

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
DENILTON DA CONCEIÇÃO FRITZ JUNIOR

**ESTUDO DE CASO: VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE
BIODIGESTOR NO INSTITUTO JOÃO XXIII NA CIDADE DE PONTA
GROSSA/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA
2015

DENILTON DA CONCEIÇÃO FRITZ JUNIOR

**ESTUDO DE CASO: VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE
BIODIGESTOR NO INSTITUTO JOÃO XXIII NA CIDADE DE PONTA
GROSSA/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior em Engenharia Química – DAENQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli.**

Co-orientadores: **Prof. Dr. Pedro Paulo de Andrade Junior.**

Prof. Msc. João Felema.

PONTA GROSSA
2015



TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo de Caso: Viabilidade de Implantação de
Biodigestor no Instituto João XXIII na Cidade de Ponta Grossa/PR

por

Denilton da Conceição Fritz Junior

Monografia apresentada no dia 10 de novembro de 2015 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof^a. Dr^a. Érica Roberta Lovo da Rocha Watanabe
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Giane Gonçalves Lenzi
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)
Orientador

Prof^a. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso -

Ao enigma do Universo, que nos permite Viver, Amar e saborear as experiências de cada dia.

Aos meus pais, Eliane e Denilton, que me apoiam em todas as circunstâncias na Vida.

À minha namorada Michelle, que me trouxe certezas mesmo em tempos tão contraditórios.

AGRADECIMENTOS

A realização do trabalho de conclusão da curso, me permitiu enxergar uma realidade imensa acerca da temática bioenergética e ainda me proporcionou uma visão sistêmica do meio em que estamos inseridos, influenciando diretamente nos meus caminhos profissionais futuros. As dificuldades impostas e apresentadas no decorrer de toda a trajetória de realização deste trabalho, foram suplantadas devido as pessoas que estiveram me apoiando durante todos os momentos.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli por acreditar na proposta de pensar soluções técnicas pautadas no desenvolvimento socioambiental. Pelo conhecimento compartilhado, pelas constantes palavras de incentivo e apoio nos diversos momentos de construção do presente trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Pedro Paulo de Andrade Junior pelo aceite em colaborar para o desenvolvimento deste trabalho, pelas orientações e parceria mesmo que a distância, dadas as atuais condições de mudança de localidade.

Ao meu co-orientador Prof. Msc. João Felema, por acreditar na proposta estando a poucos meses de conclusão e ainda oferecer instruções valiosas de adequação e estruturação do trabalho.

Aos grandes amigos Prof. Dr. César Arthur Martins Chornobai e Prof. Dr. Ciro Mauricio Zimmermann pelo privilégio de conhecê-los, pela confiança em ceder os espaços de laboratórios e equipamentos para realização das análises e pelo constante auxílio em todas as solicitações requeridas.

À Prof^a. Dr^a. Érica Roberta Lovo da Rocha Watanabe e à Prof^a. Dr^a. Giane Gonçalves Lenzi, pelo aceite de participação como banca nos dois momentos de desenvolvimento desta pesquisa. As orientações por elas pontuadas na fase de pré-projeto permitiram uma construção mais adequada do projeto final.

Sou muito grato à Flávia de Andrade, por estar sempre presente mesmo quando distante e pelo apoio nos momentos em que mais precisei. Agradecer também aos amigos e parceiros inseparáveis: Bruno Edward Meyer, Flávia de Andrade, Diego Rodrigo Nestor, Marion Scheffer de Andrade Silva e Caroline Peixoto Santos, do Projeto Biodigestor/2013 - Rotaract Ponta Grossa Oeste e em que a concepção do presente trabalho foi idealizada.

Aos responsáveis pelo Instituto João XXIII na cidade Ponta Grossa/PR, Padre Ivo, pelo aceite de iniciarmos o Projeto Biodigestor e Padre Vilmar, por permanecer acreditando no sucesso da proposta e disponibilizar o seu tempo e a propriedade, para coleta e estudos de levantamento de dados.

Registro também o agradecimento aos meus pais, Eliane e Denilton, pelas constantes palavras de incentivo, o amor incondicional, a paciência nos momentos de crise e por acreditarem veementemente no sucesso de minhas realizações.

A minha inseparável e maravilhosa namorada Michelle, pelo amor de todos os dias e que mesmo em tempos mais conturbados não deixou de ser o meu porto seguro e me permitiu enfrentar com felicidade os obstáculos que se apresentaram.

Enfim, que os agradecimentos se estendam à todos os meus familiares, amigos e professores que me apoiaram em todos os momentos contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não creio ser um homem que saiba. Tenho sido sempre um homem que busca, mas já agora não busco mais nas estrelas e nos livros: começo a ouvir os ensinamentos que meu sangue murmura em mim. Não é agradável a minha história, não é suave e harmoniosa como as histórias inventadas; sabe a insensatez e a confusão, a loucura e sonho, como a vida de todos os homens que já não querem mentir a si mesmos.”

(HESSE, Hermann, 1925)

RESUMO

FRITZ JUNIOR, Denilton da Conceição. Estudo de Caso: Viabilidade de Implantação de Biodigestor no Instituto João XXIII na Cidade de Ponta Grossa/PR. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

Diante da realidade iminente de diversificação da matriz energética brasileira, salienta-se a necessidade de projetos e investimentos em pesquisas que se caracterizem com a concepção de tecnologias preocupadas com os aspectos econômicos, mas principalmente pautadas nos aspectos socioambientais. Neste contexto, o presente trabalho avaliou a viabilidade técnico-econômica de implantação de biodigestor para a produção de biogás utilizando dejetos oriundos da bovinocultura de leite na propriedade rural do Instituto João XXIII, localizada na cidade de Ponta Grossa/PR. Esta avaliação foi realizada com base na caracterização de parâmetros críticos dos dejetos, tipo de biodigestor e do dimensionamento deste equipamento, além do retorno financeiro significativo de investimento em energias oriundas dos resíduos agropecuários em médio e longo prazo. A caracterização da matéria-prima revelou melhores resultados utilizando relação de água/ dejetos mínima de 1/1 (massa x massa), com dados médios de pH de 7,10; alcalinidade total de 3034,84 mgCaCO₃/L; relação de sólidos totais de 13,44%; relação de sólidos voláteis de 79,58% e a análise por espectroscopia de absorção molecular UV do dejetos apresentou uma média de DQO = 67500 mg/L e DBO = 32250 mg/L. As projeções médias de produção encontradas resultaram em 608,7m³/mês de biogás. Em termos de conversão da demanda existente de gás liquefeito de petróleo (GLP) na propriedade, a produção pode suprir o consumo de GLP da cozinha do refeitório e da cozinha da padaria, resultando em economia anual de cerca de R\$ 15.923,59. Além disso, pode suprir parcial ou totalmente, pelo excedente de oferta de biogás, outras demandas energéticas existentes na Instituição. A avaliação de três distintos cenários comparando a influência dos retornos financeiros oriundos da venda de biofertilizante, evidenciou uma melhor viabilidade em um cenário moderado, com venda de 50% do biofertilizante produzido, resultando uma TIR de 47,80%; VPL de R\$ 83.902,19; Payback simples de 2 anos e 4 meses e Payback descontado de 2 anos e 9 meses.

Palavras-chave: Biodigestor Canadense. Bovinocultura de Leite. Biogás.

ABSTRACT

FRITZ JUNIOR, Denilton da Conceição. Case Study: analysis of feasibility for implementation of a Biodigestor at the João XXIII Institute, in the city of Ponta Grossa / PR. Final Paper (Bachelor in Chemistry Engineering) – Technological University Federal of Parana. Ponta Grossa, 2015.

Based on the imminent reality of the diversification from the Brazilian energy sources, it is extremely necessary the application of projects and investments on researches, which can promote technologies concerned with economic aspects, but mostly guided by social and environmental aspects. In this context, this study evaluated the technical and economic feasibility for the implementation of a digester for production of biogas, using waste derived from cattle in a rural property of the João XXIII Institute, located in the city of Ponta Grossa, state of Parana. This analysis is based on the characterization of the critic's parameters of the manure, type of digester and the sizing of the equipment, in addition to the significant financial return of investment in energy coming from the agricultural waste in medium and long term. The characterization of raw materials, indicated better results using water/manure ratio minimum of 1/1 (mass x mass), with data average of pH of 7.10; total alkalinity of 3034.84 mgCaCO₃/L; ratio of total solids of 13.44%; ratio of volatile solids of 79.58% and an analysis by spectroscopy of molecular absorption UV of the manure presented an average of COD = 67,500 mg / L and BOD = 32250 mg/L. The average projections of the production found resulted in 608,7m³ / month of biogas. In terms of conversion of the existing demand of liquefied petroleum gas (LPG) in the property, the production can supply the LPG consumption of the kitchen from the cafeteria and from the bakery, resulting in annual savings of about R\$ 15,923.59. Furthermore, it can also supply partial or totally other energy demands existing in the Institute from the excess from the biogas supply. The evaluation of three distinct scenarios comparing to the influence of the financial returns from the sale of biofertilizer, indicated a better feasibility in the moderate scenario, where the sale is 50% of the biofertilizer produced, resulting in a TIR of 47.80%; VPL of R\$ 83,902.19; simple payback of 2 years and 4 months and discounted payback of 2 years and 9 months.

Keywords: Canadian Biodigestor. Cattle. Biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.	15
Figura 2: Esquema Geral do Processo de Digestão Anaeróbia	17
Figura 3: Biodigestor Modelo Indiano.	22
Figura 4: Biodigestor Modelo Chinês.	23
Figura 5: Biodigestor Modelo Canadense	23
Figura 6: Mapa Geral da Unidade Produtiva.	30
Figura 7: Local da Coleta de Resíduos	31
Figura 8: Aviário	32
Figura 9: Depósito de Resíduos	33
Figura 10: Silagem	33
Figura 11: Lagoa Fonte de Matéria Orgânica	34
Figura 12: PH Digital com Eletrodo de Escala De Bancada <i>Tecna</i> ®.	36
Figura 13: Sistema para Análise de Alcalinidade Total	37
Figura 14: Ensaio de Sólidos.	40
Figura 15: Espectrofotômetro Pastel Uv-Secomam®	42
Figura 16: Sistema de Aquecimento do Aviário.	43
Figura 17: Parâmetros Bases Utilizados no Modelo	57
Figura 18: Modelo de Lagoa de Biofertilizante	64
Figura 19: Balanço de Massa Global – Biodigestor Canadense	64
Figura 20: Cenário Otimista - Fluxo De Caixa Para 15 Anos De Operação	71
Figura 21: Cenário Moderado - Fluxo De Caixa Para 15 Anos De Operação	71
Figura 22: Cenário Discreto - Fluxo De Caixa Para 15 Anos De Operação	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção Específica de Dejetos por Tipo de Animal.	28
Tabela 2: Parâmetros de Produção de Biogás	28
Tabela 3: Potencial Hidrogeniônico(pH)	47
Tabela 4: Alcalinidade Total	48
Tabela 5: Sólidos Totais	50
Tabela 6: Sólidos Voláteis e Fixos	51
Tabela 7: Demanda Química de Oxigênio e Demanda Biológica de Oxigênio	53
Tabela 8: Cálculo da Produção de Dejetos – Bovinocultura	56
Tabela 9: Cálculo Estimado da Alimentação de Afluente	56
Tabela 10: Equações Para Cálculo das Dimensões	58
Tabela 11: Dimensões Estimadas do Biodigestor	59
Tabela 12: Cálculo da Produção de Biogás - Bovinocultura	60
Tabela 13: Composição Média do Biofertilizante	63
Tabela 14: Investimento do Projeto	66
Tabela 15: Relação Entre Biogás e GLP	67
Tabela 16: Cenários - Receitas	68
Tabela 17: Custos Fixos e Custos Variáveis	69
Tabela 18: Despesas Fixas e Despesas Variáveis	69
Tabela 19: Cenário Otimista	70
Tabela 20: Cenário Moderado	70
Tabela 21: Cenário Discreto	70
Tabela 22: Índices de Viabilidade Econômica	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. SUSTENTABILIDADE E FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA:	15
2.2. BIOGÁS:.....	16
2.3. BIODIGESTORES:.....	20
2.4. BOVINOCULTURA DE LEITE:.....	24
2.5. TRATAMENTO PARA REMOÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO:.....	26
2.6. DIMENSIONAMENTO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE DEJETOS E DE BIOGÁS:	27
2.7. LOCAL - O INSTITUTO:.....	29
2.7.1. Dados do Local da Coleta de Resíduos:	31
2.7.2. Fontes de Resíduos Alternativos e Disponibilidade de Locais para Instalação:.....	32
2.7.2.1. Dados do aviário:.....	32
2.7.2.2. Depósito de resíduos:.....	32
2.7.2.3. Silagem e lagoas:	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. ENSAIO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH):	35
3.2. ENSAIO ALCALINIDADE:	36
3.3. ENSAIO SÓLIDOS TOTAIS OU MATÉRIA SECA (MS):	37
3.4. ENSAIO SÓLIDOS FIXOS:	37
3.5. ENSAIO SÓLIDOS VOLÁTEIS:.....	38
3.6. ENSAIOS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO):.....	41
3.7. DESTINAÇÃO DO BIOGÁS:	42
3.7.1. Gás de Cozinha para Padaria:.....	42

3.7.2. Aquecimento do Aviário:	43
3.7.3. Gás de Cozinha para o Refeitório:	43
3.8. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA:	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH) E ALCALINIDADE TOTAL:	47
4.2. SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS:	49
4.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) E DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO):	52
4.4. DEFINIÇÃO DO MODELO DE BIODIGESTOR E DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO PARA ESCALA DE OPERAÇÃO NA PROPRIEDADE RURAL: ..	54
4.5 TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA:	60
4.6. TEMPERATURA:	61
4.7. MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR:	62
4.8. BIOFERTILIZANTE:	62
4.9. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE BIOGÁS:	64
4.10. REDUÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO (H ₂ S) NO BIODIGESTOR:	65
4.11. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA:	65
5. CONCLUSÕES	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
7. ANEXOS	85
I. ANEXO A – MODELO DE EQUIPAMENTO – VISTA FRONTAL	85

1. INTRODUÇÃO

Há décadas a economia mundial se processava em torno da lógica de extrair, produzir, vender, consumir e descartar. Com o surgimento de políticas em prol do meio ambiente e acompanhando as tendências e as preocupações atuais, onde se assume o compromisso de realizar ações que avaliem a importância dos conceitos envolvendo sustentabilidade, surge a oportunidade de considerar rejeitos como resíduos que podem ser tratados e novamente dispostos no ciclo de geração e consumo.

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2015), órgão do Ministério de Minas e Energia de 2015 para o ano base de 2014, a energia proveniente das hidroelétricas representou 65,2% da matriz energética brasileira. No entanto, o Brasil possui outras fontes como radiação solar, biomassa e força dos ventos suficientemente abundantes que podem proporcionar uma geração distribuída; Tais fatores dão condições de possibilitar, em conjunto com o potencial hidráulico, autossuficiência energética do país.

Para isso, o planejamento e a regulação da oferta de energia devem buscar formas de suprimento compatíveis com as potencialidades energéticas e as necessidades socioeconômicas nacionais e regionais. É preciso que, cada fonte ou recurso energético seja, estrategicamente aproveitado, visando à maximização dos benefícios proporcionados e à minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

Considerando o atual panorama energético mundial, a produção de biogás por meio de biodigestão anaeróbia representa um avanço para equacionar o problema da destinação de resíduos, como os dejetos produzidos pela bovinocultura, e disponibilidade de energia no meio rural.

A digestão anaeróbia é um processo microbiano em que bactérias se utilizam de matéria orgânica, dióxido de carbono e hidrogênio para a produção de metano, resultando na criação de energia renovável de biogás, composto essencialmente por metano. Tal processo diminui a liberação de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa emissões e poluentes orgânicos, além de patógenos e odor (KLAVON, 2013).

Percebe-se a necessidade imediata de maiores ações de utilização de energias provenientes do biogás, aliado a aplicação dessas tecnologias com a finalidade da geração de emprego e renda. Este mercado pode oferecer ramos de trabalho nas áreas de proteção dos ecossistemas e a biodiversidade, necessidades de eficiência no uso da energia, redução das emissões de carbono da economia e minimização de resíduos de poluição (CHAKRABARTY, 2013).

Assim, este trabalho tem como objetivo a avaliação da viabilidade técnico-econômica, da implantação de um biodigestor para a produção de biogás utilizando dejetos oriundos da bovinocultura de leite. Deste modo, o objetivo será alcançado à partir da: Caracterização os parâmetros críticos dos dejetos oriundos da bovinocultura de leite; Definição, com base nos modelos convencionais, do tipo de biodigestor a ser avaliado; Dimensionamento do equipamento para escala de operação na propriedade rural; Análise dos componentes de viabilidade financeira de implantação do biodigestor.

O potencial de produção de biogás a partir de resíduos oriundos de bovinocultura de leite se apresenta como um grande gerador de energia limpa para utilização em propriedades rurais. Além disso, devemos considerar a realidade iminente de diversificação de nossa matriz energética e também a ampliação de projetos e investimentos acerca do desenvolvimento de tecnologias sociais em prol da sustentabilidade. Tecnologias sociais compreendem produtos, técnicas e metodologias desenvolvidas na interação dos saberes científico e popular e que representam efetivas soluções de transformação da sociedade (REDE DE TECNOLOGIAS SOCIAIS, 2010).

Como evidenciado por Ventura et al (2011) as Tecnologias Sociais possuem forte capacidade de adaptação para serem reaplicadas, há uma tendência à sua utilização em grande escala. Além disso, o uso destas tecnologias evidencia como pessoas dos mais distintos territórios aplicam soluções tecnológicas e adequações sócio técnicas para enfrentar os desafios vivenciados em suas localidades. A adequação sócio técnica tem por objetivo adaptar a tecnologia convencional (e, inclusive, conceber alternativas) aplicando critérios suplementares aos técnico-econômicos usuais a processos de produção e circulação de bens e serviços em circuitos não formais, situados em áreas rurais e urbanas visando a otimizar suas implicações (DAGNINO, 2008). O setor energético apresenta grandes possibilidades

de promoção de tecnologias com este caráter e as áreas rurais revelam-se um nicho bastante apropriado para o surgimento de inovações alternativas e sustentáveis.

O presente trabalho apresenta-se como uma grande possibilidade de aplicar os conhecimentos técnicos obtidos durante a graduação em Engenharia Química, pois estes permitem uma melhor compreensão dos processos envolvidos, a caracterização físico-química da matéria prima em questão e a realização dos cálculos de projeto de viabilidade técnico-econômica.

Aliado a todos esses fatores, são também considerados os retornos financeiros significativos de investimentos em energias oriundas de resíduos agropecuários em médio e longo prazo. Desta forma, o estudo possui relevância significativa e revela a necessidade de maiores estudos acerca da temática, pois são indispensáveis para a sociedade atual e para a busca da manutenção dos recursos naturais para utilização pelas próximas gerações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SUSTENTABILIDADE E FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA:

A preocupação com a sustentabilidade, em relação, a utilização desenfreada dos recursos naturais e em virtude da escalada contínua de preços da energia em nível global, ampliam-se as necessidades de novas estratégias de mercado e neste cenário a grande saída do governo brasileiro é buscar a diversificação da sua matriz energética. Fontes como eólica e solar serão sempre complementares, mas podem ser mais participativas do que são hoje (REZENDE, 2015). Assim, a implantação de sistemas de energia provenientes de fontes renováveis ou limpas, como a energia solar, eólica, hídrica e de biomassa tornam-se cada vez mais promissoras.

