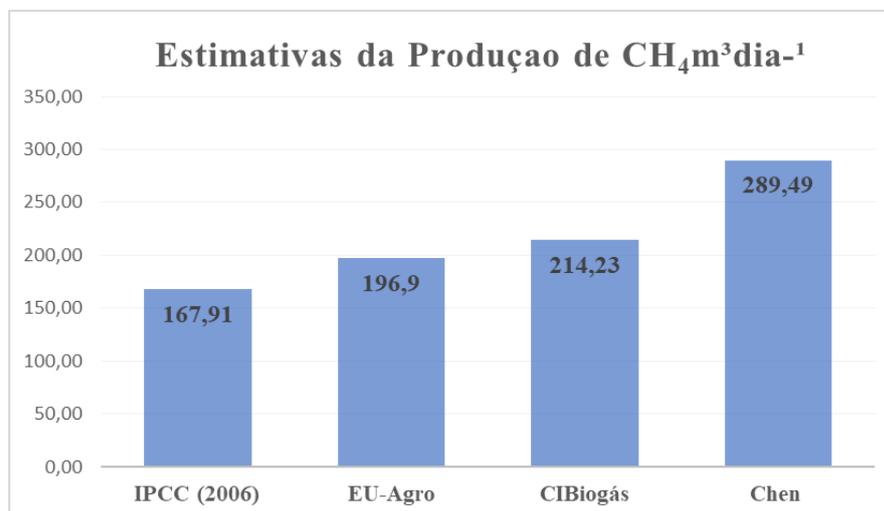


Figura 8 - Estimativas da produção de biogás de acordo com cada metodologia.

Os valores distintos encontrados de produção de biogás indicam a faixa de variação da quantidade de metano produzida diariamente. O valor mínimo e máximo na Figura 8, IPCC (2006) de 167,91 m³ de CH₄/dia e Chen (1983) com o valor de 289,49 m³ de CH₄/dia estão diretamente relacionados à capacidade de produção de biogás (B₀) utilizado em cada metodologia, ressaltando nessa variação da quantidade de metano produzida.

Para a metodologia de IPCC (2006), o valor de B₀ utilizado foi o mínimo, sendo de 0,29 m³ CH₄ kgsv⁻¹, já na metodologia de Chen (1983), foi utilizado o valor máximo de produção de biogás de 0,50 m³ CH₄ kgsv⁻¹, isso justifica os resultados encontrado na Figura 8. Para a produção de biogás encontrada a partir de EU-Agro de 196,9 m³ de CH₄/dia e CIBiogás 214,23 m³ de CH₄/dia se fez a utilização de valores intermediários para B₀, sendo de 0,34 m³ CH₄ kgsv⁻¹ e 0,37 m³ CH₄ kgsv⁻¹, respectivamente.

De acordo com Mito *et al.* (2018), a capacidade de produção de biogás B₀ compreende a máxima produção de metano possível a partir de determinada biomassa. Este parâmetro é obtido através da análise laboratorial da biomassa, porém há na literatura alguns autores como os destacados neste trabalho, que delimitam valores para a capacidade máxima de produção de biogás.

Estudos realizados por Lucas Jr. (1994), Oliveira (2004) e Milanez *et al.* (2021), constataam que os sólidos voláteis também desempenham um papel fundamental na produção

de biogás. Esses autores destacam que quanto maior a quantidade de sólidos voláteis presentes na alimentação do biodigestor, maior será a sua capacidade de gerar biogás. É importante destacar que cada metodologia considera variáveis e parâmetros específicos, podendo levar a resultados distintos. Neste trabalho foi utilizado como valor padrão a concentração mínima de sólidos voláteis na ARS, a fim de se ter uma margem de segurança na produção de biogás.

Para Gaspar (2003), o potencial dos dejetos animais, em relação à produção de biogás, pode variar devido a diversos fatores que influenciam na degradação dos dejetos pelas bactérias. Esses fatores incluem, por exemplo, a temperatura, o pH, a relação carbono/nitrogênio, a presença ou ausência de oxigênio, a quantidade de bactérias multiplicada pelo volume de biomassa, a presença de substâncias tóxicas às bactérias e a quantidade adequada de água.

4.4. Potencial Elétrico Gerado Pela Produção do Biogás no Biodigestor

Para título de comparação, foram estimados os valores mínimos e máximos encontrados anteriormente da produção de biogás para se calcular a potência elétrica, sendo esses valores apresentados nas Tabelas 10 e 11. **Tabela 10** - Valores mínimos calculados através dos resultados da metodologia de IPCC (2006).

Energia térmica do CH ₄ (Kcal/dia)	Potência Elétrica (kW)	Energia Elétrica gerada (kWh/dia)	Potência do Motogerador (kVA)	Valor economizado (R\$/ano)
1.427.204,19	18,15	181,46	226,82	44.087,85

Tabela 11 - Valores máximos calculados através dos resultados da metodologia de Chen (1983).

Energia térmica do CH ₄ (Kcal/dia)	Potência Elétrica (kW)	Energia Elétrica gerada (kWh/dia)	Potência do Motogerador (kVA)	Valor economizado (R\$/ano)
2.460.696,88	31,29	312,86	391,07	76.013,54

Considerando a energia térmica encontrada na faixa de 1.427.204,19 kcal/dia a 2.460.696,88 kcal/dia, estimou-se a potência elétrica e a energia elétrica que pode ser gerada a partir do biogás. Uma vez obtida a potência elétrica estimada do biogás, encontra-se a energia elétrica gerada de 181,46 kWh/dia através da metodologia descrita por IPCC (2006) e 312,86 kWh/dia na metodologia de Chen (1983). Esse cálculo foi realizado multiplicando a potência elétrica pelo tempo de operação do motogerador, sendo utilizado o tempo de operação do conjunto de 10 horas por dia, operando em média, das 7h30min às 17h30min. De acordo com Karlsson *et al.* (2014), a temperatura ambiente diurna desempenha um papel crucial na digestão

anaeróbica, implicando diretamente na produção de biogás.

A energia elétrica gerada representa a quantidade total de energia elétrica produzida pelo sistema a partir do biogás. Segundo Farias Neto *et al.* (2020), a quantidade de energia elétrica gerada por um biodigestor pode variar de acordo com as características do resíduo utilizado na produção do biogás, como teor de matéria seca e teor de sólidos voláteis. Além disso, a eficiência do processo de conversão de energia e do conjunto motogerador, também pode influenciar na quantidade de energia elétrica gerada.

Considerando o máximo consumo mensal de energia do empreendimento, os valores encontrados de geração de energia elétrica, variando de 181,46 kWh/dia a 312,86 kWh/dia, excedem as expectativas, evidenciando uma autossuficiência energética da propriedade. O biodigestor além de deixar a propriedade ambientalmente correta, ainda propicia a produção de energia elétrica de forma sustentável.

Estudos realizados por Esperancini *et al.* (2007), apontam benefícios decorrentes do uso do biogás produzido em biodigestor para as atividades produtivas, em substituição a outras fontes energéticas. Estudos vêm sendo desenvolvidos buscando verificar a implementação de fontes de energia como o uso de biodigestores (ESPERANCINI *et al.*, 2007; QUADROS, 2015).

Com base nas potências necessárias do motogerador, 226,82 kVA e 391,07 kVA, procedeu-se a uma cotação de preços visando o cálculo da viabilidade econômica do projeto, conforme apresentado a seguir.

4.5. Viabilidade Econômica do Projeto de Instalação do Biodigestor

A projeção do fluxo de caixa do projeto foi estimada considerando um período de 12 anos, esse período considera o tempo necessário para pagamento do financiamento do projeto, e também à vida útil média de um motogerador movido a biogás. A vida útil de um motogerador pode variar dependendo de vários fatores, como a qualidade do equipamento, manutenção adequada, as condições de operação e o ambiente em que está instalado.