Visualizando a realidade nacional, como apresentado na Figura 1, a energia proveniente das hidroelétricas, é a que apresenta a maior fatia de nossa matriz energética, com 65,2% para o ano base de 2014, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2015). Este fato demonstra fragilidade, pois a dependência de uma fonte de energia em uma proporção tão superior a outras e que também apresentam potencialidade, prejudica o gerenciamento em situações de crises envolvendo recursos hídricos.

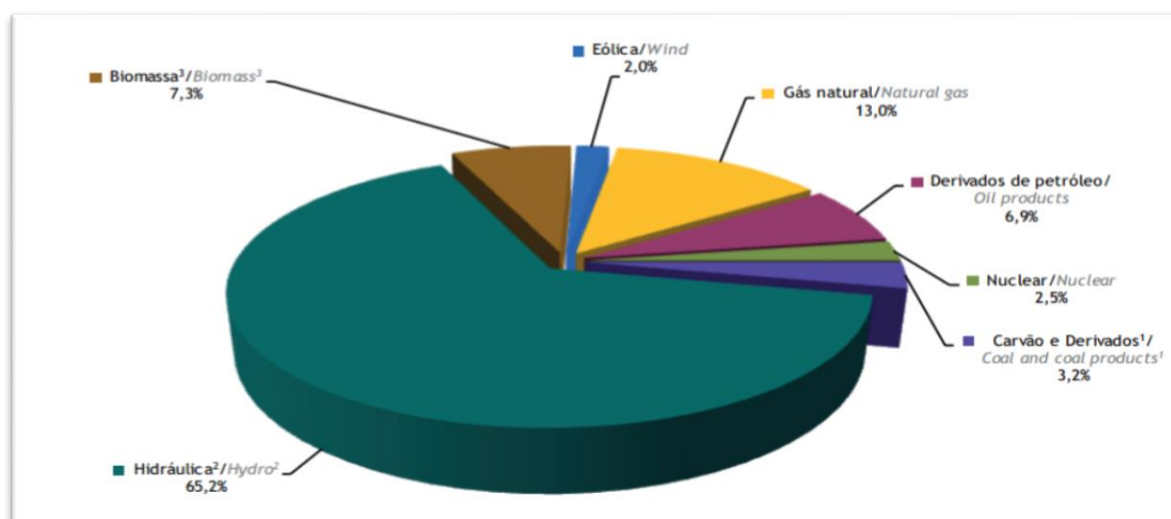


Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.

Fonte: EPE (2015)

1 - INCLUI GÁS DE COQUERIA; 2 - INCLUI IMPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE; 3 - INCLUI LENHA, BAGAÇO DE CANA, LIXÍVIA E OUTRAS RECUPERAÇÕES

A América Latina detém um dos maiores potenciais de produção de biomassa do mundo (CENBIO, 2014) e o Brasil é um de seus principais detentores.

Além disto, grande parte da biomassa produzida é descartada sem aproveitamento e produz compostos nocivos se expostos ao meio ambiente. Assim, o cenário atual demonstra que a recuperação de energia de resíduos orgânicos e os fluxos de resíduos como alternativa tornam-se cada vez mais atraentes (NUTZUNG et al., 2013), tendo em vista os retornos significativos do ponto de vista econômico, além de contribuírem em prol do desenvolvimento sustentável.

Atrelada ao conceito de sustentabilidade encontra-se a necessidade de tornar as coisas permanentes ou duráveis. Deste modo, melhorias nas dimensões econômica, ambiental e social são necessárias para que o mesmo possa adquirir condições de permanência no longo prazo. No tocante ao desenvolvimento do setor energético, faz-se necessária a alocação eficiente dos recursos e fatores de produção, o que possibilitará a durabilidade da sua estrutura de funcionamento no longo prazo (FREITAS, 2013).

Entre as modernas opções de fontes renováveis, como solar e eólica que são altamente tecnológicas, a ITAIPU BINACIONAL elege o biogás como prioritário. Como BLEY JR (2015) revela, a situação se apresenta na contramão da lógica atual de mercado ao propor como solução uma fonte de energia antes considerada como obsoleta, sem expressão, sem regulação, caracterizada por investimento não atrativo até mesmo para quem pode produzir o biogás e descarta-lo. Desta forma, esta fonte energética soterrada por falhas estratégicas e omissões em diversas tentativas passadas, surge e consolida-se como alternativa válida e em conexão com a agenda da ITAIPU BINACIONAL.

2.2. BIOGÁS:

De acordo com Nutzung et al. (2013), a mistura gasosa denominada biogás, é composta principalmente de metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume). O biogás contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases traço. Além disso, a sua composição é influenciada principalmente pelos substratos utilizados, pela técnica de fermentação e pelas diferentes tecnologias de construção de usinas.

O processo de biodigestão ou digestão anaeróbica, que acarreta na formação de biogás, pode ser dividido em vários estágios. Estes, podem ser apresentados em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e

metanogênese. Os estágios de decomposição têm de estar perfeitamente coordenados entre si para que todo o processo se realize adequadamente (NUTZUNG et al., 2013). O escopo do processo é a estabilização da substância orgânica por meio da produção de subprodutos finais com alto valor agregado. A Figura 2, representa o fluxograma descritivo do processo:

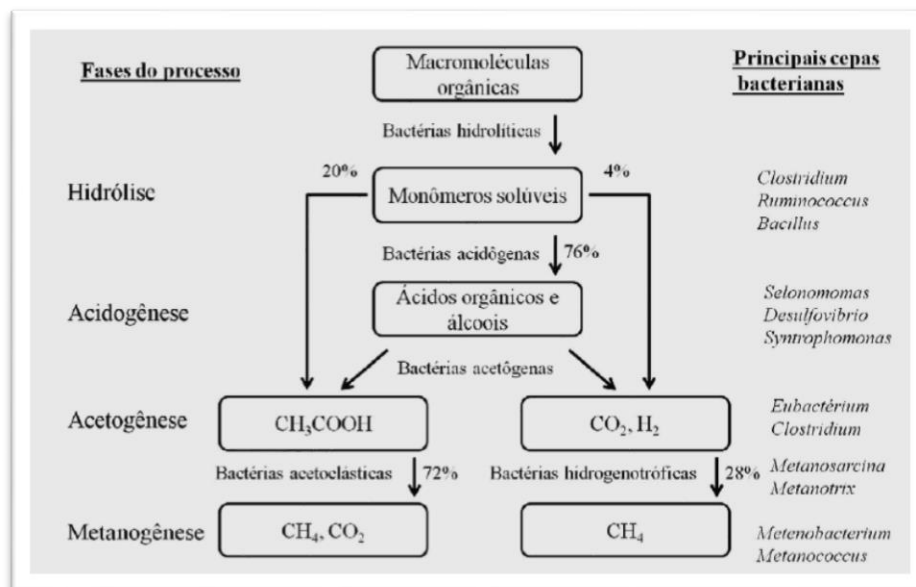


Figura 2: Esquema geral do processo de digestão anaeróbia
Fonte: Adaptado de Santi et al. (2013)

Durante a hidrólise, os compostos orgânicos complexos existentes, como carboidratos, proteínas e lipídios, são decompostos em substâncias menos complexas como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Neste processo, atuam bactérias hidrolíticas, cujas enzimas liberadas decompõem o material por meio de reações bioquímicas (NUTZUNG et al., 2013). Temos também na fase hidrolítica, um importante papel desenvolvido pelas bactérias ativas, consumir o oxigênio contido no substrato. Assim, criar o ambiente propício para o desenvolvimento do processo de digestão anaeróbia e, em particular, para as bactérias metanogênicas, ativas na última parte do processo, que são anaeróbias estritas (SANTI, 2013).

Na segunda fase ocorre a acidogênese, com a atuação de bactérias fermentativas acidogênicas, os compostos intermediários formados são então decompostos em ácidos graxos voláteis de cadeia curta, tais com ácido acético, propiônico, butírico e láctico, além de dióxido de carbono e hidrogênio. Nesta fase, também é produzido o ácido sulfídrico (H_2S), oriundo do metabolismo das bactérias redutoras de sulfatos, que utilizam destes e dos sulfitos, como aceptores de elétrons.

Essas bactérias são indesejáveis na digestão anaeróbia pelo fato de entrarem em competição metabólica com as que produzem ácidos voláteis e são também responsáveis pela produção do gás sulfídrico que é corrosivo para os equipamentos metálicos com que o biogás entra em contato (SANTI, 2013).

Na terceira fase, acontece o processo de formação de ácido acético, denominada acetogênese. Os compostos formados nesta fase são convertidos por bactérias acetogênicas nos chamados precursores do biogás, tais como: ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Santi (2013) afirma que ainda que certa quantidade de ácido acético seja produzida já na fase de acidogênese, a grande maioria dele é consequência direta do metabolismo das bactérias ativas na fase da acetogênese. Nesse ponto, a pressão parcial do hidrogênio é decisiva.

Energeticamente, as altas concentrações de hidrogênio irão impedir a conversão dos compostos intermediários da acidogênese. Tal fato, gera o acúmulo de ácidos orgânicos, tais como o ácido propiônico, ácido isobutírico, ácido isovalérico e ácido capróico, que inibem o processo de metanogênese. Este é o principal motivo para que as bactérias acetogênicas (produtoras de hidrogênio) estejam estreitamente associadas as arqueas metanogênicas. (NUTZUNG et al., 2013). As arqueas consomem hidrogênio e dióxido de carbono (transferência interespecífica de hidrogênio), o que garante o meio propício para as bactérias acetogênicas, durante a produção de metano.

Na metanogênese, última etapa da biodigestão anaeróbia, ocorre a formação do gás metano a partir da redução do acetato e do hidrogênio pela ação das bactérias metanogênicas, que são extremamente sensíveis e se reproduzem de maneira bastante lenta (BERTOZZO, 2013).

A metanogênese é a fase que limita a velocidade do processo anaeróbio, exceto em casos de materiais complexos, tais como os resíduos sólidos. Para estes casos, a acessibilidade do substrato pelas bactérias hidrolíticas e a hidrólise das macromoléculas orgânicas constituem as etapas limitante (SANTI, 2013).

São possíveis duas formas de produção de metano como apontado por NUTZUNG et al. (2013), a primeira, onde os metanógenos hidrogenotróficos produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono, e a segunda, onde os metanógenos acetoclásticos produzem metano a partir da redução de ácido acético. Diferentes condições predominantes em usinas de biogás agrícolas darão condições

distintas de conversão de biogás. A formação de metano para cargas orgânicas volumétricas mais elevadas se dá pela via bioquímica que utiliza o hidrogênio e a metanogênese pela redução do ácido acético acontece apenas para cargas orgânicas volumétricas relativamente baixas (NUTZUNG et al., 2013).

A experimentação à partir de digestão de lodo revelou que 70% do metano produzido se deve à redução do ácido acético e apenas 30% ao aproveitamento do hidrogênio. No caso de usinas de biogás agrícolas, porém, esses valores se aplicam somente a fermentadores de elevada carga com tempos de retenção breves (SANTI, 2013).

Recentes estudos apresentaram evidências de que a transferência interespecífica de hidrogênio determina a taxa de formação do metano. De modo geral, as quatro fases da decomposição anaeróbia ocorrem paralelamente em um processo de um único estágio. No entanto, uma vez que as bactérias têm exigências diferentes quanto ao seu habitat, tais como o pH e a temperatura, deve ser definido um meio termo em relação à tecnologia do processo.

Como os microrganismos metanogênicos são o elo mais fraco da biocenose e os mais sensíveis a distúrbios, em virtude de sua baixa taxa de crescimento, as condições do meio têm de ser adaptadas às suas necessidades. Na prática, porém, qualquer tentativa de isolar a hidrólise e a acidogênese da metanogênese por meio de dois estágios do processo distintos (sistema de duas fases) tem êxito limitado, pois, apesar do baixo pH na fase de hidrólise ($\text{pH} < 6,5$), ocorre formação parcial de metano (BERTOZZO, 2013). Por isso, além do dióxido de carbono e do hidrogênio, o gás de hidrólise contém também metano e, portanto, necessita ser consumido ou tratado a fim de evitar riscos à segurança.

O biogás tem origem bastante diversificada. Todos os materiais de origem orgânica podem servir de substratos para a geração de biogás, com exceção da madeira, pelas características da estrutura celulósica que até o presente momento é imprópria para tal processo e ainda é preciso atentar para substâncias ricas em fibras que prejudicam as condições de operação do processo (NEVES, 2010). As fontes oriundas de resíduos agropecuários apresentam-se como grandes possibilidades para geração de biogás.

2.3. BIODIGESTORES:

O equipamento destinado a realizar a decomposição anaeróbia da biomassa é denominado de reator biológico, digestor, biorreator ou biodigestor. Este pode ser definido como uma câmara de fermentação fechada, onde a biomassa, de determinada origem, sofre a digestão pelas bactérias anaeróbia (GASPAR, 2003). Ao final do processo, é obtido o biogás e como subproduto o biofertilizante.

O biogás, rico em metano, pode ser facilmente transformado em energia térmica, mecânica ou elétrica (SANTI, 2013). Com a implementação de um sistema gerador de biogás em uma comunidade ou propriedade rural, esta pode adquirir certa independência energética. Se esta apresentar elevada capacidade de produção, pode inclusive vender o excedente de energia para a concessionária estadual, gerando assim benefícios econômicos.

A respeito do biofertilizante produzido, Santi (2013) revela que a digestão anaeróbia permite recuperar o potencial fertilizante dos dejetos por meio da estabilização dos compostos nitrogenados, que diminuem as emissões de odores desagradáveis e aumentam a disponibilidade dos elementos na fertilização do solo, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento de plantas. Nos processos aeróbios, pelo contrário, os compostos do nitrogênio são oxidados ou reduzidos e desta forma perdidos. Bertozzo (2013), afirma que o material biodigerido como adubo autoproduzido pode ser utilizado em substituição aos adubos químicos, produzindo aumento de economia e garantindo estabilidade e qualidade para a produção do meio.

Quanto à classificação, os biodigestores podem ser subdivididos em: sistema de batelada ou de fluxo não contínuo, de fluxo semi-contínuo e de fluxo contínuo, de acordo com a forma de processamento.

Em biodigestores do tipo batelada, a matéria orgânica ou biomassa é completamente depositada no biodigestor no início do processo e a sua retirada é realizada após a completa decomposição pelas bactérias fermentativas. Neste processo, a produção de biogás não é constante. Sendo assim, é importante que com a aplicação deste modelo, sejam instalados vários biodigestores e que estes sejam colocados em operação em épocas diferentes. Deste modo, no momento em que os equipamentos que foram iniciados mais tarde estiverem produzindo o

máximo de biogás, os mais antigos estarão ou na fase de aclimatação ou em fase de declínio (MARCHAIM, 1992).

Nos equipamentos que apresentam o sistema de fluxo semi-contínuo, a alimentação é feita em intervalos regulares de tempo, sendo normalmente diária (a cada vinte e quatro horas) e em quantidades constantes (BERTOZZO, 2013).

Nos Biodigestores contínuos, é realizado um processo em que continuamente a matéria-prima, que possui decomposição relativamente fácil e disponibilidade grande nas proximidades, é inserida no equipamento. Desta forma, toda a produção de biogás e biofertilizante dentro do sistema também ocorre de forma contínua. Existem diversos modelos de biodigestores contínuos, que dependem basicamente de seu formato e com o seu posicionamento sobre o solo: vertical ou horizontal. Características como: condições locais; tipo de substrato; experiência do construtor principalmente, da relação custo x benefício, são pontos que definem a viabilidade de um projeto de biodigestor (NOGUEIRA, 2013).

No sistema de fluxo contínuo, a alimentação e a retirada do material orgânico são feitos de forma contínua, sem interrupções. Na maioria das realidades, este modelo de biodigestor não é empregado no meio rural, sendo mais comum em indústrias (BERTOZZO, 2013).

Os modelos de biodigestores contínuos são diversificados. Entretanto, Nogueira (2013), apresenta os modelos dos tipos chinês, indiano e tubular ou canadense, como os mais difundidos atualmente. Independente das peculiaridades de cada tipo, todos possuem a função de criar as condições anaeróbias para que a biomassa seja completamente degradada durante a fermentação e ao final do processo consequente seja produzido o biogás.

O modelo de biodigestor indiano caracteriza-se por possuir uma campânula móvel como gasômetro, que possui a finalidade de medição dos gases produzidos durante a fermentação. Esta campânula pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação. Existe também uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, acarretando a movimentação do resíduo por todo o biodigestor (OLIVEIRA, 2012).

O modelo indiano é apresentado na Figura 3 e é caracterizado por manter a pressão interna constante. Desta forma, quando o biogás é produzido e não é consumido, a campânula expande-se, aumentando o volume destinado para o

armazenamento do biogás, garantindo que a pressão não se altere (DEGANUTTI et al., 2002).

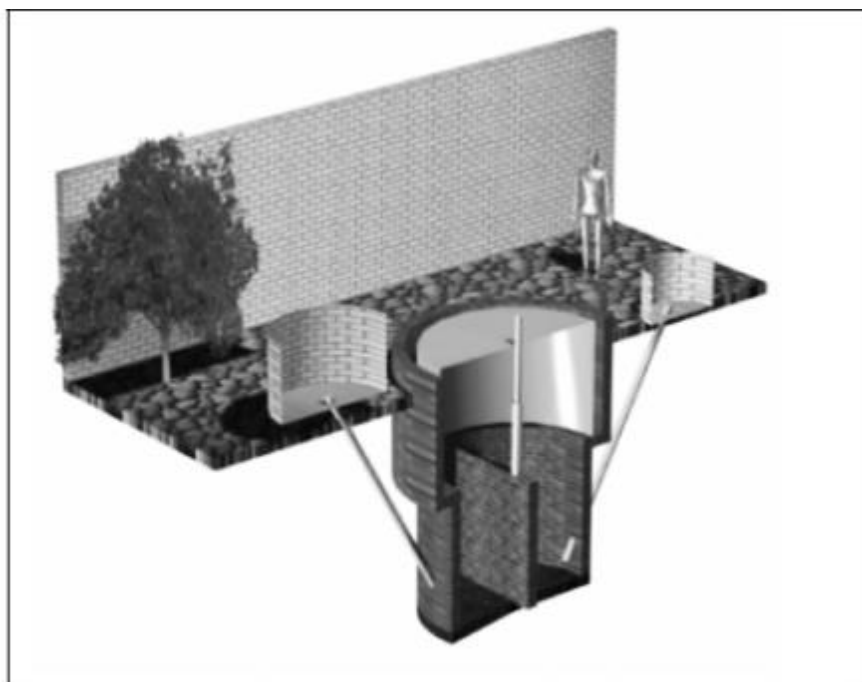


Figura 3: Biodigestor modelo indiano.

Fonte: Deganutti et al (2002)

O modelo de biodigestor chinês é baseado na mesma estrutura do modelo Indiano possuindo apenas algumas adaptações. Neste modelo, não se utiliza gasômetro móvel, com fins de redução de custo de construção. Formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. A base de funcionamento deste equipamento segue o princípio de prensa hidráulica. Deste modo, aumentos de pressão em seu interior que são originários do acúmulo de biogás, irão resultar em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída. A descompressão ocorrerá em sentido contrário (DE LUCA BONTURI, 2012).