Na Tabela 12, estão apresentados os dados referentes ao rendimento anual e ao valor do investimento associado às duas opções de motogerador. Esses valores estão diretamente relacionados com a produção de biogás, podendo observar que a partir do sexto ano já se paga o valor total do investimento.

Tabela 12 - Fluxo de caixa para cada ano.

Motogerador I (250 KVA)			Motogerador II (500 KVA)		
Ano	Fluxo (R\$)	Saldo (R\$)	Ano	Fluxo (R\$)	Saldo (R\$)
0	-R\$ 300.989,74	-R\$ 300.989,74	0	-R\$ 541.408,74	-R\$ 541.408,74
1	R\$ 44.087,85	-R\$ 256.901,89	1	R\$ 76.013,54	-R\$ 465.395,20
2	R\$ 44.087,85	-R\$ 212.814,04	2	R\$ 76.013,54	-R\$ 389.381,66
3	R\$ 44.087,85	-R\$ 168.726,19	3	R\$ 76.013,54	-R\$ 313.368,12
4	R\$ 44.087,85	-R\$ 124.638,34	4	R\$ 76.013,54	-R\$ 237.354,58
5	R\$ 44.087,85	-R\$ 80.550,49	5	R\$ 76.013,54	-R\$ 161.341,04
6	R\$ 44.087,85	-R\$ 36.462,64	6	R\$ 76.013,54	-R\$ 85.327,50
7	R\$ 44.087,85	R\$ 7.625,21	7	R\$ 76.013,54	-R\$ 9.313,96
8	R\$ 44.087,85	R\$ 51.713,06	8	R\$ 76.013,54	R\$ 66.699,58
9	R\$ 44.087,85	R\$ 95.800,91	9	R\$ 76.013,54	R\$ 142.713,12
10	R\$ 44.087,85	R\$ 139.888,76	10	R\$ 76.013,54	R\$ 218.726,66
11	R\$ 44.087,85	R\$ 183.976,61	11	R\$ 76.013,54	R\$ 294.740,20
12	R\$ 44.087,85	R\$ 228.064,46	12	R\$ 76.013,54	R\$ 370.753,74

Através da obtenção do valor de investimento do projeto e fluxo de renda gerada pela conversão do biogás em energia elétrica, como demonstrado nas Tabelas 12, calculou-se a viabilidade financeira. Vale ressaltar que a comparação dos motogeradores se deve pela produção de biogás encontrada na metodologia de IPCC (2006) e Chen (1983), visando a uma faixa de segurança entre o mínimo e máximo de produção de biogás, para o investimento.

Tabela 13 - Resultados da viabilidade econômica considerando a produção mínima de biogás.

	Total investido (R\$)	VPL (R\$)	TIR (%)	IL Índice Lucratividade	Payback simples (anos)	TMA (%)
Motogerador 250 (kva)	300.989,74	49.186,22	9,96	1,16	6,83	7,0

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 13, considerando o investimento inicial

e benefícios anuais gerados através da energia elétrica, os indicadores de viabilidade econômica apresentam resultados economicamente viáveis de investimento. Junges *et al.* (2009), através de estudo em duas propriedades sobre a análise econômico-financeira da implantação de diferentes modelos de biodigestores, apontaram que a implantação de biodigestores para uma propriedade que produz grande volume de ARS, traz a possibilidade de obtenção de maior economia no que se relaciona a produção de biogás e geração de energia elétrica.

O VPL encontrado para o período determinado de doze anos de vida útil foi de R\$ 49.186,22, com um índice de lucratividade de quase 16%, no qual se mostrou positivo indicando a rentabilidade do projeto no período proposto. Para Vanolli (2010) quando o valor do VPL for maior que zero, isso significa que o projeto proposto terá um retorno mínimo exigido, ou seja, o retorno será maior do que o custo de seu capital.

A TMA considerada foi de 7%. A TIR encontrada foi de 9,96%. Projetos de investimentos que possuem a TIR maior que a TMA, são considerados viáveis (CERVI *et al.*, 2010). O tempo de retorno do investimento (payback calculado), foi de 6 anos e 7 meses. Deste modo, o projeto considerando a produção mínima de biogás se mostra viável para investimento. Quanto maior o payback, maior o tempo necessário para que o valor do investimento seja pago, desta forma, o risco envolvido devido às incertezas futuras serão maiores.

Tabela 14 - Resultados da viabilidade econômica considerando produção máxima de biogás.

	Total investido (R\$)	VPL (R\$)	TIR (%)	IL Índice Lucratividade	Payback simples (anos)	TMA (%)
Motogerador 500 (kva)	541.408,74	62.342,96	9,11	1,12	7,12	7,0

Para o segundo cenário Tabela 14, com a produção máxima de biogás e um investimento de R\$ 541.408,74, o Valor Presente Líquido encontrado para o período de investimento foi de R\$ 62.342,96 resultando em um índice de lucratividade de 12 %. O critério de aceitação ou não de um determinado projeto consiste em que para que seja aceito, o VPL deve ser positivo e maior que zero (GROPPELLI *et al.*, 2010).

A Taxa Mínima de Atratividade também foi considerada de 7,0%, obtendo-se uma Taxa Interna de Retorno de 9,11%. Os projetos de investimento que apresentam uma Taxa Interna de Retorno superior à taxa de atratividade mínima estabelecida são considerados viáveis do ponto de vista financeiro (CASAROTTO FILHO *et al.*, 2007).

O tempo de retorno do investimento (Payback calculado) foi de 7 anos e 1 meses,

considerando a produção máxima de biogás, se mostrando viável para o investimento, devido ao curto período de payback. Gitman (2010) afirma que quanto menor o período de payback, menor a exposição de risco.

Ao analisar as duas opções de investimento, visando a capacidade máxima encontrada de produção de biogás e a produção mínima, verifica-se que todos os critérios apresentam resultados positivos, indicando que o projeto será rentável para a propriedade.

Podemos concluir que a partir das informações coletadas, pode-se constatar que a suinocultura produz 22,75 m³/dia de ARS, o dimensionamento do biodigestor foi direcionado para suportar esse volume de ARS. As dimensões calculadas para o biodigestor e gasômetro foram de: Largura maior 12,5 m x comprimento maior 17 m; Largura menor 5 m x comprimento menor 9,5 m; profundidade de 4 m; inclinação de 45° com uma área superficial de 212,5 m² e capacidade de volume de 1.126,12 m³. As dimensões do gasômetro foram de; diâmetro de 17,67 m; Raio 8,83 m e altura de 2,60 m.

O volume de metano produzido pela ARS no biodigestor de acordo com as metodologias empregadas foram de, IPCC (2006) de 167,91 m³ de CH₄/dia; EU-Agro de 196,9 m³ de CH₄/dia; CBiogás 214,23 m³ de CH₄/dia; Chen (1983) 289,49 m³ de CH₄/dia. Através do volume mínimo e máximo encontrado através das metodologias aplicadas, foram estimado a quantidade de energia elétrica possível de ser gerada com o auxílio do motogerador, os resultados de mínima geração foram de 181,46 (kWh/dia) e máxima geração de energia elétrica 312,86 (kWh/dia).

Do ponto de vista econômico, a análise de viabilidade financeira evidenciou que o projeto é rentável, com um tempo de retorno do investimento considerado satisfatório, mesmo quando considerado a produção mínima de metano. Para a produção mínima de metano os indicadores resultaram em; VPL (R\$) 49.186,22; TIR (%) 9,96; Payback (anos) 6,83. E para produção máxima de metano os indicadores resultaram em; VPL (R\$) 62.342,96; TIR (%) 9,11; Payback (anos) 7,12.

Considerando o consumo de energia elétrica mensal máxima no ano pela propriedade de 903 kWh, e a produção mínima de energia mensal obtida através do motogerador de 5.443,8 kWh, pode se chegar na conclusão de que a suinocultura avaliada possui uma considerável capacidade de autossuficiência energética, podendo não apenas suprir suas próprias necessidades, mas também gerar excedentes. Isso resultaria em lucros adicionais para o produtor, além de atender à demanda energética da propriedade.