Ao contrário do modelo indiano, o modelo chinês possui variação da pressão interna, funcionando com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que o aumento de pressão resultará em deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (DEGANUTTI et al., 2002). O biodigestor chinês é representado na Figura 4. Do ponto de vista construtivo, apresenta-se, como sendo de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, e também à

distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor (DE LUCA BONTURI, 2012).

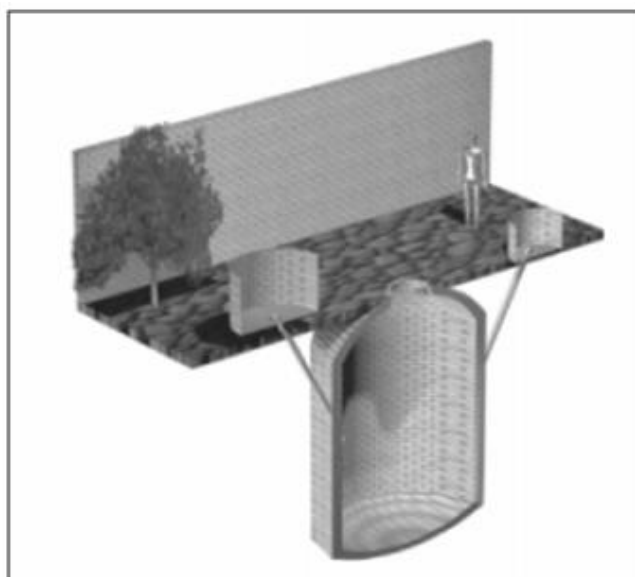


Figura 4: Biodigestor modelo chinês.
Fonte: Deganutti et al. (2002)

O modelo canadense de biodigestor apresenta uma tecnologia moderna e avançada, porém menos complexa. Deublein e Steinhauser (2008) revelam que este é um modelo tipo horizontal que apresenta uma caixa de carga em alvenaria com largura maior que sua profundidade, o que proporciona uma área maior de exposição ao sol, resultando em uma maior produção de biogás. O biodigestor canadense é amplamente difundido em propriedades rurais e é, nos últimos anos, a tecnologia mais utilizada dentre as demais, por possuir uma construção simplificada com câmara de biodigestão escavada do solo (LUCAS JUNIOR e SOUZA, 2009). O biodigestor canadense é representado na Figura 5.



Figura 5: Biodigestor modelo canadense
Fonte: HY Energia (2014).

2.4. BOVINOCULTURA DE LEITE:

O *Plano Mais Pecuária* do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2014), revelou que a pecuária bovina é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro e, conseqüentemente, da economia nacional. No Brasil, a maior parte da produção de bovinocultura de leite nacional provém de um pequeno percentual de produtores. A produção de leite tem crescido muito nos últimos anos segundo os dados da última pesquisa, os números apresentados somam cerca de 34,3 bilhões de litros por ano (IBGE, 2013).

O nosso país possui o maior rebanho comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina, segundo maior produtor de carne e sexto maior produtor de leite (BRASIL, 2014). Segundo os dados da produção da pecuária municipal do IBGE (2013), a maior produtividade de leite registrada foi na Região Sul do País (2 674 litros/vaca/ano). O Paraná responde por 11,7% da produção do país e dentre os municípios produtores, destaca-se Castro (PR), cidade da região dos Campos Gerais, sendo o maior produtor nacional de leite e com produtividade média de 7115 litros por vaca/ano. Com uma região promissora na criação de gado leiteiro, o setor se apresenta como uma fonte de grande oportunidade de negócios.

A bovinocultura leiteira acumula diversos resíduos no seu processo de produção, tais como, dejetos (fezes, urina), restos de alimentos e água residuária da industrialização do leite e todos estes itens são passíveis de reciclagem (FERREIRA, 2013). Diferente de muitos outros países em que os animais destinados à produção de leite são criados em grandes rebanhos e grandes confinamentos, o que predomina no Brasil são as criações extensivas e rebanhos menores, porém com tendência de aumento de escala. Portanto, é provável que os dejetos se constituam em um problema maior do que o é atualmente (XAVIER, 2005).

Segundo Ferreira (2013), para as operações de limpeza, uma propriedade leiteira chega a exigir um volume de água equivalente a 2,5 vezes o volume de leite processado. Este processo gera água de despejo rica em nutrientes e matéria orgânica biodegradável. Essa água, é desperdiçada por ser um potencial gerador de energia e quando não tratada, causa danos ao ambiente devido à sua alta demanda química de oxigênio (DQO) e alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que são considerados parâmetros importantes a serem avaliados. O primeiro, como observado por Valente et al (1997), é um indicador de matéria orgânica baseado na

concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido e condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte. Já a DBO, determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio exercida por microrganismos através da respiração.

A produção de biogás oriundo da fermentação de 1 kg de esterco bovino fica entre 0,036 a 0,042 m³ (RAMACHANDRA et al.,2004), sendo suficiente para atender a demanda de biogás diária por habitante da zona rural, que está entre 0,023 a 0,043 m³. Dentre todas as atividades agropecuárias, a bovinocultura destaca-se como uma das principais fontes de recuperação de biogás, por produzir grande quantidade de esterco (kg de esterco/vaca) (DIAZ, 2006).

A produção obtida diariamente de resíduos frescos (sólidos e líquidos) de vacas leiteiras varia principalmente em função do tipo e idade biológica do animal (vaca leiteira, novilha, boi, bezerro, entre outros) e sua alimentação (FERREIRA, 2013). Gaspar (2003) considera um fator de produção de 0,019 kg de esterco por unidade de peso (kg) da vaca.

A bovinocultura de leite coloca-se como um grande potencial de geração energética a partir dos resíduos gerados pelos animais. Como destacado por Ferreira (2013), a grande valorização dos produtos dos processos biológicos de reciclagem pode atender algumas das necessidades básicas dos produtores rurais.

As vacas leiteiras podem ser divididas em duas categorias: raças de alta produção – em operações comerciais e de baixa produção - manejadas em métodos tradicionais. Esses dois ramos podem ser combinados ou avaliados separadamente. E há, ainda, a categoria das vacas de corte, que englobam os bovinos destinados à diversas funções (DONG et al., 2006).

A bovinocultura de leite é subdividida em duas categorias: vacas maduras, que estão em fase de produção de leite; e em crescimento, que podem ser divididas em: animais alimentados com uma dieta rica em grãos (confinados) e animais que são criados em pasto (DONG et al., 2006).

2.5. TRATAMENTO PARA REMOÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO:

No que diz respeito ao tratamento que se aplica ao biogás produzido, este possui a finalidade de aumentar o poder calorífico do gás e padronizar o gás produzido (OLIVEIRA, 2012).

Sendo o biogás agressivo e podendo danificar os equipamentos, devido à presença de traços de ácido sulfídrico (H_2S), o qual pode causar corrosão em materiais metálicos, como afirma Oliveira (2012). Portanto, os interferentes que podem ser removidos do biogás são H_2S , água, CO_2 e compostos halogenados.

A reação do sulfeto de hidrogênio com água origina o ácido sulfuroso, que exige elevada resistência à corrosão dos materiais utilizados nos reatores anaeróbios. Para aumentar a durabilidade dos componentes do sistema e atender aos requisitos de qualidade dos fabricantes de usinas de cogeração e aquecedores, é necessário que o gás gerado passe por um processo de dessulfurização, especialmente em sistemas com gás bruto de elevada concentração de enxofre. (VALENTE, 2015)

Como relatado em MULLER (2014), no modelo de dessulfurização biológica, os microrganismos, como a *Thiobacillus* e *Sulfolobus*, oxidam o H_2S e o convertem em enxofre. Além de um tratamento mais barato, este atinge eficiência superior a 90% na remoção do H_2S (LEE et al., 2011), sendo que o enxofre produzido um importante componente de proteínas e aminoácidos para as leguminosas, além de também aumentar a produtividade de grãos, como a soja.

A remoção do ácido sulfídrico que compõe o biogás pode ser realizada pelo processo da absorção com reação química. Desta forma, o material que constitui o biogás pode ser utilizado como combustível sem restrições devido aos problemas apresentados. O processo se baseia na absorção de um componente de uma mistura gasosa para um líquido absorvente, em que o componente a ser retirado gás apresenta solubilidade no líquido (FRARE, 2009).

Segundo o Programa de Capacitação em Energia Renováveis do Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe – ONUDI (2013), o método mais comum e simples para a dessulfurização do biogás é a injeção de pequenos volumes de oxigênio no interior do digestor. Desenvolvido de maneira efetiva nos últimos 10 anos e aplicado com notável sucesso na purificação de biogás em biodigestores em toda Europa, mas sobretudo na Alemanha.

Simplificadamente, as sulfobactérias, bactérias oxidantes, transformam o H_2S em enxofre elementar e água através do fornecimento de oxigênios.

Durante este tratamento obtém-se um pó amarelo de enxofre depositado sobre a superfície da biomassa, nas paredes interiores do digestor, etc. Este pó amarelo de enxofre pode ser utilizado como fertilizante. O fornecimento de oxigênio é realizado mediante compressores. Quando a dosificação do oxigênio é adequada, pode-se obter uma redução de H_2S de até 95%. A quantidade de oxigênio fornecida ao digestor é tão baixa que não surgem problemas no interior do mesmo.

Para a realidade de projetos existentes hoje, a adsorção é reconhecida como a tecnologia mais comumente aplicada para alcançar baixos níveis de H_2S no biogás. O processo de adsorção por óxido de ferro é um dos métodos mais antigos utilizados na dessulfurização, com possibilidade de boas eficiências e recuperação da matriz adsorvente (ZICARI, 2003). A utilização de carvão ativado, adsorvente bastante versátil, têm demonstrado resultados eficientes na remoção de H_2S , com concentrações resultantes menores que 5 ppm (HERNANDEZ et al., 2011).

É importante ressaltar que em determinadas situações, também é importante ser realizada a remoção de CO_2 (OLIVEIRA, 2012). A presença de dióxido de carbono, diminui o poder calorífico do biogás, pois o mesmo atua como inerte na combustão. A remoção do CO_2 pode ser realizada por absorção física ou química, após a eliminação do H_2S , para que a solubilidade deste componente em água venha favorecer a sua remoção. Há ainda outras formas de remoção do CO_2 que não serão abordadas no presente trabalho, tendo em vista que o projeto contempla apenas a remoção do H_2S produzido no biodigestor.

2.6. DIMENSIONAMENTO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE DEJETOS E BIOGÁS:

O *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006)*, fornece orientação em algumas metodologias para estimar as emissões de metano provenientes da fermentação dos dejetos.

No dimensionamento dos biodigestores é estimado o potencial de produção de dejetos pelos animais existentes na propriedade, considerando assim o tempo de confinamento desses animais, o peso médio de cada animal e a produção média de

dejetos. A partir deste dimensionamento é possível calcular o volume de biogás que poderá ser produzido na propriedade, nas condições atuais de manejo dos dejetos.

A seguir, a Tabela 01 apresenta os parâmetros de produção específica de dejetos por tipo de animal e a Tabela 02 apresenta os parâmetros de produção de biogás por tipo de animal, que serão adotados como fatores teóricos neste projeto. Os dados são disponibilizados pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CI-Biogás – ER) segundo os coeficientes do *IPCC (2006)*, esses fatores, são essenciais na produção de biogás.

TABELA 01: Produção específica de dejetos por tipo de animal.

TIPO	Produção específica de dejetos (m ³)
Touro/Vaca	0,00267
Bezerros/Novilhas	0,000158
Bovino de corte	0,00183
Matriz/Reprodutor	0,027
Suíno terminação/Reprodutor	0,007
Leitão Creche	0,0014

Fonte: CI Biogás (2011)

TABELA 02: Parâmetros de Produção de Biogás

TIPO	Peso Padrão o IPCC (kg)	SV Padrão (kg/cab/dia)	B0 (CH ₄ /kgSV)	FCM	Ufb	% de CH ₄ no biogás	FCM*B0* Ufb
Matriz /Reprodutor	198	0,3	0,29	78%	0,94	60%	0,212628
Terminação /Creche /Maternidade	50	0,3	0,29	78%	0,94	60%	0,212628
Vaca	500	4	0,18	78%	0,94	60%	0,131976
Bezerro /Touro /Bovino de Corte	363	2,5	0,14	78%	0,94	60%	0,102648

Fonte: CI Biogás (2011)

Legenda da Tabela 02:

Peso Padrão IPCC (Kg) - Peso padrão característico por animal;

SV Padrão (Kg/cab/dia) - Proporção padrão de sólidos voláteis;

B0 (CH₄/kgSV) - Potencial de produção de metano;

FCM - Fator de conversão de metano;

Ufb - Fator de correção;

% de CH₄ no biogás – Porcentagem padrão de metano no biogás.

De acordo com Pecora (2006) são claras as vantagens da utilização de biodigestores, tais como:

1. Geração de biogás, um gás combustível de elevado poder calorífico.
2. Simplicidade nos quesitos operacionais, quesitos de manutenção e também de controle;
3. Eficiência adequada na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patógenos);
4. Praticamente nenhum problema com a disposição do lodo gerado no sistema;
5. Necessidade e requisitos de área para instalação são baixos;
6. São passíveis de serem desenvolvidos e aplicados em pequena escala (sistemas descentralizados) com pouca dependência da existência de grandes interceptores;
7. Simplificação no fluxograma de tratamento;
8. Vida útil elevada;
9. Não geração de transtornos que causem problemas para as vizinhanças;
10. Geração e possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, como é o caso do biofertilizante, que possui aplicação na fertilização de culturas agrícolas.

Levando em consideração a grande demanda energética mundial atual e as preocupações ambientais cada vez maiores. Temos as condições favoráveis de utilização de energias provenientes da geração de biogás a partir de resíduos agropecuários. Diante da necessidade do avanço de pesquisas no setor energético, os biodigestores e as fontes alternativas de biomassa se apresentam como alvos de estudo imprescindíveis e que demonstram serem fatores decisivos em prol da sustentabilidade.

2.7. LOCAL - O INSTITUTO:

O Instituto João XXIII possui uma estrutura física com elevado potencial para a implantação do biodigestor, pois existe no local uma ampla unidade de produção agropecuária. A Figura 6, indica o georreferenciamento das instalações do instituto.

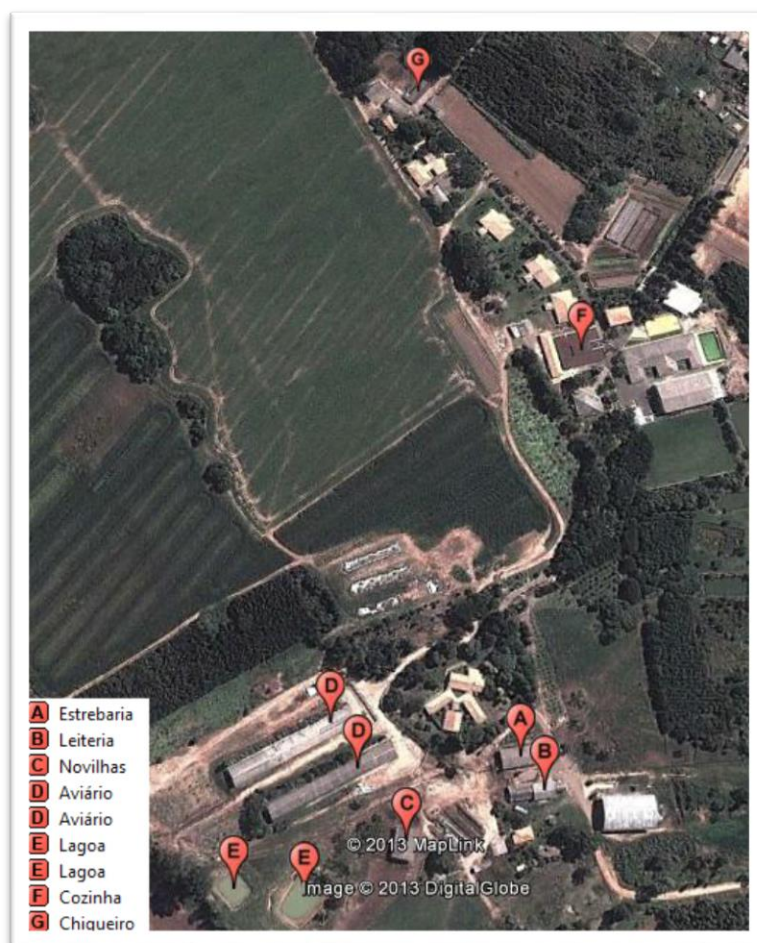


FIGURA 6: Mapa Geral da Unidade Produtiva.
Fonte: Google Earth (2014)

O instituto é localizado no bairro D.E.R. em Ponta Grossa - PR e oferece serviços em horário intermitente, como: abrigo, contra turno social e ações socioeducativas, para jovens do sexo masculino de seis a dezoito anos.

O instituto possui uma ampla estrutura com cerca de 100 hectares e desenvolve atividades de horticultura, leiteria, avicultura, suinocultura, piscicultura e agricultura. Toda essa produção tem por objetivos sustentar as necessidades internas do instituto e gerar renda através da comercialização dos excedentes. Todas estas condições são propícias à implantação de um biodigestor, equipamento utilizado para tratamento de resíduos e produção de biogás, que pode ser utilizado para gerar energia elétrica e térmica.

Tal proposta converte um passivo ambiental em um ativo econômico e, neste contexto, envolve quatro fatores: o econômico, que relaciona a redução de custos e proporcional aumento de renda dos proprietários; o social, que promove a

melhoria na qualidade de vida dos produtores, o técnico, que avalia as condições e parâmetros para dimensionamento e operacionalização do equipamento; e o ambiental, que envolve a redução de impactos oriundos da pecuária. Em vista disso, será apresentado neste trabalho um estudo de viabilidade da implantação de um biodigestor e da respectiva aplicação do biogás, a partir da análise da coleta de dados aplicadas à metodologia de dimensionamento de biodigestor.

2.7.1. Dados do Local da Coleta de Resíduos:

O instituto possui duas estrebarias, uma para vacas e outra para novilhos. A primeira possui comprimento de 25 metros largura de 12 metros e altura de 04 metros, e a segunda possui 20 metros de comprimento, 12 de largura e 04 de altura. Ambas, possuem piso de concreto. Os materiais que deverão ser utilizados para a realização do experimento serão os resíduos de bovinos leiteiros oriundos do Instituto João XXIII. Estes serão coletados por meio de raspagem do material diretamente do pátio de confinamento dos animais. A Figura 7 representa o confinamento dos bovinos, onde serão realizadas as coletas.



FIGURA 7: Local da coleta de resíduos
Fonte: Autoria própria (2014)

2.7.2. Fontes de Resíduos Alternativos e Disponibilidade de Locais para Instalação:

É importante considerar que podem existir eventuais quedas de produção de dejetos da bovinocultura de leite devido a circunstâncias variáveis tais como: Número menor de bovinos produtores; Baixa produção de dejetos; Alteração de alimentação e/ou demais situações. Deste modo, outras fontes de matéria orgânica podem ser utilizadas para alimentar o biodigestor a fim de manter o funcionamento contínuo do mesmo e dessa forma garantir a geração de biogás na propriedade mesmo em condições adversas. Algumas destas fontes estão elencadas nos itens que seguem.

2.7.2.1. Dados do aviário:

Os aviários são dois galpões de aproximadamente 1.000 m²/cada, alojando cerca de 22000 frangos/aviário e o aquecimento de tais ambientes consome aproximadamente 40m³ de lenha por mês/aviário, além de utilização de GLP na forma de botijões nos meses mais frios do ano. O ambiente interno de um dos aviários está representado na Figura 8.