A implementação do biodigestor na propriedade rural representa uma fonte alternativa

viável para a geração de energia elétrica. Sob a perspectiva socioambiental, a utilização do biogás como combustível, reduz as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, além de proporcionar uma destinação adequada aos resíduos animais, e contribuindo diretamente para a redução dos GEE.

5. Conclusão

A partir das informações coletadas, pode-se constatar que a suinocultura produz 22,75 m³/dia de ARS, com o volume do biodigestor de 1.126,12 m³;

A Produção mínima de metano é de 167,91 m³/dia, conforme metodologia do IPCC (2006), com uma geração de energia elétrica de 181,46 kWh/dia;

A Produção máxima de metano é de 289,49 m³/dia, conforme metodologia de Chen (1983), com uma geração de energia elétrica de 312,86 kWh/dia;

Do ponto de vista econômico, a análise de viabilidade financeira evidenciou que o projeto é rentável, apresentando todos os indicadores positivos, tanto para a mínima produção quanto para a máxima produção de metano;

Considerando o consumo máxima de energia elétrica da propriedade de 903 kWh, e a produção mínima de energia mensal obtida através do motogerador, pode-se concluir que a suinocultura avaliada tem potencial para a autossuficiência energética da propriedade.

6. Recomendações para Trabalhos Futuros

Considerando o presente trabalho, recomenda-se para trabalhos futuros:

- ✓ Monitoramento semanal da produção de água residuária na propriedade no período de um ano;
- ✓ Análises mensais de sólidos voláteis na ARS;
- ✓ Obtenção da capacidade real de produção de biogás e metano da ARS, considerando as condições climáticas locais.

7. Referências Bibliográficas

ABPA - **Associação Brasileira de Proteína Animal**. *Relatório anual 2023*. < Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf> >. Acesso em: 30 MAI. 2023.

ABREU, J. L. S. **Viabilidade técnica e econômica de usina de biogás em uma agroindústria do sertão paraibano**. 2017. 81 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2017.

ALVES, R. G. C. de M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios – operação e avaliação de diversos reatores em escala real**. Tese (doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, 172 p. UFSC, Florianópolis, 2007.

BARROS, E. C.; NICOLOSO, R. da S.; OLIVEIRA, P. A. V. de; CORREA, J. C. **Potencial agrônomo dos dejetos de suínos**. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**. 52 p. 21. Cartilha. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. – Brasília: MAPA, 2016.

BRASIL, ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília, DF: ANEEL, 2012.

BRASIL, ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Brasília, DF: ANEEL, 2015.

ASSAF NETO, Alexandre. LIMA, Fabiano G. **Curso de Administração Financeira**. 2ª Edição. São Paulo: Atlas, 2011.

ASSAF NETO, A. (2014). **Finanças Corporativas e Valor** / Alexandre Assaf Neto. – 7. ed. – São Paulo : Atlas, 2014.

BARROS T. Delgrossi. Agroenergia, **EMBRAPA**.2021 < Disponível em:

<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-ecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas> > Acesso em : 12 JAN 2023

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. **Princípios de Finanças Corporativas**. 10. Ed. Porto Alegre, 2013.

CARDOSO. F. , SHIMIZU. J. Y. SERVIÇOS DE ESCAVAÇÃO: **Equipamentos e aspectos executivos**. Escola Politécnica da Universidade de SÃO PAULO Departamento de Engenharia de Construção Civil PCC - 2435: Tecnologia da Construção de Edifícios I. São Paulo. 2002.

CÁSSIO V. SOUZA, ALESSANDRO T. CAMPOS, OSMAR C. BUENO et al. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.547-557, out./dez. 2009.

CASAROTTO FILHO. N, KOPITTKE. B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2007. 468 p.

CAROLINA, A.G, Fernanda, C.P. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator uasb da ETE-UFES**. Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. VITÓRIA 2012.