Figura 8: Aviário
Fonte: Autoria própria (2014)

2.7.2.2. Depósito de resíduos:

A estrutura do depósito de resíduos representada na Figura 9, que incluem os dejetos de suinocultura e resíduos orgânicos não consumidos pelos animais, possui aproximadamente as seguintes dimensões: 02 metros de comprimento, 02 metros de largura e 03 metros de profundidade.



Figura 9: Depósito de Resíduos
Fonte: Aatoria própria (2014)

2.7.2.3. Silagem e lagoas:

Existem diversos depósitos de silagem. Tais armazéns dispõem de biomassa que é utilizada para alimentação da bovinocultura de leite. No entanto, quando se apresentam em condições de putrefação, perdem suas características de alimento animal e podem ser utilizados como insumos de geração de biogás no biodigestor. Estas silagens, representadas na Figura 10, são compostas por milho e, no total medem cerca de 240 toneladas de silo. O consumo diário é de 500 kg.



Figura 10: Silagem
Fonte: Aatoria própria (2014)

Há, ainda, cerca de oito lagoas dispostas nas instalações do instituto, das quais duas podem ser aproveitadas para a instalação de um possível biodigestor e

seu reservatório de biofertilizante - ambas localizadas em menor altitude em relação a estrebaria. A maior destas lagoas possui 35 metros de comprimento e 30 metros de largura e está localizada em uma região mais alta que a menor, que possui 20 metros de comprimento e 20 metros de largura.

Algumas das lagoas dispostas no instituto são habitats de algas verdes e que também podem ser utilizadas como fonte de matéria orgânica para o biodigestor, conforme apresenta a Figura 11.



Figura 11: Lagoa fonte de matéria orgânica
Fonte: A autoria própria (2014)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dejetos foram coletados por meio de raspagem, com auxílio de uma pá, do piso concretado do espaço reservado para confinamento das vacas leiteiras adultas. Os dejetos foram provenientes de vacas leiteiras da raça Holandesa alimentadas com uma dieta composta de 55% de silagem e 40% de cevada. Adicionalmente são acrescentados à dieta, bicarbonato de sódio, sal mineral e ração.

Os dejetos, livres de água de lavagem e de chuva, continham quantidades desprezíveis de sobras de alimentos.

Posteriormente em laboratório, os dejetos foram homogeneizados manualmente com o auxílio de uma espátula e retiradas pequenas porções de acordo com a necessidade de cada análise, sendo o restante armazenado em recipiente plástico e mantido em refrigeração. Para caracterização de matéria-prima (dejeito bovino), foram realizadas amostragens seguindo metodologias

internacionalmente reconhecidas: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2013).

Considerando a necessidade de distintos volumes de água na diluição das amostras afim de obter dados passíveis de comparação no que diz respeito ao fator Relação de água/dejeto, foram separadas amostras em triplicata utilizando Relações de Água/Dejeto de 4/1 e 1/1 (massa x massa) e consideradas as densidades das amostras no cálculo de volume final, considerando alíquotas de 100mL. Como descrito em Decezaro (2013) e também em Sousa et al. (2013), os dejetos oriundos de bovinos são diluídos em água na proporção de 1:1. A relação de 4:1 foi utilizada levando em consideração uma diluição máxima, tendo sido avaliada por Aires (2009) e considerando que esta é a proporção aplicada em dejetos de aves, que apresentam-se característica de sólidos.

É importante considerar que o material a ser depositado no biodigestor deverá possuir obrigatoriamente uma proporção de água adicionada ao dejeto. Desta forma passaremos a considerar como afluente a matéria prima (dejeto) e o volume de água adicionado.

Os ensaios foram desenvolvidos entre os meses de setembro e outubro de 2015, nos Laboratórios de Físico-Química e Química Analítica do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Ponta Grossa – UTFPR-PG na cidade Ponta Grossa.

Considerando dados de projeto do biodigestor e avaliações qualitativas do processo, foi necessário obter os parâmetros que seguem:

3.1. ENSAIO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH):

O pH é um parâmetro que interfere diretamente na geração de biogás. Em situações normais, o valor do pH se neutraliza pelo efeito tampão do carbonato e da amônia. O valor do pH se reduz quando a capacidade de tamponamento do sistema se esgota, ou seja, quando ocorre um acúmulo muito grande de ácidos orgânicos.

Fatores como alcalinidade e acidez influenciam nas atividades dos microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbia da biomassa.

Procedimento: Para a determinação do pH foi realizada leitura das amostras de afluentes, nas diferentes relações de água/dejeto, utilizando medidor de pH digital com eletrodo de escala de bancada da marca *Tecna*[®]. (Figura 12).



Figura 12: pH digital com eletrodo de escala de bancada Tecnal®.
Fonte: Autoria própria (2015)

3.2. ENSAIO ALCALINIDADE:

Alcalinidade, é a capacidade em neutralizar ácidos, em outras palavras, é sua capacidade de tamponamento. Usualmente, as substâncias mais comuns encontradas em águas de superfície causadoras de alcalinidade são os carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-).

É realizado para determinação de compostos químicos (bicarbonatos, hidróxidos e carbonatos) no controle de qualidade de água e de efluentes. A quantidade de alcalinidade está relacionada com a decomposição da matéria orgânica e a alta taxa respiratória dos microrganismos com liberação de gás carbônico. As amostras devem ser tituladas utilizando o ácido H_2SO_4 até o valor do pH baixar para 4,30; o volume consumido mostrará a alcalinidade total.

Procedimento: Os três frascos contendo as amostras utilizando Relações de Água/Dejeto de 4/1 (massa x massa) foram homogeneizados, pipetados 100mL de amostra e transferidos para um béquer de 250mL. Na sequência, foi adicionada uma barra magnética e a devida acomodação do béquer em um agitador magnético. Foi então introduzido o eletrodo do pHmetro (previamente calibrado) no conteúdo do béquer, e foi ligado o sistema de agitação. Procedeu-se o enchimento de uma bureta de 50mL com H_2SO_4 (0,02N) e acoplamento ao conjunto béquer/eletrodo e espera para a estabilização do valor do pH original da amostra. Com o sistema devidamente montado (Figura 13), deu-se o início da titulação que seguiu até pH 4,5 e anotação

do volume gasto = V1, possibilitando assim o cálculo de alcalinidade total a partir da Equação 1.

$$\frac{mmCaCO_3}{L} = \frac{(N_{H_2SO_4} * V_{1H_2SO_4} * 50000)}{\text{volume de amostra}} \quad (1)$$

O experimento foi realizado também em triplicata para as amostras utilizando Relações de Água/Dejeto de 1/1 (massa x massa).



Figura 13: Sistema para análise de Alcalinidade Total
Fonte: Autoria própria (2015)

3.3. ENSAIO SÓLIDOS TOTAIS OU MATÉRIA SECA (MS):

A matéria seca, ou sólidos totais, é a presença total de matéria sem água. A quantidade de matéria seca interfere diretamente na produção de metano. É ideal que a biomassa utilizada possua de matéria seca entre 7 e 9%, isto é, cada 100 litros de biomassa devem conter uma média de 8kg de MS.

O teor de MS foi obtido pela pesagem do resíduo da evaporação de uma amostra, correspondendo ao resíduo da desidratação da amostra.

3.4. ENSAIO SÓLIDOS FIXOS:

O resultado obtido na determinação dos sólidos totais foi submetido à ignição a 550°C. A fração orgânica volatilizou-se e a fração inorgânica permaneceu como cinzas ou sólidos totais fixos. Deve-se observar um aumento dos sólidos fixos nas amostras de saída do biodigestor em relação às amostras de entrada.

3.5. ENSAIO SÓLIDOS VOLÁTEIS:

Refere-se ao conteúdo orgânico dos sólidos totais fixos. A determinação de sólidos voláteis é realizada para caracterização da matéria biodegradável. Quanto maior for a concentração de sólidos voláteis de uma biomassa, maior será a produção de gás, dentro de certos limites, pois dependerá da eficiência do sistema digestor.

Procedimento: Foi realizada a lavagem de três cápsulas de 180g, aquecimento a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ em mufla durante 1 hora. Após esse período, a mufla foi desligada e aguardou-se até que o aparelho atingisse uma temperatura mais amena para retirada das cápsulas. As cápsulas foram arrefecidas em dessecador e pesadas. Em seguida, foi realizada a agitação do frasco contendo as amostras contendo o afluente e os 100mL contidos em cada cilindro graduado foram introduzidos em cada uma das cápsulas. Os cilindros foram lavados com água destilada, afim de remover todos os sólidos que ficaram aderidos nas paredes e esse conteúdo foi despejado nas cápsulas.

Posteriormente, as cápsulas foram levadas à chapa de aquecimento para que as amostras em análise pudessem evaporar até a secura. Na sequência, o banho-maria foi desligado e as cápsulas foram retiradas do sistema. Foram então acondicionadas, as cápsulas mais o resíduo, em estufa a $103\text{-}105^{\circ}\text{C}$ até secagem completa, durante 1 hora. Aguardou-se o esfriamento das cápsulas mais o resíduo no dessecador e posterior pesagem. Desta forma foi possível realizar o cálculo da Equação 2. A operação de secagem a $103\text{-}105^{\circ}\text{C}$, de esfriamento e de pesagem foi repetida, até que se obteve um resultado constante ou com uma variação de 4% entre os dois últimos resultados.

Cálculo de quantificação dos sólidos:

$$\frac{\text{mg de sólidos totais}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Volume da amostra (L)}} \quad (2)$$

Onde: A: peso da amostra mais da cápsula, em mg;
B: peso da cápsula vazia em mg.

A técnica e passos para execução da análise de sólidos fixos e voláteis em questão, seguiu a mesma orientação da análise do item anterior, acrescida de posterior pesagem das cápsulas que foram levadas em seguida à mufla a 550 ± 50°C durante 15 a 20 minutos. Resfriamento em dessecador durante 30 minutos e posterior pesagem. Desta forma foi possível realizar os cálculos das Equações 3 e 4.

$$\frac{\text{mg de sólidos voláteis}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Volume da amostra (L)}} \quad (3)$$

$$\frac{\text{mg de sólidos fixos}}{L} = \frac{(B - C) * 1000}{\text{Volume da amostra (L)}} \quad (4)$$

Onde:

A: peso dos sólidos (peso da cápsula antes da calcinação, mg).

B: peso dos sólidos (peso da cápsula depois da calcinação, mg).

C: peso da cápsula, mg.

As relações em porcentagem de matéria seca foram determinadas por meio das seguintes equações 5 e 6:

$$U = \frac{(Pu - Ps)}{Pu} * 100 \quad (5)$$

$$ST = (100 - U) \quad (6)$$

Onde:

U = teor de umidade da amostra, em %;

Pu = peso úmido da amostra, em g;

Ps = peso seco da amostra, em g;

ST = relação de sólidos totais, em %.

Além disso, as porcentagens das cinzas ou relação de sólidos fixos e das relações de sólidos voláteis foram obtidas por meio das equações 7 e 8:

$$SF = \frac{(1 - Pu - Pm)}{Pu} * 100 \quad (7)$$

$$SV = (ST - SF) \quad (8)$$

Onde:

Pu = peso úmido da amostra, em g;

Pm = peso obtido após queima na mufla, em g;

SF = relação de sólidos fixos, em %;

SV = relação de sólidos voláteis, em %;

ST = relação de sólidos totais, em %.

A figura 14 representa algumas etapas do Ensaio de Sólidos.

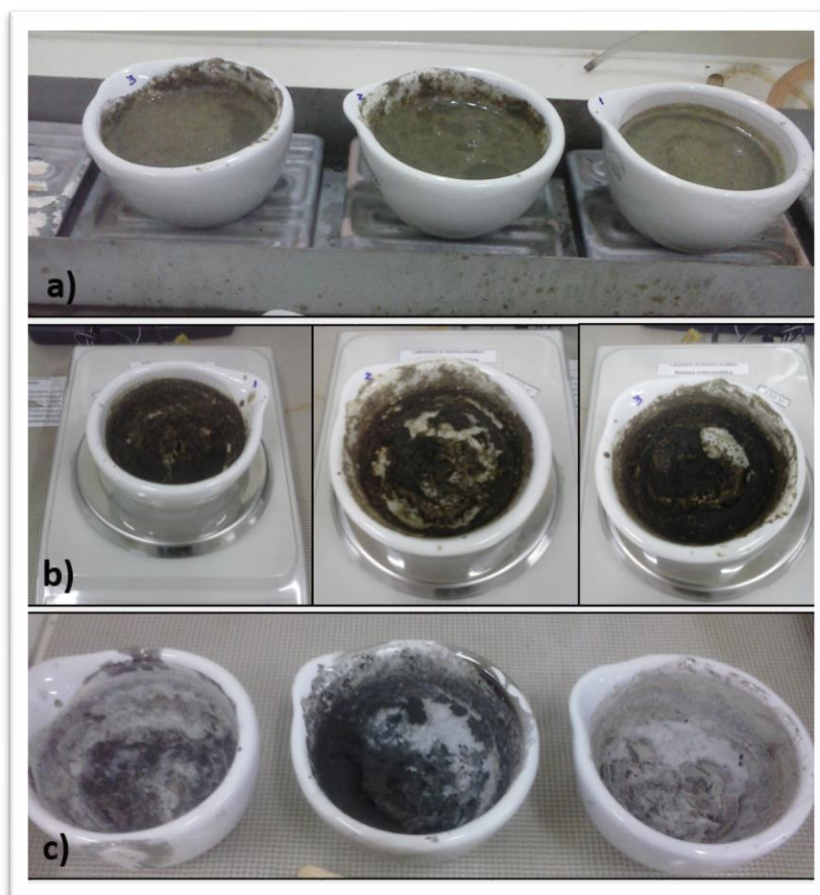


Figura 14: Ensaio de Sólidos. a) Evaporação em chapa de aquecimento; b) Amostras secas para pesagem de ST. c) Amostras calcinadas para pesagem de SF.

Fonte: Aatoria própria (2015)

3.6. ENSAIOS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) E DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO):

A DQO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica oxidável de uma determinada água. Muitas águas residuárias que apresentam altas concentrações de compostos orgânicos de elevada DQO (compostos oxidáveis quimicamente), não podem ser oxidadas pela maioria dos microrganismos. Assumindo que os processos de tratamento biológico removem os compostos biodegradáveis, o parâmetro DQO representa uma medida importante para avaliar a concentração biodegradável do resíduo.

A matéria orgânica presente nas águas naturais e nos efluentes domésticos e industriais tende a ser mineralizada naturalmente pelos microrganismos aeróbios existentes, consumindo oxigênio dissolvido no meio aquoso. O teste de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO tem por objetivo, determinar essa quantidade de oxigênio consumido, e assim, relacionar com a quantidade de matéria orgânica – biodegradável – presente na amostra. Os prejuízos ambientais são grandes quando resíduos orgânicos são arrastados para os cursos d'água, pois, devido à sua alta DBO, reduzem o teor de oxigênio da água, provocando a morte de peixes e microrganismos. Para muitos tipos de despejos, é possível correlacionar a DQO com a DBO.

Procedimento: O método usual de análise de tais parâmetros é o de Refluxo aberto para DQO e o da diluição-incubação por um período de 5 dias a 20°C, através do método da Azida modificado. Devido às limitações das condições de aplicação dos métodos usuais, os altos índices de DQO e DBO esperados e a disponibilidade de um equipamento destinado ao mesmo objetivo, optou-se pela obtenção dos dados utilizando-se do método de espectroscopia de absorção molecular UV empregando espectrofotômetro *PASTEL-UV*[®] da empresa *SECOMAM*[®] (Figura 15) do laboratório de Físico-Química do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UTFPR-PG. A Secomam, em associação com o Sr. Olivier Thomas dos École des Mines d' Ales em Alés-FRANÇA, desenvolveu uma técnica alternativa baseada na análise dos espectros de absorção de UV das amostras. Esta técnica traz um ganho considerável em termos tanto de custos e de tempo.



Figura 15: Espectrofotômetro Pastel UV-SECAMAM®

Fonte: Le Group Aqualabo- SECAMAM (2015)

O Pastel-UV Secomam® foi utilizado em diversos estudos internacionais e nacionais, de acordo com os estudos desenvolvidos OLIVEIRA e MADEIRA (2014), por KALIA (2012) e também por KOLAKOVIĆ et al. (2012). Deste modo, as determinações físico-químicas dos parâmetros DQO e DBO foram determinadas em triplicata e cada análise consistiu na coleta de 1mL da amostra previamente diluída em água destilada usando a relação necessária para adequada leitura pelo equipamento. O volume foi inserido em uma célula de quartzo, a qual foi então introduzida no equipamento. A leitura multiparâmetro é realizada simultaneamente para seis parâmetros e mg/L, dos quais no que diz respeito a este trabalho apenas os parâmetros DQO e DBO interessavam. Ressalta-se a necessidade de homogeneização, da troca de ponteira da micropipeta para cada amostra e da lavagem da lavagem da célula de quartzo com água destilada e com a própria amostra entre cada intervalo de análise (FONSECA, 2014).

3.7. DESTINAÇÃO DO BIOGÁS:

No que diz respeito a destinação do biogás gerado pelo sistema, o mesmo poderá ser utilizado para: Gás de cozinha para padaria (GLP), aquecimento do aviário (GLP) e gás de cozinha para o refeitório (GLP) do Instituto João XXIII.

3.7.1. Gás de Cozinha para Padaria:

A padaria utiliza cerca de dois botijões de 13kg mensalmente. Neste contexto, a destinação de biogás para este sistema poderia eliminar a necessidade de aquisição de GLP, à partir da queima do biogás.

3.7.2. Aquecimento do Aviário:

O aquecimento do aviário é realizado via caldeira alimentada a lenha, além de um sistema complementar nos meses mais frios do ano e que utiliza gás de cozinha (GLP), o qual pode ser visto na Figura 16. Neste contexto, a destinação de biogás para este sistema poderia reduzir o consumo GLP através da queima do biogás.



Figura 16: Sistema de Aquecimento do Aviário.
Fonte: Aatoria própria (2014)

3.7.3. Gás de Cozinha para o Refeitório:

Mensalmente a cozinha do instituto consome cerca de 200 kg de GLP. Neste contexto, a destinação de biogás para este sistema poderia diminuir o consumo GLP através da queima do biogás.

3.8. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA:

A análise de investimento e o estudo de viabilidade financeira geram resultados passíveis de avaliar as possibilidades da implementação do projeto. Deve-se constatar que o seu gerenciamento produz fluxos financeiros de entrada dimensionados e distribuídos ao longo do tempo, de tal forma que permitam enfrentar os desembolsos operacionais e financeiros com sobras, além de cobrir o valor do investimento inicial (COSTA e PEREIRA, 2012).

O investimento inicial pode ser classificado como o gasto necessário para a implantação das instalações e aquisição dos materiais e equipamentos. Todos os dados para custos unitários deverão ser determinados a partir das cotações que deverão ser realizadas na região. Para termos uma estimativa do investimento inicial, pode-se realizar o cálculo apresentado na Equação 9:

$$I_I = C_{equipamentos} + C_{m\tilde{a}o\ de\ obra} \quad (9)$$

Onde,

I_I - Valor total de investimento inicial, R\$;

$C_{equipamentos}$ - Custos com materiais e equipamentos, R\$, e

$C_{m\tilde{a}o\ de\ bra}$ – Custos com mão de obra, R\$.