Câmara de Comércio Internacional (ICC) (2020). **ICC Carbon Market Report 2020**. < Disponível em: <https://cdn.iccwbo.org/content/uploads/sites/3/2020/09/ICC-Carbon-Market-Report-2020.pdf> > Acesso em : 18 FEV 2023

CEBDS. Nota Técnica: **Webinar sobre o marco regulatório do mercado de carbono no Brasil**. 2021. <Disponível em: <https://cebds.org/wp-content/uploads/2021/08/cebds.org-mercado-de-carbono-marco-regulatorio-mercado-carbono-marco-regulatorio-sem-olhos.pdf> > Acesso em : 18 FEV 2023

CIBIOGÁS-ER - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - BIOGÁS. **Manual de Equações e Metodologias do Simulador**. Plataforma de Informações para Energias Renováveis. Foz do Iguaçu: CIBiogás-ER, 2009.

CERVI, R. G., Esperancini, M. S., & Bueno, O. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Eng. Agrícola**, 831-844,

2010, Jaboticabal

COELHO, S. T., VELAZQUEZ, S. M. S. G., SILVA, O. C. da et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 6., 2006, Campinas.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 176 p. 2006.

CRUZ, A.; WANDER, A.; SOUSA, A. **Viabilidade econômica do uso do biodigestor na suinocultura**. In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural–SOBER. Anais. Londrina. 2007.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; FERRI, K. M. K. **Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Através de Um Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, 349p., 2008.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2006.

COLATTO, L.; LANGER, M. **Biodigestor–resíduo sólido pecuário para produção de energia**. Unoesc & Ciência ACET, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

CRIBARI, B. S. **Secagem térmica do Lodo de Esgoto Gerado em uma estação de tratamento do tipo UASB + Biofiltro Aerados Submersos**. 2004 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

DALMAZO, G. S.; BAZI, S. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Biodigestores. in Claudio Rocha de Miranda (org). **Dia de Campo: suinocultura e meio ambiente: termo de ajuste de condutas da suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de Dejetos de Suínos. Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, n. 11, p. 32, mar. 1998. (Boletim Informativo).

EMBRAPA SUÍNOS E AVES - Estatísticas - **Portal EMBRAPA 2022**. < Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/cias/estatisticas> > Acesso em: 30 ABR. 2023.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 110-118, abr. 2007.

FARIAS NETO, AL et al. Viabilidade técnica e econômica da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, pág. 68-74, 2020.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e biogás da suinocultura**. 2012. 211f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

FRANÇA JUNIOR, ANTONIO TAVARES, **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto** / Antonio Tavares de França Junior. - Ilha Solteira, 2008. 148 f.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, Junho 2009.

GALINKIN, Maurício (Ed.); BLEY JR., Cícero et al. **Agroenergia da Biomassa Residual: Perspectivas Energéticas, Socioeconômicas e Ambientais**. 2ª ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, 2009.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de Biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo** - Pr. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

GOMES. T, RAIHER. A 2013. Viabilidade econômica da produção de biogás de dejetos suínos: um estudo de caso. *Economic feasibility of the treatment of swine manure in digesters: a case study*. **Rev. Ciênc. Admin.**, Fortaleza, v. 19, n. 2, p. 776-815, jul./dez. 2013

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 12º. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GROPPELLI, A. A; NIKBAKHT, Ehsan. **Administração Financeira**. 3 Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

HELFERT, Erich A. **Técnicas de análise financeira**. Porto alegre: Bookman, 2000

HOJI, Masakazu. **Administração Financeira: uma abordagem prática**. 5ª ed. São Paulo: ATLAS, 2006. 525.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 157 p 2005.

IBGE 2022. **Agencia IBGE Notícias**, < Disponível em:
<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/34818-abate-de-suinos-no-2-trimestre-de-2022-e-o-maior-desde-1997> >
Acesso em: 30 ABR. 2023.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: **Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 2006. 87p.

JANDREY, D. B. **Agroenergia e Agricultura Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.9, n.1, p. 82-89, 2010.

JUNIOR, José. Análise da Potencialidade de Benefícios pelos Projetos MDL. **Revista Brasileira de Gestão e Negócios**, São Paulo, v. 17, n. 56, p. 1149-1165, abr./jun. 2015.