Cervi (2010), revela que os custos anuais do sistema podem ser determinados considerando-se os custos fixo referentes à depreciação e aos juros sobre o capital imobilizado; e os custos variáveis referem-se manutenção e à operação. O método de depreciação utilizado é o linear, descrito por Nogueira (2001), conforme mostra a Equação 10:

$$Di = \frac{C_i - C_f}{Vu} \quad (10)$$

Onde,

D - depreciação anual, R\$ ano-1;

C_i - custos de materiais depreciáveis, R\$;

C_f - valor final do ativo, R\$, e

V_u - vida útil, anos.

Os benefícios gerados pela instalação do sistema foram calculados de acordo com os dados de redução de consumo das fontes energéticas atualmente em funcionamento na instituição. Com os dados gerados para os custos e benefícios do sistema, podem ser determinados os valores de fluxo de caixa do projeto e a análise de viabilidade econômica que pode ser elucidada partindo dos indicadores que seguem: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperação do Capital (Payback Time).

O valor presente líquido (VPL) é um indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto durante seu período de vida útil. O VPL foi calculado utilizando-se da Equação 11:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} \quad (11)$$

em que,

FC_0 – investimento inicial;

C_i - custo do projeto, em unidades monetárias, no ano i ;

r - taxa de desconto, %;

j - contador de tempo, em anos, e n - período de vida útil do investimento, em anos.

Este indicador representa em valores monetários presentes, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à taxa mínima de atratividade (TMA). Esse indicador exprime uma estimativa direta do aumento (RASOTO et al., 2012).

Para Souza e Clemente (2009), a taxa mínima de atratividade (TMA), é a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise. Esta taxa representa o mínimo ao qual o investidor deseja receber, para investir seu capital em determinado projeto de investimento. Tem-se um resultado bastante favorável no que diz respeito ao indicador que demonstra o risco de implantação do projeto.

O método da taxa interna de retorno (TIR) requer o cálculo da taxa que zera o valor presente líquido (VPL). A taxa interna de retorno (TIR) pode ser determinada pela Equação 12:

$$-FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad (12)$$

Os cenários de projetos de investimentos que apresentarem TIR maior que a taxa de mínima de atratividade serão considerados viáveis (CASAROTTO FILHO & KOPITTKKE, 2007).

O período de recuperação do capital é chamado de Payback Simples (PBS), consiste essencialmente em determinar o tempo necessário para que o somatório do fluxo de caixa seja igual ao investimento inicial. Para avaliar o Payback descontado ou Payback econômico (PBE), considera-se que o somatório do fluxo de caixa descontado a uma taxa mínima de atratividade (TMA) seja, no mínimo, igual ao investimento inicial (CASAROTTO FILHO & KOPITTKKE, 2007).

O fluxo de caixa resultante da inovação pretendida pode ser projetado à partir da estimativa do investimento inicial, as despesas de manutenção do projeto e as receitas provenientes de sua execução. Deste modo, a representação do fluxo de caixa se apresenta na forma de diagrama que considera, o investimento inicial o horizonte do planejamento em anos (N) e os fluxos de caixa líquidos para o período j ($j = 1, 2, 3, \dots, N$), definido pela diferença entre receitas e custos estimados (RASOTO et al., 2012).

Através do levantamento de dados, aplicação de modelos teóricos, dimensionamento do equipamento e avaliação de viabilidade técnico-econômica, será possível descrever as condições de melhor adequação para instalação do sistema de biodigestão no Instituto e os possíveis destinos de aproveitamento do biogás e biofertilizante obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH) E ALCALINIDADE TOTAL:

O pH, é um fator importante para o bom desempenho da digestão anaeróbia, pois as bactérias que participam desse processo são muito sensíveis tanto para pH muito inferior a 7, como também para valores de pH muito elevados.

É necessário que o pH do afluente inserido no biodigestor, esteja em uma faixa próxima à neutralidade, pois do contrário pode causar a falência do processo de biodigestão. A Tabela 3 apresenta os valores de pH obtidos para as amostras de dejetos testadas:

Tabela 3: Potencial hidrogeniônico(pH)

Relação Água X Dejetos = 4/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	1	2	3
pH	6,92	7,16	7,00

Relação Água X Dejetos = 1/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	4	5	6
pH	7,14	7,12	7,04

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

As faixas de pH dos dejetos em diluição utilizando relação de água/dejetos de 4 para 1 (massa x massa) e também utilizando relação de água/dejetos de 1 para 1 (massa x massa) apresentaram resultados bastante condizentes com o observado na pesquisa bibliográfica. As análises em triplicata revelaram um valor médio de 7,03 para a primeira relação de água e ainda um valor médio de 7,10 na segunda relação de água.

Considerando ainda as reduções significativas de pH que ocorrem durante as etapas da biodigestão e a necessidade de manutenção de um meio neutro para ocorrência das reações biológicas, para as diferentes relações de água utilizadas, os dados obtidos para o pH apresentaram-se dentro da faixa ideal de trabalho. Como corroborado por Silva (2003), para que todo o processo microbiológico da digestão anaeróbia ocorra de maneira satisfatória uma das condições ambientais necessária para a sobrevivência das bactérias metanogênicas é que o pH esteja próximo de 7,00. Como as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a alterações ambientais, estas bactérias poderiam se extinguir ou reduzir sua população, comprometendo o processo.

Reduções de pH comparando a entrada e a saída de biodigestor foram notados por Ferreira (2013) utilizando dejetos oriundos de bovinocultura de leite na faixa de 0,07 a 0,53. Deste modo, se observarmos os dados obtidos para a matéria-prima do presente trabalho as variações do pH apesar de sofrerem redução durante a biodigestão irão se manter na faixa de 6,00 a 7,00. Essa redução de pH se deve ao processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que devido às reações de hidrólise levam a uma grande produção de ácidos orgânicos e relativa incapacidade do sistema em utilizar todo o material oriundo das etapas de hidrólise e acidogênese. (BERTOZZO, 2013).

As alcalinidades totais obtidas dos afluentes para as duas situações de estudo estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Alcalinidade Total

Relação Água X Dejetos = 4/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	1	2	3
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	883,76	1097,49	1112,47
Relação Água X Dejetos = 1/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	4	5	6
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	3116,58	3012,77	2975,17

Fonte: (Autoria própria, 2015)

A medição da alcalinidade é mais precisa que a de pH cujos valores variam em escala logarítmica (CHERNICHARO,1997). Desta forma, pequenas reduções no pH implicam em elevado consumo da alcalinidade do meio, diminuindo a capacidade de tamponamento

Para as amostras analisadas na proporção de água/dejetos 4/1(massa x massa), a média das alcalinidades totais ficou em 1031,34 mgCaCO₃/L. Como a alcalinidade é representada pela presença de íons na solução, tais como carbonatos (CO₃²⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻) e hidróxidos (OH⁻), a alta diluição pode ter impactado na análise do parâmetro. Deste modo a utilização de uma grande quantidade de água na diluição dos dejetos exigiria a adição de algum agente alcalinizante no meio a fim de aumentar a capacidade de tamponamento do mesmo. Como destacado por Chernicharo (1997), o uso de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) nos substratos de biodigestores pode auxiliar na formação e manutenção da alcalinidade. No entanto utilizar corretores de alcalinidade total, a depender do volume do biodigestor demanda mais custos ao empreendimento e ainda um acompanhamento das condições do processo deve ser realizado com maior frequência.

Para a maioria dos casos práticos, segundo Grady e Lim (1980), uma alcalinidade total entre 2.500 e 5.000 mg CaCO₃.L⁻¹ é suficiente para se obter um adequado poder tampão no sistema. Assim os resultados obtidos para as amostras analisadas na proporção de água/dejetos 1/1(massa x massa) gerou resultados dentro dos limites aceitáveis para o processo, tendo como média para o parâmetro, um valor de 3034,84 mgCaCO₃/L.

Analisando dejetos oriundos de bovinocultura de leite Santi (2013) obteve 2760,00 mgCaCO₃/L. PESSUTI et al. (2014) obteve melhores resultados também para dejetos de bovinocultura de leite, na faixa de 3668,00 mgCaCO₃/L.

Diante do comparativo realizado, o valor de mínima diluição em água, proporção de água/dejetos 1/1(massa x massa) apresentou os melhores resultados para os parâmetros em avaliação, tendo valores de pH próximos da faixa neutra e alcalinidade total apresentando dados dentro da faixa de trabalho adequado.

4.2. SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS:

Devido as circunstâncias de perdas de massa durante a realização das análises da amostra 6, os dados foram desconsiderados para esta amostra. De toda a forma, para a duplicata utilizando a relação de água/dejetos de 1/1 (massa x massa) forma obtidos dados similares. Assim, seguem os dados apresentados nas Tabela 5 e 6, com os comparativos das diferentes Relações de Sólidos analisadas.

É possível notar diferentes resultados quando são comparados os afluentes utilizando duas diferentes relações de água/ dejetos quanto ao teor de sólidos totais na Tabela 5.

Tabela 5: Sólidos Totais

Relação Água X Dejetos = 4/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Sólidos Totais (mg de sólidos totais/L)	31,76	33,67	37,44
Teor de Umidade (%)	96,81	96,62	96,24
Relação de Sólidos Totais (%)	3,19	3,38	3,76

Relação Água X Dejetos = 1/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Sólidos Totais (mg de sólidos totais/L)	125,75	136,99	Sem dados
Teor de Umidade (%)	87,17	86,03	Sem dados
Relação de Sólidos Totais (%)	12,83 %	13,97 %	Sem dados

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

É evidente o aumento da média de massa quando comparamos as médias de massa para Sólidos Totais utilizando duas diferentes Relações de água/dejetos, tendo em vista que para a relação de água de 1/1 (massa x massa) foi utilizada uma porção maior de amostra de dejetos para o mesmo volume de afluente utilizado na primeira relação de água//dejetos [4/1 (massa x massa)]. Deste modo é interessante avaliar com mais critério os dados obtidos para Relação de Sólidos Totais relacionada com o Teor e Umidade da amostra e que representa a porcentagem de sólidos totais presente nas amostras.

Verificou-se que utilizando a proporção de água//dejetos 4/1 (massa x massa) a Relação de Sólidos Totais teve média de 3,44%. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2014), a respeito da Relação de Sólidos Totais, os dejetos classificam-se em três consistências: sólido (16% ou mais de sólidos totais), semi-sólido (12 a 16% de sólidos totais) e líquido (12% ou menos de sólidos totais). Sendo assim, podemos classificar as amostras do primeiro teste como dejetos líquidos. De acordo com Poulsen (2003), para que o processo de biodigestão anaeróbia seja otimizado, o material para abastecimento dos biodigestores deve apresentar a relação de sólidos, com base na matéria seca, na faixa entre 3 e 25%. No que diz respeito à eficiência na produção de gás, uma Relação de Sólidos Totais mais alta do que a encontrada para a proporção de água/dejetos de 4/1 (massa x massa), com valores de próximos de 12%, promoverá maior conversão de biogás por m³ de afluente tratado. Nesta faixa também podem ser minimizadas as obstruções em

tubulações devido ao acúmulo de material particulado nas instalações. El-Mashad et. al. (2006) tratou dejetos de bovinocultura de leite em sistema de batelada contendo 16% de Sólidos Totais. Em estudo também utilizando dejetos oriundos de bovinocultura de leite, Amaral et. al. (2004) encontrou a Relação de Sólidos Totais contidos no afluente variando entre 7,56% e 11,54%.

Para o presente estudo os dados obtidos utilizando a Relação de água/dejetos de 1/1 (massa x massa) apresentou a média para Relação de Sólidos Totais de 13,44%, estando mais próxima dos casos relatados podendo ser caracterizada como dejetos semi-sólido e indicando ser a mais adequada para a finalidade deste estudo. As variações significativas para o parâmetro em questão, se devem ao fato dos volumes para ambas as relações de água/dejeto serem os mesmos e a proporção de dejetos ser maior no segundo caso. É importante salientar que o teor de sólidos do material de abastecimento do biodigestor, uma vez determinado, deve ser mantido a fim de evitar problemas de instabilidade no processo de degradação; caso haja necessidade de alteração, esta deve ser feita de forma gradual durante longo período de tempo com o propósito de aclimatar as bactérias à nova condição. (POULSEN, 2003).

A Tabela 6 apresenta os dados para Sólidos Voláteis e Fixos para as duas diferentes relações de água/dejeto utilizadas no presente estudo.

Tabela 6: Sólidos Voláteis e Fixos

Relação Água X Dejetos = 4/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Sólidos Voláteis (mg de sólidos totais voláteis/L)	25,19	24,00	26,78
Sólidos Fixos (mg de sólidos totais fixos/L)	6,57	9,66	10,65
Relação de Sólidos Voláteis (%)	87,41	87,98	86,61
Relação de Sólidos Fixos	12,59	12,02	13,39

Relação Água X Dejetos = 1/1 (massa x massa)			
Nº da Amostra	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Sólidos Voláteis (mg de sólidos totais voláteis/L)	93,11	107,20	Sem Dados
Sólidos Fixos (mg de sólidos totais fixos/L)	32,64	29,79	Sem Dados
Relação de Sólidos Voláteis (%)	81,01	78,14	Sem Dados
Relação de Sólidos Fixos (%)	18,99	21,86	Sem Dados

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Os dados obtidos neste estudo geraram uma média de relação de sólidos voláteis de 87,53% e 79,58% para os afluentes utilizando Relações de água/dejetos de 1/4 (massa x massa) e 1/1 (massa x massa), respectivamente. Para Bertozzo (2013), o teor de sólidos voláteis no substrato influencia o potencial de produção de biogás, desta forma, quanto maior ou menor o teor, maior ou menor será a produção de biogás.

Apesar de observar um valor de porcentagem elevada de sólidos voláteis utilizando a primeira relação de água/dejetos, os dados obtidos para as amostras da proporção de água/dejetos de 1/1(massa x massa) apresentaram-se mais condizentes com estudos similares. Em estudo utilizando dejetos de bovinos de leite, Chernicharo (1997) identificou que os sólidos voláteis expressam cerca de 70 a 75% dos sólidos totais. Amaral et al. (2004) verificou que os teores de sólidos voláteis, representaram variações de 83,36%, 81,41% e 79,10 % dos teores de sólidos totais, nos afluentes dos biodigestores utilizando dejetos de bovinocultura de leite. Além disso, é importante ressaltar a maior porcentagem de Relação de Sólidos Totais obtidas para a proporção de água/dejetos de 1/1(massa x massa), o que indica maior existência de Sólidos Voláteis ao processo de biodigestão quando comparada com a proporção de água/dejetos de 1/4 (massa x massa).

Considerando as circunstâncias de processo, os teores de sólidos voláteis do afluente e do efluente do biodigestor podem demonstrar a eficiência do processo, pois quando a eficiência da redução dos sólidos voláteis diminui do afluente para o efluente, pode ser um indicativo de que existe acumulação final de produtos orgânicos que não estão sendo convertidos em biogás (WOHLGEMUT, 2009).

4.3.DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) E DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO):

O teste de DQO é precioso na medida da matéria orgânica, em despejos que contenham substâncias não biodegradáveis. A DQO em um despejo é geralmente mais alta do que a DBO, em virtude da maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química, do que por via biológica. Para muitos tipos de despejos, é possível correlacionar a DQO com a DBO. A Tabela 7 reúne os dados para obtidos para os afluentes utilizados no presente estudo.

Tabela 7: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)

Nº da Amostra	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
DQO (mg/L)	67500	65000	69000
DBO (mg/L)	32250	31000	33000

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Um resíduo pode ser considerado facilmente biodegradável, quando a relação $DQO/DBO = 2$ a 3 . Deste modo, quando a relação $DQO/DBO \gg 3$, a DQO/DBO afluente $<$ DQO/DBO efluente, indicando a existência de matéria orgânica não-biodegradável. Neste caso, se a parte não biodegradável não é importante do ponto de vista da poluição, recomenda-se o tratamento biológico convencional, e o efluente tratado terá grande redução de DBO e redução parcial de DQO. Contrariamente, se a parte não biodegradável é causadora de poluição, o tratamento biológico, a princípio, não é recomendado (CAMPOS, 1997).

Os resultados revelaram que os dejetos de bovinos contêm DQO e DBO em altas concentrações e desta forma possuem potencial poluidor superior ao do dejetos humano. A água residuária produzida por vacas leiteiras gera uma DBO de 4 a 14 vezes maior que a do esgoto urbano (MATOS, 2004). Deste modo o processo de biodigestão anaeróbia promove a redução de tais índices e gera um produto final passível de ser utilizado como fonte de matéria orgânica no meio ambiente sem acarretar maiores danos por excessos de deposição de matéria orgânica.

Além disso, Souza e Clemente (2009) explicam que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é utilizada para estimar a produção teórica de metano, Potencial Bioquímico do Metano – Bmp em processos anaeróbios. A produção teórica de metano assume sempre um valor fixo, expresso em função da DQO, onde 1 kg de DQO convertido corresponde a $0,35 \text{ m}^3$ de metano (CH_4). A conversão do chorume em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência de conversão no biodigestor (85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (5%).

Os dados obtidos na análise geraram uma média de $DQO = 67500 \text{ mg/L}$ e $DBO = 32250$. Fazendo a média das relações DQO/DBO para a situação do estudo obteve-se $DQO/DBO = 2,09$. Sendo assim a amostra comporta-se dentro das condições propícias ao processamento através de tratamento biológico.

Na caracterização de dejetos obtidos de bovinocultura de leite Assenheimer (2007) encontrou dados de DQO = 84397,8 mg/L e DBO = 21791,5 mg/L. E ainda em estudo de reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, com um sistema intensivo de produção de leite, Campos (1997) analisou dados de dejetos dos animais com valores de DQO = 51776 mg/L e DBO = 18028 mg/L. As relações dos dados obtidos para o presente estudo apresentam-se dentro da faixa dos valores encontrados em trabalhos semelhantes.

4.4. DEFINIÇÃO DO MODELO DE BIODIGESTOR E DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO PARA ESCALA DE OPERAÇÃO NA PROPRIEDADE RURAL:

A definição do local apropriado para a instalação do biodigestor, durante o seu dimensionamento, deve levar em conta fatores com: a facilidade de transporte do afluente a ser carregado diariamente; a facilidade de remoção e transporte para utilização do biofertilizante produzido e a distância do local onde será utilizado o biogás; O biodigestor não pode ficar em um local de difícil acesso, nem muito distante, pois isso implicaria em uma grande dificuldade para operação do mesmo.

Os biodigestores do modelo canadense são constituídos basicamente de mantas plásticas. Nestas o biogás tem pouca pressão e devido a isso, este pode ser transportado por, no máximo, 50 m. Entretanto, é recomendado que o biodigestor seja instalado a, pelo menos, 10 m de quaisquer edificações (OLIVER, 2008).

No Instituto João XXIII, as vacas em lactação e em crescimento são alimentadas com pasto complementado por silagem de milho. As vacas permanecem em confinamento na estrebaria das 06h00 às 11h00 e das 15h00 às 19h30 horas e, na leiteria durante a ordenha, que geralmente tem duração de 40 minutos. Já os novilhos permanecem em espaço aberto na maioria do tempo, porém são alimentados na estrebaria e permanecem na mesma cerca de 4 horas.