JUNGES, D. M.; KLEINSCHMITT, S.C.; SHIKIDA, P.F.A., SILVA, J.R da. Análise econômico- financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). **Revista de Economia**, Curitiba, v.35, n.1, p.7-30, jan-abr. 2009.

KARLSSON, T. *et al.* **Manual básico de biogás**. 1. ed. Lajeado: Editoras Univates, v. 1, 2014.

KONZEN, E. A. **Avaliação Quantitativa e Qualitativa dos Dejetos de Suínos em Crescimento e Terminação, Manejados em Forma Líquida**. 1980. 56 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1980.

KUNZ, A.; MIGUEL, W.C.; MATEI, R.M.; STEINMETZ, R.L.R. Eficiência de um biodigestor na estabilização de dejetos de suínos durante os meses de inverno no oeste de Santa Catarina. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande – MS, 2005. 4p.

KUNZ, A. Embrapa - Curso: Energias renováveis e processos de biodigestão. 2017. Concórdia: **Embrapa**.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Recomendações para uso de esterqueiras para armazenagem de dejetos suínos. Concórdia: **Embrapa**, 2004.

KUNZ, A, et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. 1ª edição, Concórdia: **Sbera: Embrapa Suínos e Aves**, 2019. 209 p.

LIMA, H. Q. de. **Biodigestor: modelos e configurações**. 2021. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biodigestor-modelos-e-configuracoes>.

LIMA A. C. G; PASSAMANI F. C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES**. 106 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo. VITÓRIA 2012.

LOCH, Patrícia; DESTEFANI, Renzo Gianni. **Viabilidade Financeira para Implantação do Sistema de Biodigestores na Cidade de Villa Ocampo Província de Santa Fé – Argentina**. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 4, n. 2, p. 171-190, 2019.

LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MATOS, C. F **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção**. 2016. 66 f. Dissertação Mestrado (Mestre em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de tecnologia programa de pós-graduação em engenharia agrícola e ambiental, Seropédica, RJ 2016.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. 1986. São Paulo: Ed. Nobel, 1986. 120 p.

MARIANI, L. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil**. 2018. 144f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018.

Ministério da Economia (2022). DECRETO Nº 11.075, DE 19 DE MAIO DE 2022. <Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.075-de-19-de-maio-de-2022-401425370>. > Acesso em: 25 MAI 2023.

MILANEZ, A. Y. et al. Biogás: Evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 47, p. 177-216, 2021.

MITO *et al.* Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Documentos Embrapa nº 196. Concórdia, **Embrapa Suínos e Aves**, 2018.

MOTTA, R. R, CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA., 1993. 188 p. (EMBRAPA CNPSA. Documento, 27).

OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas, Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2004. 109p.

OLIVEIRA MOREIRA, R. **Biosistemas Integrados na Suinocultura**. Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR): Dossiê Técnico, 2007. 62 p.

OLIVEIRA, M. T, PAGNUSSAT, A. **Estudo de viabilidade econômico-financeira do plantio de eucalipto pelo sistema de silvipastoril: Estudo de caso no Sítio Santa Luzia em Juína - MT**. Faculdade do Vale do Juruena. Juína, p. 25. 2019. (17).

PEREIRA, B.D.; MAIA, J.C.S.; CAMILOT, R. Eficiência técnica na suinocultura: efeito dos gastos com o meio ambiente e da renúncia fiscal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.200-204, 2008.

PERDOMO, C. C. Sugestões para manejo, tratamento e utilização de dejetos de suínos. Instrução Técnica para o Produtor. **EMBRAPA – CNPSA**. Concórdia – SC, 1999.

QUADROS, D. G. et al. Análise Econômica Do Biodigestor Para Aproveitamento Dos Dejetos Da Caprinocultura Na Agricultura Familiar Nordestina. **Energia na Agricultura, Botucatu**, vol. 30, n.1, p.01-10 , janeiro-março, 2015.

RITTER, C.M.; Santos, F. R.; Curti, S. M.. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Revista Tópos**, v. 7, n. 1, p. 32-40, 2013.