A seguir, são demonstradas algumas considerações realizadas, segundo dados coletados no Instituto João XXIII e os coeficientes apresentados nas Tabelas 1 e 2:

- a) Quantidade de animais: 45 vacas, 30 novilhos e 10 bezerros;
- b) Sólidos voláteis (SV) das vacas: 4,0 kg por cabeça ao dia;
- c) Sólidos voláteis (SV) dos novilhos: 2,5 kg por cabeça ao dia;

- d) Peso médio das vacas: 550 kg;
 e) Peso médio dos novilhos: 350 kg;
 f) Peso médio dos bezerros: 70 kg;
 g) Tempo de confinamento das vacas em lactação: 10 horas/dia;
 h) Tempo de confinamento dos novilhos: 04 horas/dia;
 i) Tempo de confinamento dos bezerros: considerado como 00 horas, pois são dispostos em curral separado, e não se torna viável a retirada de seus dejetos;
 j) Média mensal (dias): 30 dias;
 k) Potencial de produção de metano (B0) para vacas: 0,18 CH₄/kgSV;
 l) Potencial de produção de metano (B0) para novilhos: 0,14 CH₄/kgSV, considerando o novilho como bovino de corte devido o manejo similar;
 m) Produção específica de dejetos das vacas: 0,00267 m³/cab/dia;
 n) Produção específica de dejetos dos novilhos: 0,00158 m³/cab/dia;
 o) Produção específica de dejetos dos bezerros: 0,00158 m³/cab/dia;
 p) Fator de conversão de metano (FCM): 78%;
 q) Fator de correção (Ufb): 0,94;
 r) % de gás metano no biogás: 60 %.

Na sequência, são apresentados os cálculos base de produção de dejetos:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{QUANTIDADE} & & & & \text{PRODUÇÃO} & & \text{PRODUÇÃO} \\ \text{DE ANIMAIS} & \times & \text{TEMPO DE} & \times & \text{ESPECÍFICA DE} & = & \text{MÉDIA DIÁRIA DE} \\ & & \text{CONFINAMENTO} & & \text{DEJETOS} & & \text{DEJETOS} \\ & & & & & & \text{(13)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \text{PRODUÇÃO} & & & & \text{COEFICIENTE} & & \text{VOLUME} \\ \text{MÉDIA DIÁRIA} & \times & \text{TEMPO DE RETENÇÃO} & \times & \text{DE SEGURANÇA} & = & \text{ESTIMADO} \\ \text{DE DEJETOS} & & \text{HIDRÁULICA DO} & & & & \text{(14)} \\ & & \text{BIODIGESTOR} & & & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{PRODUÇÃO MÉDIA} & & \text{VAZÃO} \\ \text{DIÁRIA DE DEJETOS} & = & \text{DINÂMICA DOS} \\ \frac{\quad}{24} & & \text{DEJETOS} \\ & & \text{(15)} \end{array}$$

A Tabela 8 apresenta os valores calculados para a produção de dejetos.

TABELA 8: Cálculo da Produção de Dejetos – Bovinocultura

Cálculo da produção de dejetos na propriedade								
Tipo de animal	Nº de animais	Tempo de confinam. (h/dia)	Prod. espec. (m³/cab/hora)	Prod. média diária (m³/dia)	Produção média mensal (m³/30 dias)	Coef. de segurança	Vol. estim. (m³/30 dias)	Vazão dos dejetos (m³/h)
Novilho	30	4	0,00158	0,190	5,69	1,15	6,54	0,0079
Bezerro	10	0	0,00158	0,000	0,00	1,15	0,00	0
Vacas	45	10	0,00267	1,202	36,05	1,15	41,45	0,0501
Total	85			1,391	41,73	1,15	47,99	0,0579

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

A partir da Produção média diária de dejetos pode-se realizar o cálculo das dimensões do biodigestor. Os cálculos revelaram uma carga diária de 1,391 m³ de afluentes a serem adicionados no biodigestor. Para calcular o volume necessário do biodigestor, devemos ainda considerar a proporção de água que deverá ser adicionada em volume idêntico a fim de que o processo em escala de operação dentro das mesmas condições obtidas experimentalmente. Além disso, é necessário considerar um adicional de 15% como coeficiente de segurança nesse valor, a fim de suportar alguma variação de carga que possa acontecer. Desta forma, o volume real que será adicionado ao biodigestor é apresentado na Equação 16 que segue:

$$V_{est} = [(P_{Média} + V_{água}) * 0,15] + (P_{Média} + V_{água}) \quad (16)$$

$$V_{est} = [(1,391 + 1,391) * 0,15] + (1,391 + 1,391)$$

$$V_{est} = 3,0602 \text{ m}^3$$

A Tabela 9 apresenta os parâmetros estimados com base no volume real obtido.

TABELA 9: Cálculo Estimado da Alimentação de Afluente – Bovinocultura

Volume estimado de afluente (m³/dia)	Produção média mensal (m³/30 dias)	Vazão dinâmica estimada do afluente (m³/h)
3,0602	91,806	0,1275

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Com o intuito de calcular as principais dimensões do biodigestor, utilizaremos o modelo matemático de equações desenvolvido por Ribeiro (2011),

que foi baseado nas sugestões de Ribeiro (2004), que desenvolveu diferentes tipos de biodigestores canadenses com fossas trapezoidais com a finalidade de maximizar o volume de carga do equipamento e são utilizados por pequenos produtores na América Central.

No desenvolvimento dessas equações, Ribeiro (2011) ajustou os parâmetros Arco, Lateral (b), Altura (h), Base (b), Largura maior (a) com a proporção gás/fase líquida desejada. O modelo conceitual, buscou relacionar os parâmetros detalhados na Figura 17. Deste modo, foi possível realizar o processo de definição das equações para calcular as dimensões da fossa ou fase líquida. Foram realizados testes no modelo matemático através de regressões utilizando o Microsoft Excel 2007 e após isso duzentas variações possíveis foram simuladas no AutoCAD 2009. Assim, o modelo apresentou eficácia para aplicações reais. As equações obtidas por esse modelo estão apresentadas na Tabela 10, e suas variáveis apresentadas na Figura 17.

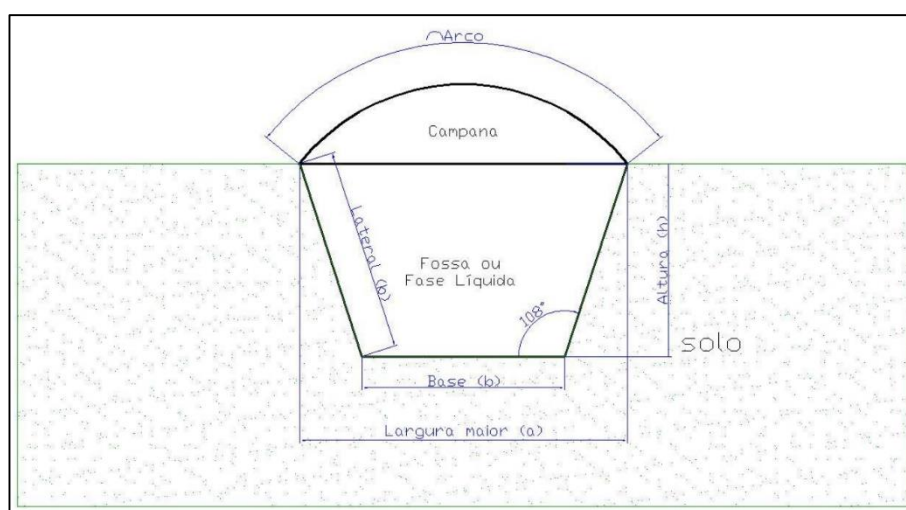


Figura 17: Parâmetros bases utilizado no modelo
Fonte: Ribeiro (2011)

Tabela 10: Equações para cálculo das dimensões do biodigestor

Fórmula	Descrição
$P = C = 2r\pi$ (17)	P = perímetro total transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (18)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = (-1/3 A\% + 1/3)P$ (19)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618b$ (20)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951b$ (21)	h = profundidade da fossa
$A_f = 0,4755(a+b) b$ (22)	A _f = área transversal da fossa
$A_t = A_f / (1-p)$ (23)	A _t = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$A_g = A_t - A_f$ (24)	A _g = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$V_t = A_t L$ (25)	V _t = volume total do biodigestor (campana mais gás) L = comprimento do biodigestor
$V_f = A_f L$ (26)	V _f = volume total da fossa
$V_g = A_g L$ (27)	V _g = volume total do gás

Fonte: (Ribeiro, 2011)

A experiência do Ribeiro (2011) em campo, demonstrou que não é prático e viável por condições físicas, uma instalação de biodigestores com proporção “p” maiores do que 40% (Equação 18), pois o volume da fase líquida nestas condições não será suficiente para manter a campana cheia de gás, ou seja, elevada dentro do período de retenção, fazendo com que a campana colapse sobre a fase líquida.

O uso desta Equação é possível a partir da seleção dos parâmetros iniciais, comprimento (L), raio da bolsa (r) e a proporção de fase gasosa (p). Esses parâmetros são escolhidos condicionados ao volume estimado do biodigestor da Tabela 9.

$$r = 3,00 \text{ m}; p = 0,40; L = 6,00 \text{ m}; \Pi = 3,1415$$

O raio (r), foi definido iterativamente otimizando as dimensões do biodigestor, a proporção (p) foi escolhida conforme o máximo valor admitido para manter a campana cheia de gás e o comprimento (L) também foi definido iterativamente otimizando as dimensões do biodigestor.

Tabela 11: Dimensões estimadas do biodigestor

DADOS		
P	P = perímetro total transversal (campana mais fossa)	18,85 m
A%	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	0,43 m
B	b = lateral, base ou largura menor da fossa	3,55 m
A	a = largura maior da fossa	5,75 m
H	h = profundidade da fossa	3,38 m
Af	Af = área transversal da fossa	15,71 m ²
At	At = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	26,19 m ²
Ag	Ag = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	10,47 m ²
Vt	Vt = volume total do biodigestor (campana mais gás)	157,12 m ³
Vf	Vf = volume total da fossa	94,27 m ³
Vg	Vg = volume total do gás	62,85 m ³

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

As dimensões da caixa de entrada devem ser suficientes para que seu volume suporte o volume de carga diário, deste modo a caixa deverá possuir tamanho relativamente superior, com $\text{Volume}_{\text{entrada}} = 3,50 \text{ m}^3$. Deste modo, para a caixa de saída o dimensionamento é feito para um volume, no mínimo, três vezes o volume da carga diária, para que o biofertilizante seja armazenado, assim o $\text{Volume}_{\text{saída}} = 10,50 \text{ m}^3$.

De acordo com os dados da Tabela 2, a Equação 28 representa o cálculo da produção de biogás para a propriedade do estudo.

$$\begin{aligned}
 & \text{QUANT. DE ANIMAIS} \times \frac{\text{PESO MÉDIO}}{\text{PESO IPCC}} \times \frac{\text{TEMPO DE CONFINAM.}}{24 \text{ HORAS}} \times \frac{\text{SV (IPCC)}}{\text{FCM X B0 X UFB \%}} \times \frac{\text{CH4 NO BIOGÁS}}{\text{CH4 NO BIOGÁS}} = \\
 & \hspace{15em} (28) \\
 & \hspace{15em} = \text{PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE BIOGÁS}
 \end{aligned}$$

TABELA 12: Cálculo da Produção de Biogás - Bovinocultura

Cálculo da produção de biogás por propriedade									
Tipo de animal	Nº de animais	Peso médio / Peso IPCC	Tempo de confinam. (h/dia)/24h	SV - IPCC (kg/cab /dia)	FCM (%)	B0 (CH4/kgSV)	Ufb - Fator de correção	% CH4 de biogás	Prod. média de biogás (m ³ /dia)
Novilho	30	1	0,167	2,500	78,00	0,14	0,94	60	2,14
Bezerro	10	1	0,000	2,500	78,00	0,14	0,94	60	0,00
Vacas	45	1,1	0,417	4,000	78,00	0,18	0,94	60	18,15
TOTAL	85								20,29

Fonte: (Adaptado de IPCC, 2006)

Segundo os resultados obtidos no presente trabalho, a produção média de biogás estimada é de 20,29m³/dia. Segundo Trani (2008), a produção média diária de esterco de uma vaca adulta é de 23,5 kg de dejetos por dia. O potencial de produção do biogás em função de cada kg de dejetos bovino produz 0,04m³ de biogás. (NOGUEIRA, 1986). Através destes dados podemos supor uma situação hipotética para comparar o potencial de geração de biogás através de um biodigestor obtido pelos cálculos.

Deste modo, tomando como 60 vacas adultas o número médio de animais na propriedade (45 vacas adultas e considerando a produção de 30 novilhos próxima a de 15 vacas adultas), a produção diária de dejetos seria cerca de 1410kg. Assim, a expectativa de produção seria de cerca de 56,4m³/dia de biogás. No entanto, considerando o fato da maior parte dos animais estarem em confinamento por um período de aproximadamente 10 horas, a produção média diária de biogás estaria na faixa de 23,5m³. Comparativamente os dados se mostram bastante próximos e diante deste modelo, haveria uma produção de biogás com um acréscimo de 3,21m³. Os cálculos de dimensionamento e viabilidade econômica estão pautados com base nos resultados obtidos através das equações do IPCC (2006), tendo em vista que na prática se houverem excedentes de produção é possível realizar adaptações técnicas e do ponto de vista econômico, o acréscimo de produção terá influência positiva.

4.5. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA:

O tempo de retenção hidráulica ou TRH é o período que um substrato necessita permanecer no biodigestor anaeróbio para que seja degradado de maneira eficiente.

Se o TRH é muito curto, o material orgânico não será completamente degradado resultando em menores rendimentos de biogás e a possível inibição do processo; se ainda for inferior à taxa de multiplicação das bactérias metanogênicas, poderá ocasionar a lavagem ou o arraste das mesmas, prejudicando o sistema.

O TRH mais longo proporciona maiores teores de metano no biogás (COSTA, 2009), ademais, quanto maior o TRH melhor será a eficiência das reduções de coliformes totais e termotolerantes do substrato (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

4.6. TEMPERATURA:

Como convenção, considera-se três faixas de temperatura para a biodigestão: entre 45°C e 60°C o processo é termofílico; entre 20°C e 45°C é mesofílico; entre 10°C a 20°C a digestão é psicrófila (LIMA, 2007, p.6). No caso do Brasil, na maior parte do território, as temperaturas estão na faixa de 20°C a 45°C, com exceção de alguns períodos de inverno. Por isso, praticamente todos os estudos de biodigestão encontrados no Brasil referem-se à faixa de digestão mesofílica.

O município de Ponta Grossa situa-se no estado do Paraná e está geograficamente localizado entre as coordenadas geográficas: latitude 25° 05' 42" S e longitude: 50° 09' 43" W. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1948) Cfb – Subtropical Úmido Mesotérmico: temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. Tietz (2014) ao estudar a influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite, afirma que independentemente da discordância a respeito da temperatura ideal para ocorrer a digestão anaeróbia, os resultados revelam que acima de 10°C o sistema funciona. Deste modo, o processo de biodigestão pode ocorrer na faixa psicrófila (de 10 a 20°C), assim como nas outras duas faixas especificadas.

4.7. MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR:

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

- Caixa de alvenaria ou fibra para caixa de entrada;
- Manta de cobertura de PVC flexível de 1,0 mm;
- Manta de revestimento de PVC flexível de 0,8 mm; Dispositivo Gerador de Descarga para homogeneização do material;
- Válvula de alívio; Flange 6 polegadas;
- Registro de 40mm;
- Gasoduto em polietileno de alta densidade para transporte de Biogás;
- Flare (queimador) para queima de excedente de gás;
- Caixa de alvenaria ou fibra para o armazenamento do biofertilizante.

É importante também que as emendas das tubulações sejam bem vedadas, com cola especial ou fita própria para vedação, a fim de evitar vazamentos. Mesmo assim é importante a realização de testes de vazamentos, banhando as conexões com água e sabão.

4.8. BIOFERTILIZANTE:

Diante dos resultados obtidos para a produção média de dejetos, a produção média de biogás diária e os dados de densidades médias a partir dos dados da literatura para o dejetos (1020kg/m^3) e biogás ($1,2\text{kg/m}^3$), é possível realizar o cálculo aproximado de biofertilizante produzido. A Equação 29 apresenta os resultados obtidos.

$$m_{\text{biofertilizante}} = (P_{\text{Média de afluente}} * d_{\text{afluente}}) - (P_{\text{Média de biogás}} * d_{\text{biogás}}) \quad (29)$$

$$m_{\text{biofertilizante}} = (3,0602 * 1020) - (20,29 * 1,20)$$

$$m_{\text{biofertilizante}} = 3097,06 \text{ kg/dia}$$

A composição média do biofertilizante de bovinos, segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2008), possui geralmente, apropriada quantidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e matéria

orgânica capazes de proporcionarem um adubo de qualidade. Orrico Junior (2011) obteve teores dos macronutrientes e microminerais contidos na matéria seca dos biofertilizantes de bovinos e estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Composição média do biofertilizante

Nutrientes	Representatividade (%)
Nitrogênio (N)	2,43
Fósforo (P)	1,21
Potássio (K)	0,90
Cálcio (Ca)	1,47
Magnésio (Mg)	0,60
Sódio (Na)	0,29
Ferro (Fe)	0,15
Cobre (Cu)	0,03
Zinco (Zn)	0,03
Manganês (Mn)	0,01

Fonte: Adaptado de Orrico Junior (2011)

Os resíduos líquidos de bovinos devem ser estabilizados em lagoas anaeróbias naturais antes de serem utilizados como biofertilizantes. O tempo de retenção para oxidação da carga orgânica varia de acordo com a quantidade de sólidos dos dejetos. Os esterco líquidos de bovinos, para uma estabilização eficiente, necessitam de um período mínimo de 40 dias em lagoa de estabilização para utilização em agricultura (EMBRAPA, 2008).

Considerando a produção de biofertilizante e a necessidade de adequação para as condições de uso do material produzido, é necessária a instalação de uma lagoa secundária com aproximadamente o mesmo volume da fossa utilizada para a instalação do biodigestor. Para armazenar do biofertilizante gerado, é necessária uma lagoa secundária com dimensões semelhantes as obtidas na Tabela 10 para “b”, “a”, “h”, “Af” e “Vf”. Há ainda a necessidade de instalação de membrana de revestimento de PVC flexível de 0,8mm, como exemplificado na Figura 18.



Figura 18: Modelo de Lagoa de biofertilizante
Fonte: Wlodarczyk (2015)

A Figura 19 apresenta o balanço de massa global do sistema de biodigestão a partir dos dados teóricos obtidos para o Instituto João XXIII.

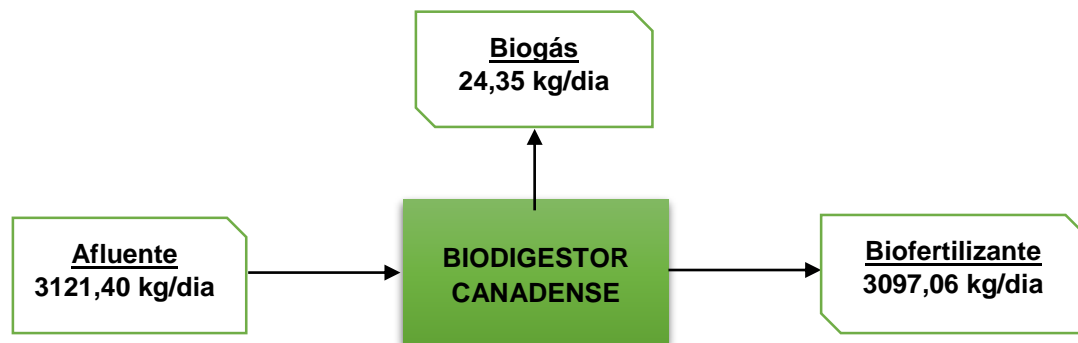


Figura 19: Balanço de Massa Global – Biodigestor Canadense
Fonte: Dados da pesquisa (2015)

4.9. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE BIOGÁS:

No Brasil não existe normatização para cálculo de rede de biogás. A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – normatiza apenas o dimensionamento de redes de GLP que possui características bem diferentes do biogás e é aplicável a ambientes urbanos.

O diâmetro mínimo de tubulação comercial de PEAD (polietileno de alta densidade) é de 25mm. Entretanto, o mínimo recomendado pela literatura especializada para utilização de rede de biogás é de 40mm a fim de garantir transporte adequado do biogás para a propriedade de destino.

Existem empresas especializadas na fabricação de tubulações para utilizações diversificadas, inclusive o PEAD na pigmentação preta, indicado para transporte de biogás em rede.

4.10. REDUÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO (H₂S) NO BIODIGESTOR:

Devido à falta de equações envolvendo equipamentos de fabricação nacional que possibilitem a estimativa de custos a partir do projeto de um novo processo ou da alteração de um existente, foi realizado estudo de mercado junto a empresas do setor a fim de encontrar um sistema adequado para o projeto em questão.

No presente trabalho, o purificador utilizado é do fornecedor “C” e o processo se dá por adsorção em meio químico a seco. O biogás atravessa uma malha contendo grãos de óxido férrico (Fe₂O₃) onde ocorrem reações químicas que oxidam o H₂S. O purificador atende à vazão de biogás de até 30 m³/dia e tem capacidade para tratar até 1600 m³ de biogás antes de ter seu composto férrico ser regenerado. A regeneração, segundo o fabricante, pode ser realizada em um ciclo apenas e o reagente necessita apenas ser retirado do equipamento de purificação e ficar em exposição solar indireta por aproximadamente três dias.

4.11. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA:

Para estimar os custos iniciais do projeto, consideramos os orçamentos de materiais e equipamentos necessários para instalação do biodigestor. Foram inclu

Os valores envolvidos nos cálculos foram levantados após uma análise de mercado com empresas fornecedoras e matérias de construção locais. Três cenários distintos a fim de realização de uma análise acerca de condições do mercado de biofertilizantes foram avaliados. No primeiro cenário, em uma análise otimista, a venda direta de todo o biofertilizante produzido, o segundo cenário, de caráter moderado, considera a venda de 50% do biofertilizante produzido e o terceiro cenário apresenta uma análise discreta que considera que o biofertilizante produzido não possui cliente para venda direta.

TABELA 14: Investimento do Projeto (Equipamentos e Construção Civil)

EQUIPAMENTOS	PREÇO UNITÁRIO	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL	FORNECEDOR
Biodigestor Tubular (4 x 12) 156m ³ (PVC 1mm extrut.)	R\$ 8.742,66	1	PC	R\$ 8.742,66	Fornecedor "A"
Manta Geotêxtil	R\$ 5,62	176,4	m ²	R\$ 991,37	Fornecedor "A"
Lagoa aeróbica (PVC 0,8mm)	R\$ 24,40	196	m ²	R\$ 4.782,40	Fornecedor "A"
Dispositivo Gerador de descarga	R\$ 8.500,00	1	PC	R\$ 8.500,00	Fornecedor "A"
Válvula de alívio	R\$ 250,00	1	Unid.	R\$ 250,00	Fornecedor "A"
Flange 6 pol.	R\$ 44,00	4	Unid.	R\$ 176,00	Fornecedor "A"
Registro 40 mm	R\$ 40,00	1	Unid.	R\$ 40,00	Fornecedor "A"
Gasoduto (PEAD)	R\$ 4,07	750	m	R\$ 3.052,50	Fornecedor "B"
Flare (queimador)	R\$ 500,00	1	PC	R\$ 500,00	Fornecedor "A"
Purificador de Biogás	R\$ 454,00	1	PC	R\$ 454,00	Fornecedor "C"
TOTAL				R\$ 27.488,93	
CONSTRUÇÃO CIVIL	PREÇO UNITÁRIO	QTDDE.		PREÇO TOTAL	
Máquina de escavação	R\$ 100,00	12	horas	R\$ 1.200,00	
Instalação	R\$ 750,00	3	diárias	R\$ 2.250,00	Fornecedor "A"
TOTAL				R\$ 3.450,00	
TOTAL				R\$ 30.938,93	
Total+10%		10%		R\$ 2.748,89	
TOTAL FINAL				R\$ 33.687,82	

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

O valor de 10% somado ao valor total do investimento, diz respeito a possíveis variações de custos e/ou necessidade de aquisição de outros equipamentos, tais como medidor de vazão, entre outros.

Considerando que diante das demandas energéticas do Instituto o cenário apresenta-se mais favorável a economia de GLP na propriedade. A Tabela 15 apresenta a relação entre o biogás e GLP (Gás Liquefeito do Petróleo).

TABELA 15: Relação entre Biogás e GLP.

Tipo de animal	Quantidade de animais	Produção média de biogás (m ³ /dia)	Fator de conversão	GLP (kg/dia)
Novilho	30	2,14	0,40	0,856
Bezerro	10	0,00	0,40	0,00
Vacas	45	18,15	0,40	7,26
TOTAL	85	20,29	0,40	8,116

Fonte: (Adaptado de BGS- Equipamentos para Biogás, 2013)

Os dados da Tabela 14 permitem calcular a produção média de biogás em termos de GLP por mês (243,48 kg/mês) e por ano (2921,76 kg/ano). Considerando as demandas fixas indicadas de GLP na propriedade, em que se contabilizam médias de:

- 2400 kg/ano – Cozinha do refeitório;
- 312 kg/ano – Cozinha da padaria;

Há ainda as demandas variáveis de energia de GLP para aquecimento dos aviários em situações críticas de maior frio. Nestas situações, apenas a queima de lenha para aquecimento dos aviários não é suficiente e poderão ser supridas parcial ou totalmente pelo excedente de oferta que se dará de biogás, tendo em vista que as demandas energéticas fixas de GLP somam uma média de 2712 kg/ano.

A economia gerada na propriedade com a instalação do biodigestor está contabilizada como a receita bruta alcançada pela mesma.

A Tabela 16 contempla os valores de economia considerando conversão para economia em GLP, economia de biofertilizante e economia total para os três cenários distintos. Segue:

TABELA 16: Cenários - Receitas

ITEM	CENÁRIO OTIMISTA		CENÁRIO MODERADO		CENÁRIO DISCRETO	
	FATOR	UNID.	FATOR	UNID.	FATOR	UNID.
<i>GLP</i>						
Volume de biogás	20,29	m ³ /dia	20,29	m ³ /dia	20,29	m ³ /dia
Volume de biogás	608,7	m ³ /mês	608,7	m ³ /mês	608,7	m ³ /mês
Volume de biogás	7304,4	m ³ /ano	7304,4	m ³ /ano	7304,4	m ³ /ano
Fator de conversão	0,4		0,4		0,4	
Produção em GLP	243,48	kg/mês	243,48	kg/mês	243,48	kg/mês
Produção em GLP	2921,76	kg/ano	2921,76	kg/ano	2921,76	kg/ano
Preço GLP	R\$ 5,45	/kg	R\$ 5,45	/kg	R\$ 5,45	/kg
Economia gerada	R\$ 1.326,97	/mês	R\$ 1.326,97	/mês	R\$ 1.326,97	/mês
Economia gerada	R\$ 15.923,59	/ano	R\$ 15.923,59	/ano	R\$ 15.923,59	/ano
<i>BIOFERTILIZANTE</i>	<i>QUANT.</i>	<i>UNID.</i>	<i>QUANT.</i>	<i>UNID.</i>	<i>QUANT.</i>	<i>UNID.</i>
Volume de biofertilizante	3,04	m ³ /dia	3,04	m ³ /dia	3,04	m ³ /dia
Volume de biofertilizante	91,2	m ³ /mês	91,2	m ³ /mês	91,2	m ³ /mês
Volume de biofertilizante	1094,4	m ³ /ano	1094,4	m ³ /ano	1094,4	m ³ /ano
Preço	R\$ 20,00	/kg	R\$ 20,00	/kg	R\$ -	/kg
Economia gerada	R\$ 1.824,00	mês	R\$ 912,00	mês	R\$ -	mês
Economia gerada	R\$ 21.888,00	ano	R\$ 10.944,00	ano	R\$ -	ano
Economia total	R\$ 37.811,59	ano	R\$ 26.867,59	ano	R\$ 15.923,59	ano

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

A análise de cenários pode ser usada para se lidar com o risco do projeto e captar a variabilidade das entradas de caixa e dos VPL's. A análise de cenários permite atribuir duas novas probabilidades ao caso base: o melhor caso e o pior caso. Conforme Ehrhardt e Brigham (2012) esclarecem, as condições poderiam assumir mais de três valores, mas que a configuração dos três cenários é bastante útil para se formar uma ideia do grau de risco do projeto.

Dentro dos custos fixos, nos custos de manutenção de equipamentos foram consideradas porcentagens padrão de acordo com o investimento.

O Instituto João XXII utiliza água proveniente de poços artesianos, sendo assim, o consumo de água não será contabilizado. Como a matéria prima utilizada será o dejetos e outros insumos não necessitam ser adquiridos, não estão considerados custos variáveis.

TABELA 17: Custos fixos e custos variáveis

Custos Fixos	Custo de Manutenção	UN.	Custo anual
Manutenção Equipamentos	9,00	%	R\$ 2.474,00
TOTAL			R\$ 2.474,00
Custos Variáveis			Custo anual
Matéria prima			R\$ 0,00

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Para as despesas fixas foram contabilizados o seguro dos equipamentos, sendo considerado valor padrão de 4% do valor total dos equipamentos e utensílios. Eventuais despesas variáveis não foram consideradas no Projeto.

TABELA 18: Despesas fixas e despesas variáveis

Despesas fixas	UN.	Custo anual
Seguro	4,00 %	R\$ 1.099,56
TOTAL		R\$ 1.099,56
Despesas Variáveis		Custo anual
Impostos		R\$ 0,00

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Avaliando o fato de no primeiro ano de funcionamento, ainda existirem necessidades de adequação do projeto e também considerando que o processo esteja em etapas de estabilização nos primeiros meses de operação, a receita líquida para o primeiro ano foi considerada como sendo 50%.

Assim, seguem as Tabela 19, 20 e 21 que apresentam os demonstrativos de resultados (DR) para o cenário otimista, moderado e discreto, respectivamente. Os demonstrativos apresentam resultados apenas para os primeiros 5 anos, visto que à partir do 2º ano a realidade do fluxo de caixa é a mesma até o 15º ano.

As depreciações foram consideradas de acordo com cálculo apresentado na metodologia utilizando dados de especificação técnica que descrevem a vida útil de quinze anos para o biodigestor tubular, dispositivo gerador de descarga, válvula de alívio, registro e flare; Dez anos para Lagoa aeróbica, cinco anos para a Manta geotêxtil e de 6 meses para o purificador de biogás.

TABELA 19: Cenário Otimista - DR dos primeiros 5 anos do projeto

ANO	0	1	2	3	4	5
Investimento Inicial	33.687,82	-				
Receitas líquida	-	18.905,80	37.811,59	37.811,59	37.811,59	37.811,59
(-) Custos fixos		2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00
(-) Custos variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro Bruto		16.431,79	35.337,59	35.337,59	35.337,59	35.337,59
(-) Despesas fixas		1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56
(-) Despesas Variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Depreciação		2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62
(=) Lucro Líquido antes do IR		12.542,61	31.448,41	31.448,41	31.448,41	31.448,41
(-) IR		0%	0%	0%	0%	0%
(=) Lucro Líquido após IR	-33.687,82	12.542,61	31.448,41	31.448,41	31.448,41	31.448,41

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

TABELA 20: Cenário Moderado - DR dos primeiros 5 anos do projeto

ANO	0	1	2	3	4	5
Investimento Inicial	33.687,82	-				
Receitas líquida	-	13.433,80	26.867,59	26.867,59	26.867,59	26.867,59
(-) Custos fixos		2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00
(-) Custos variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro Bruto		10.959,79	24.393,59	24.393,59	24.393,59	24.393,59
(-) Despesas fixas		1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56
(-) Despesas Variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Depreciação		2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62
(=) Lucro Líquido antes do IR		7.070,61	20.504,41	20.504,41	20.504,41	20.504,41
(-) IR		0%	0%	0%	0%	0%
(=) Lucro Líquido após IR	-33.687,82	7.070,61	20.504,41	20.504,41	20.504,41	20.504,41

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

TABELA 21: Cenário Discreto - DR dos primeiros 5 anos do projeto

ANO	0	1	2	3	4	5
Investimento Inicial	33.687,82	-				
Receitas líquida	-	7.961,80	15.923,59	15.923,59	15.923,59	15.923,59
(-) Custos fixos		2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00	2.474,00
(-) Custos variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro Bruto		5.487,79	13.449,59	13.449,59	13.449,59	13.449,59
(-) Despesas fixas		1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56	1.099,56
(-) Despesas Variáveis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Depreciação		2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62	2.789,62
(=) Lucro Líquido antes do IR		1.598,61	9.560,41	9.560,41	9.560,41	9.560,41
(-) IR		0%	0%	0%	0%	0%
(=) Lucro Líquido após IR	-33.687,82	1.598,61	9.560,41	9.560,41	9.560,41	9.560,41

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

Os diagramas de Fluxo de Caixa para o cenário otimista, moderado e discreto estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 20, 21 e 22. Nestes diagramas, o eixo horizontal representa o horizonte de planejamento (vida útil), que para o presente projeto é de quinze anos e está dividido em períodos unitários. O eixo vertical representa as entradas ou saídas de caixa. Demonstra a variação do fluxo de caixa que considera o investimento inicial, os custos e despesas fixas e as receitas provenientes de sua execução.

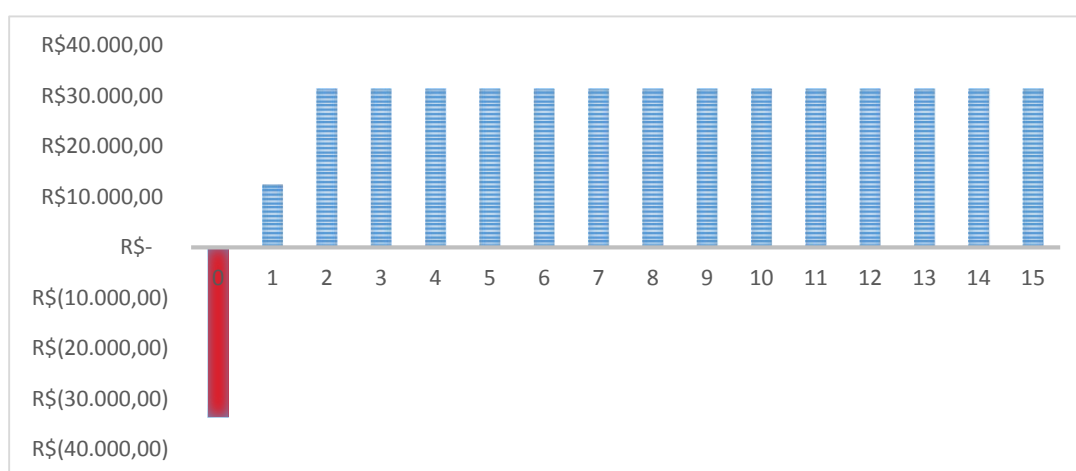


Figura 20: Cenário Otimista - Fluxo de caixa para 15 anos de operação
Fonte: Dados da pesquisa (2015)

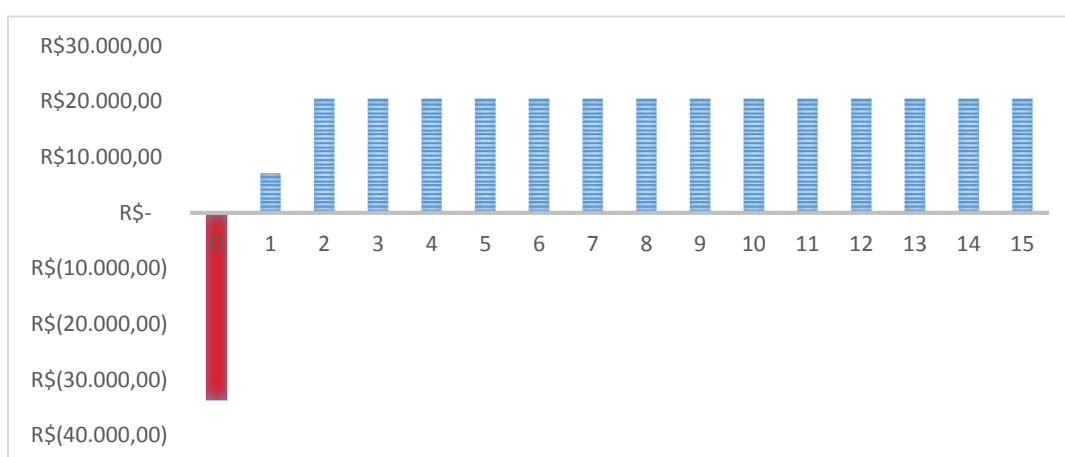


Figura 21: Cenário Moderado - Fluxo de caixa para 15 anos de operação
Fonte: Dados da pesquisa (2015)

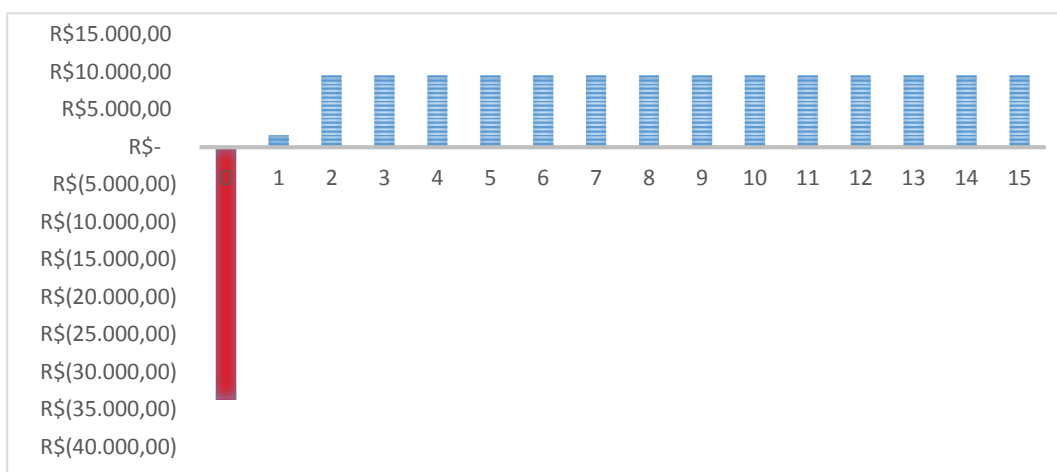


Figura 22: Cenário Discreto - Fluxo de caixa para 15 anos de operação
Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Análoga a situação verificada por Baldin (2013), ao não encontrar em publicações o valor médio de TMA aplicado em investimentos para o setor, adotou-se o valor de 12% ao ano, valor médio da SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) para os meses de janeiro a setembro de 2015. É a taxa que serve como referência pelo mercado financeiro e serve de instrumentos para formulação de políticas monetárias pelo Banco Central, sendo utilizado como referência pela política monetária. A Tabela 22 apresenta os resultados dos principais índices de viabilidade econômica do presente estudo.