SANTOS, T.M.B. LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.24, n.1, p.25-36, 2004.

SERAFIM, G.B.; FILHO, L.P. G. Estudo sobre o reaproveitamento dos dejetos suínos na Bacia do Rio Sangão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n. Edição Especial, p. 151-174, out. 2012

SOBRATEMA, Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração. Tabela de custo horário. (Disponível em : <https://sobratema.org.br/custohorario/tabela>) Acesso em: MAI 2023.

T. FILHO, G.L.; FERREIRA, E.F. Agroenergia: Fundamentos sobre o uso da energia no meio rural. In: **Encontro de Energia no Meio Rural**, 4, 2004, Campinas. Anais... Campinas: Unicamp, 2004

APÊNDICE A – Motogerador 250 Kva

Principais Características do produto: Grupo Gerador Diesel, 250 kVA, Stand By , 220 V, fabricação CATERPILLAR, modelo P249-5, aberto para sala, equipado com motor Perkins e alterandor Leroy Somer, controlador DEEP SEA 4520, manual. R\$ 266.708,00 ou 10x de R\$ 30.921,76 sem juros.



Disponível em: < <https://www.supercampo.com/grupo-gerador-diesel-250-kva-220-v-aberto/p> >.

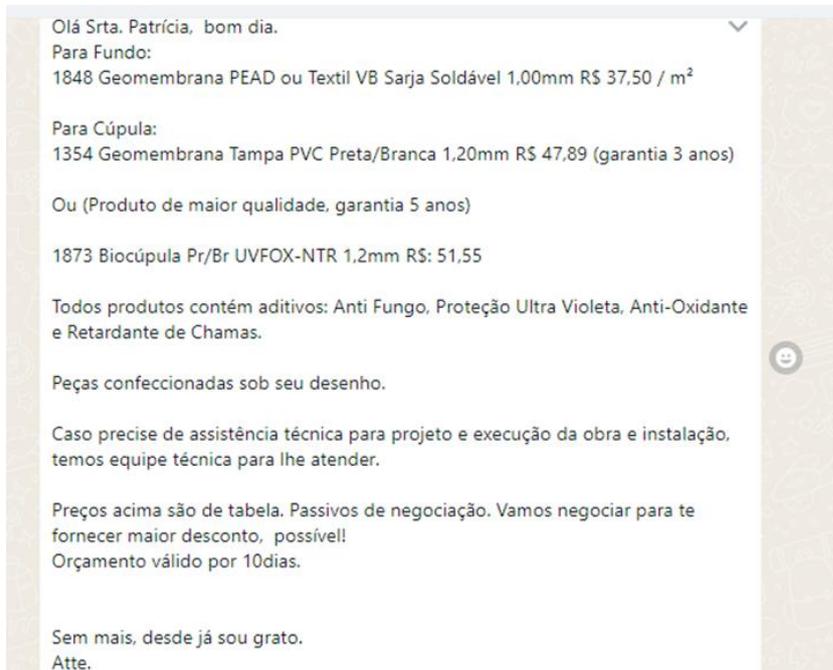
APÊNDICE B – Motogerador 500 Kva

Principais Características do produto: Grupo Gerador Diesel, 500 kVA, Stand By , 220 V, fabricação CATERPILLAR, modelo P501-3, carenado, equipado com motor Perkins e alterador Leroy Somer, controlador DEEP SEA 4520, manual. Por R\$ 507.127,00 ou 10x de R\$ 58.795,61 sem juros.



Disponível em: < <https://www.supercampo.com/grupo-gerador-diesel-500-kva-220-v-aberto-1/p?idsku=10093115&srsrtid=AR57-fCisiOsIEHc1CeJhdNGj-R4DWqY2W1XSgdOvMMnMWVXvBO-C3r4uo4> >.

APÊNDICE C – Valor da Geomembrana



Os valores foram obtidos diretamente com representante da empresa “Plásticos Zito”.

Disponível em:< <https://www.plasticoszito.com.br/index.html> >.