TABELA 22: Indicadores de viabilidade econômica

Cenário	Otimista	Moderado	Discreto
TMA		12%	
Taxa Interna de Retorno (TIR)	70,18%	47,80%	22,69%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 146.091,19	R\$ 83.902,19	R\$ 21.712,56
Payback Simples	1,67 anos	2,30 anos	4,36 anos
Payback Descontado	1,89 anos	2,76 anos	6,35 anos

Fonte: (Dados da pesquisa, 2015)

A partir da análise dos resultados e considerado os indicadores obtidos, os três cenários revelaram serem viáveis do ponto de vista econômico, apresentando taxas internas de retorno acima da TMA de 12%. Um fator que desfavorece o cenário discreto é o tempo de retorno do investimento, que se apresentou relativamente alto quando comparada com os demais cenários e ainda acarreta em uma oferta de biofertilizante que não possui demanda interna na instituição, tendo

que ser efetivamente destinada para outra propriedade. No que diz respeito ao cenário otimista, apesar de resultar em indicadores bastante favoráveis, deve-se considerar as condições de produção de biofertilizante para consumo próprio na propriedade do estudo, visto que esta possui aproximados 28 hectares destinados a agricultura. Diante destas circunstâncias, apesar dos resultados financeiros para o projeto otimista serem mais promissores, o cenário mais condizente com a realidade atual da instituição e que apresenta viabilidade para este projeto é o cenário moderado, relativo a venda de 50% do biofertilizante produzido.

O cenário proposto apresentou uma taxa interna de retorno (TIR) de 17,22% considerando os três primeiros anos de operação e ainda uma TIR de 48% quando considerado o tempo de vida útil total do projeto, o valor substantivamente acima da taxa mínima de atratividade de 12%, apresenta baixo risco de implantação. Podemos observar ainda, que o retorno do investimento em anos apresentou resultado de 2 anos e 4 meses após a implantação do projeto pelo Payback simples e pelo Payback descontado um resultado de 2 anos e 9 meses. O Payback descontado apresenta um resultado mais próximo da realidade futura do investimento, pois ele considera o desconto do fluxo de caixa e reduz os pagamentos futuros pelo custo de capital. Para o presente projeto, o custo de capital é a TMA, ou seja, 12% ao ano, pois o valor monetário futuro terá menos valor que o valor monetário presente é e necessário avaliar o valor do dinheiro no tempo (RASOTO et al., 2012). Este resultado revela-se bastante positivo em virtude do tempo de vida útil de 15 anos do equipamento. Apresentou também um valor positivo de VPL, o que revela a viabilidade econômica de implantação do projeto.

Ao analisar a viabilidade de implantação de biodigestores em assentamentos rurais com uso de dejetos animais, Esperancini et al. (2007) encontrou um período de recuperação do investimento foi de 2,5 anos. O estudo também permitiu indicar que essas a ampliação de pesquisas no setor, podem servir como base para o desenvolvimento de políticas públicas direcionadas ao aproveitamento de biomassa para a produção de energia a baixos custos.

Ao estudar a viabilidade de biodigestores no município de Dourados, Turdera (2006), afirmou que este tipo de opção tecnológica é de fato viável de forma pontual, ou seja atendendo pequenos grupos de pessoas e locais que reúnam certas

condições. De toda a forma, o biogás e seus produtos ainda, podem tornarem-se alternativas promissoras do ponto de vista ambiental e econômico em maior escala.

É importante pontuar que em propriedade rurais que possuem um número mais elevado de bovinos leiteiros, a geração de biogás, e seu posterior aproveitamento energético através de sua queima em microturbinas é altamente viável. Analisando uma propriedade rural que possuía cerca de 300 vacas leiteiras, Hirano (2014) revelou ser possível produzir, no mínimo 30,27 kWh/mês de energia por animal. Desta forma, 300 vacas são capazes de produzir cerca de 9.081 kWh/mês de energia elétrica, e podem representar em torno de 95 % de economia em energia elétrica. Tais resultados apresentam um setor favorável para que ocorram crescentes incentivos por novos estudos acerca da temática.

5. CONCLUSÕES

A utilização de tecnologias sociais em um cenário mundial de urgente necessidade de ação humana em prol do desenvolvimento sustentável, é notadamente imprescindível. Nestes moldes, é necessário destacar a utilização do biogás oriundo da digestão anaeróbia de resíduos agropecuários como uma promissora fonte energética para o mercado brasileiro.

Todo o dejetos desprezado na natureza acarreta problemas envolvendo contaminação da água e dos solos, emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, atração de animais transmissores de doenças e o manejo adequado destes despejos à partir da biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma estratégia eficiente na resolução destes litígios.

A caracterização dos dejetos oriundos da bovinocultura de leite da Instituição, revelou condições propícias de processamento à partir de biodigestão anaeróbia e de acordo com o panorama das pesquisas atuais no setor, os resultados obtidos demonstraram-se condizentes com os parâmetros de operação do equipamento.

O estudo proporcionou a comprovação da viabilidade técnica e econômica, de implantação de um biodigestor do modelo canadense na referida propriedade do estudo. Deste modo, a manutenção e acompanhamento do projeto junto ao Instituto João XXIII, poderá permitir por meio da busca de parceiros locais em médio a longo prazo, a implantação do equipamento descrito e assim, acarretar em implicações positivas para a manutenção sustentável da propriedade, sendo uma maneira de ter acesso a uma energia de fonte renovável, conseqüentemente a melhoria da qualidade do solo à partir da utilização do biofertilizante e promovendo o incentivo a utilização de tecnologias benéficas par o meio ambiente.

Considerando ainda a disponibilidade de resíduos oriundos de outras fontes no Instituto João XXIII e demais propriedades localizadas na região de Ponta Grossa e dos Campos Gerais. Este estudo caracteriza-se também como potencial instigador para ampliação de propostas de trabalhos focados em aplicações de tecnologias sociais e na promoção de geração energética a partir de fontes de origem renovável.

No tocante ao tratamento do biogás produzido, com a finalidade de purificação do mesmo, a fim de que constitua-se essencialmente de metano e possa

ser utilizado também como combustível veicular, é imprescindível que pesquisas por novas tecnologias e com custos mais reduzidos sejam estimuladas.

Considerando alternativas de obtenção de recursos com o sistema de biodigestão, pontua-se também o desenvolvimento de projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Nestes projetos, a redução significativa de emissões nocivas para a atmosfera podem beneficiar os envolvidos, à partir da venda dos créditos de carbono.

Salienta-se ainda a necessidade da manutenção dos programas e políticas públicas de incentivo à inovação, assim como a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010, preocupada com o tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos e o incentivo à programas e projetos focados na ampliação da oferta de energias renováveis e de tecnologias de caráter socioambiental, afim de que o país continue avançando frente aos desafios dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, A. M. A. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134 p. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)–Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. Disponível em: < http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96593/aires_am_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20/set de 2015.

AMARAL, C. M. C. do et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. *Ciência Rural*, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n6/a35v34n6.pdf>>. Acesso em: 10/out de 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, ET AL. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. Vol. 22; 2013.

ASSENHEIMER, A. **Tratamento de Dejetos Bovinos em Sistema Intensivo de Produção de Leite com Aeração Mecânica**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Marechal Cândido Rondon. 2007. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/3/TDE-2008-04-02T151938Z-186/Publico/Adriane%20Assenheimer.pdf>. Acesso em: 14/out de 2015.

BALDIN, Vitor. **Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário**. 2014. Dissertação (mestrado) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco. Disponível em: < http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/756/1/PB_PPGEE_M_Baldin,%20Vitor_2013.pdf>. Acesso em: 14/out de 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano mais pecuária / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília: MAPA/ACS,32p.; 2014. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/Publicacao_v2.pdf>. Acesso em: 30/nov de 2014.

BERTOZZO, F. **Co-Digestão Anaeróbia de Dejetos de Bovinos e Dois Tipos de Glicerina Bruta**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2013. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1060.pdf>>. Acesso em: 10/out de 2014.

BLEY JR., C. **Biogás: a energia invisível**. [Prefácio de Leonardo Boff] – 2ª ed. rev. e ampl. São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015. Disponível em:< http://www.cogen.com.br/paper/2015/Biogas_Energia_Invisivel.pdf>. Acesso em: 14/out de 2015.

BGS. **Cálculo de produção de Biogás.** BGS Equipamentos para Biogás. Curitiba/PR. 2013. Disponível em: < <http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>>. Acesso em: 05/nov de 2015.

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

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. St; BUENO, OSMAR de C. **Viabilidade Econômica da Utilização do Biogás Produzido em Granja Suinícola para Geração de Energia Elétrica.** Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, UNESP, Botucatu – SP, 2010.

CHAKRABARTY, S.; BOKSH, F. I. M.; CHAKRABORTY, **Arpita. Economic viability of biogas and green self-employment opportunities.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 28, p. 757-766, 2013.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios.** 2a ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, p. 31-97. 1997.

CI – BIOGÁS. **Metodologia de dimensionamento: Estimativa do Potencial de Produção de Dejetos, Estimativa do Potencial de Produção de Biogás e Gasoduto.** Foz do Iguaçu, 2011.

COSTA, L. G. T. A.; PEREIRA, A. S. **Análise de Investimentos.** IESDE Brasil S.A., Curitiba, Brasil, 432 p., 2012.

COSTA, L. V. C. da. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009. Disponível em: < <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp096597.pdf>>. Acesso em: 05/out de 2015.

DAGNINO, R. **Ciência e Tecnologia para a cidadania ou Adequação Sociotécnica com o povo.** Instituto de Estudios Sociales y Culturales PENSAR: Ciência e Tecnologia para la ciudadanía. Bogotá, 2008. Disponível em: < <http://www.plataformademocratica.org/Publicacoes/206.pdf>>. Acesso em: 05/nov de 2015.

DECEZARO, S. T. **Tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite no Brasil – situação atual e possibilidades.** Universidade Federal De Santa Maria Departamento De Ciências Agronômicas E Ambientais Curso De Engenharia Ambiental. Frederico Westphalen, RS, Brasil, 2013. Disponível em: < http://w3.ufsm.br/cesnors/images/TCC_Samara_Decezaro.pdf>. Acesso em: 20/set de 2015.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.** In: **40 encontro de energia meio rural.** São Paulo, 2002. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP. São Paulo, 2002.

DE LUCA BONTURI, G.; VAN DIJK, M. **Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais.** Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 8, n. 2, 2012.

DEUBLEIN, D; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction.** Weinhein-Germany: Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

EL-MASHAD, H. M. et al. **Effect of inoculum addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system.** Biosystems engineering, v. 95, n. 2, p. 245-254, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751100600208X>>. Acesso em: 05/out de 2015.

EHRHARDT, M. C.; BRIGHAM, E. F. **Administração financeira: teoria e prática.** 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite,** 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_250_21720039249.html>. Acesso em: 05/out de 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 19/out de 2015.

ESPERANCINI, M.S.T.; COLEN, F.; BUENO, O.C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMON, E.J. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118,2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000100004>. Acesso em: 05/nov de 2015.

FERREIRA, L. M. S. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros com e sem separação da fração sólida.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/96527>>. Acesso em: 30/nov de 2014.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. **Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás.** Engenharia Sanitária Ambiental, v. 14, n. 2, p. 167-172, Rio de Janeiro, 2009.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. **As Energias Renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.** Revista Nexos Econômicos, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/Denilton/Downloads/8359-42296-1-PB.pdf>. Acesso em: 04/nov de 2015.

FONSECA, R. I. D. **Ocorrência e Determinação de Triclosan em Águas de Abastecimento na Bacia do Rio Pitangui.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa – Pós Graduação em Química Aplicada. Ponta Grossa, 2014. Disponível em: <http://bicentedeuepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1111>. Acesso em: 15/out de 2015.

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.** 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85585>. Acesso em: 30/nov de 2014.

GRADY, C. P. L. Jr. LIM, H. C. **Biological Waste Treatment.** New York: Marcel Dekker, 1980.

HERNANDEZ, S.P. et al. **Biogas purification for MCFC application.** International Journal of Hydrogen Energy, v.36, p. 8112-8118, 2011. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.2484&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 15/out de 2015.

HIRANO, Marcio Yukio; DA SILVA, Celso Luiz. **Análise da viabilidade do uso de biogás gerado a partir de dejetos bovinos em microturbinas para fins de geração, cogeração e trigerção de energia.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 1, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Denilton/Downloads/783-1578-2-PB%20(1).pdf>. Acesso em: 04/nov de 2015.

HY Energia. **Biodigestor, energia que não polui.** Energia para todos e um ambiente mais saudável. Disponível em: <www.hyenergia.com> Acesso em: 15/nov de 2014.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal.** Prod. Pec. munic., Rio de Janeiro, v. 41, p.1-108, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf> Acesso em: 15/nov de 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, DONG, H.; MANGINO, J.; McALLISTER, T. A.; HATFIELD, J. L.; JOHNSON D. E., LASSEY, K. R.; LIMA M. A.; ROMANOVSKAYA. A. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: Emissions From Livestock and manure management. 2006.

KALIA, V. C. et al. **Kit for estimation of chemical oxygen demand**. U.S. Patent n. 8,101,136, 24 jan. 2012. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=Kit+for+estimation+of+chemical+oxygen+demand&btnG=&lr>> Acesso em: 20/out de 2015.

KLAVON, K. H. et al. **Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States**. Biomass and Bioenergy, v. 54, p. 36-45, 2013.

KOLAKOVIĆ, S. et al. **Effects of reactive filters based on modified zeolite in dairy industry wastewater treatment process**. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, v. 19, n. 4, p. 583-592, 2013.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.

LEE Y. et al. **Pilot-scale study of horizontal anaerobic digester for biogas production using food waste**. World Academy of Science, Engineering and Technology. Suwon, v. 5, p. 1605-1608, 2011.

LIMA, P. C. R. **Biogás da suinocultura: uma importante fonte de geração de energia**. Relatório elaborado para a Câmara dos Deputados por Consultor Legislativo da área XII – Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos, outubro de 2007. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1724>> Acesso em: 28/set de 2015.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. de F. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa-MG, CTP, 2009.

MARCHAIM, U. **Biogas process for sustainable development**. 1. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992. 232 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0541E/T0541E00.HTM>. >. Acesso em: 10/nov de 2014.

MATOS, A.T. de. **Manejo e tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: DEA/UFV, 2004. 120 p. (Caderno didático n.31).

MÜLLER, R. et al. **Dessulfurização biológica de biogás nas condições ambientais do Brasil/biological desulfurization of the biogas in environmental conditions of Brazil**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas/Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 8, n. 1, p. 8-12, 2014.

NOGUEIRA, L. A. **Biodigestão. A alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93p.

NOGUEIRA, R. G. S. **Inclusão de Cana-De-Açúcar Triturada em Biodigestores Abastecidos com Dejetos de Bovinos de Corte Confinados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2013. Disponível em: <

http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/pe_tec_017_FrancineSousa.PDF>. Acesso em: 15/out de 2014.

NOGUEIRA, E. **Análise de investimentos**. In: BATALHA, M. O. Gestão agroindustrial. 2.ed. v.1. 692 p. São Paulo: Atlas, 2001.

NUTZUNG, V. der G. zur et al.; Leitfaden Biogás – Versão traduzida para **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. Ed. 5. 2013. Disponível em: <<http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfadenbiogas-por-finalweb-20131002.pdf>> Acesso em 03/out de 2014.

OLIVEIRA, M. M. de. **Estudo da Inclusão de Compartimentos em Biodigestores Modelo Canadense**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2012. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/ppgepro/attachments/article/125/2012-%20Matias%20Marchesan%20de%20Oliveira%2006_09_2012.pdf. > Acesso em: 15/out de 2014.

OLIVEIRA, L. A.; MADEIRA, V. S. **Tratamento Terciário de Esgoto Sanitário Visando o Reúso da Água**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 7498-7505, 2014.

OLIVER, A. P. M. et al. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Bahia, 2008. Disponível em: <http://ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf> Acesso em: 14/out de 2015.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto Residencial da USP- Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

POULSEN, T. G. Anaerobic digestion. In: _____. **Solid Waste Management**. Aalborg University, Denmark, June 2003. p. 93-115. Disponível em:<http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/intwastech5_poulsen_2003.pdf> Acesso em: 05/out de 2015.

RAMACHANDRA, T. V.; KAMAKSHI, G.; SHRUTHI, B. V. **Bioresource status in Karnataka. Renewable and Sustainable Energy Review's**, v 8, p. 1-47, 2004.

RASOTO, A. et al; **Gestão Financeira: enfoque em Inovação**. Aymarã Educação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL. **Mostra de tecnologias sociais**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.rts.org.br/publicacoes/arquivos/mostra_tecnologias_sociais_portugues.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

REZENDE, L. C. **É preciso diversificar a matriz energética no Brasil**. Canal-Jornal da Bioenergia. St. Bueno. Goiânia. 2015. Disponível em: <

<http://www.canalbioenergia.com.br/desafios-energeticos-diversificacao-e-a-saida-para-o-brasil/>>. Acesso em: 04/nov de 2015.

RIBEIRO, D. da S. **Biodigestor: Maximización del volumen**. Universidad Earth. Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Prof.: Botero, R. Matemáticas Aplicadas, 2004. Disponível em: <<https://googlegroups.com/group/redbiolac/attach/2f7743ebf85e5967/Biodigestor%20maximizaci%C3%B3n.doc?part=0.2>>. Acesso em: 20/set de 2015.

RIBEIRO, D. da S.. **Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida**. Holos, v. 1, p. 49-56, 2011. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewArticle/269>>. Acesso em: 20/set de 2015.

SANTI, L. **Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/96514>>. Acesso em: 20/set de 2014.

SILVA, F. L. **Lagoas de estabilização de dejetos de suínos: avaliação da eficiência de um sistema empregando parâmetros físico-químicos e biológicos**. 2003. 58p. Dissertação (Mestrado em Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SOUSA, Francine Aparecida et al. **Parâmetros físico-químicos de dejetos de bovinos tratados em tanques aerados**. III Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento De Resíduos Agropecuários E Agroindustriais 12 A 14 De Março De 2013 – São Pedro – SP. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/pe_tec_017_FrancineSousa.PDF>. Acesso em: 20/set de 2014.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimento**. São Paulo, Atlas: 2009.

TURDERA, Mirko V.; YURA, Danilo. **Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados**. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.pHp?pid=MSC0000000022006000100062&scrypt=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 04/nov de 2015.

TIETZ, C. M. et al. **Influência da Temperatura na Produção de Biogás a Partir de Dejetos da Bovinocultura de Leite**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, n. 2, 2014. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.pHp/rber/article/view/37553>>. Acesso em: 01/nov de 2015.

TRANI, P.E.; CAMARGO, M.S. do: TRANI, A.L.; PASSOS, F.A. **Superfosfato simples com esterco animal: um bom fertilizante organomineral**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/organomineral/index.htm>. Acesso em: 05/nov de 2015.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclet. Quím. [online]. vol.22, pp. 49-66, 1997.

VALENTE, V. B. **Análise de Viabilidade Econômica e Escala Mínima de Uso do Biogás de Reatores Anaeróbios em Estações de Tratamento de Esgoto no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/bustani.pdf>>. Acesso em: 17/out de 2015.

VENTURA, A. C.; ANDRADE, José Célio Silveira; ALMEIDA, A. C. A. de. **Soluções locais para problemas globais: análise de possíveis contribuições das tecnologias sociais para a mitigação do aquecimento global**. Revista Ciências Administrativas, v. 17, n. 3, 2011.

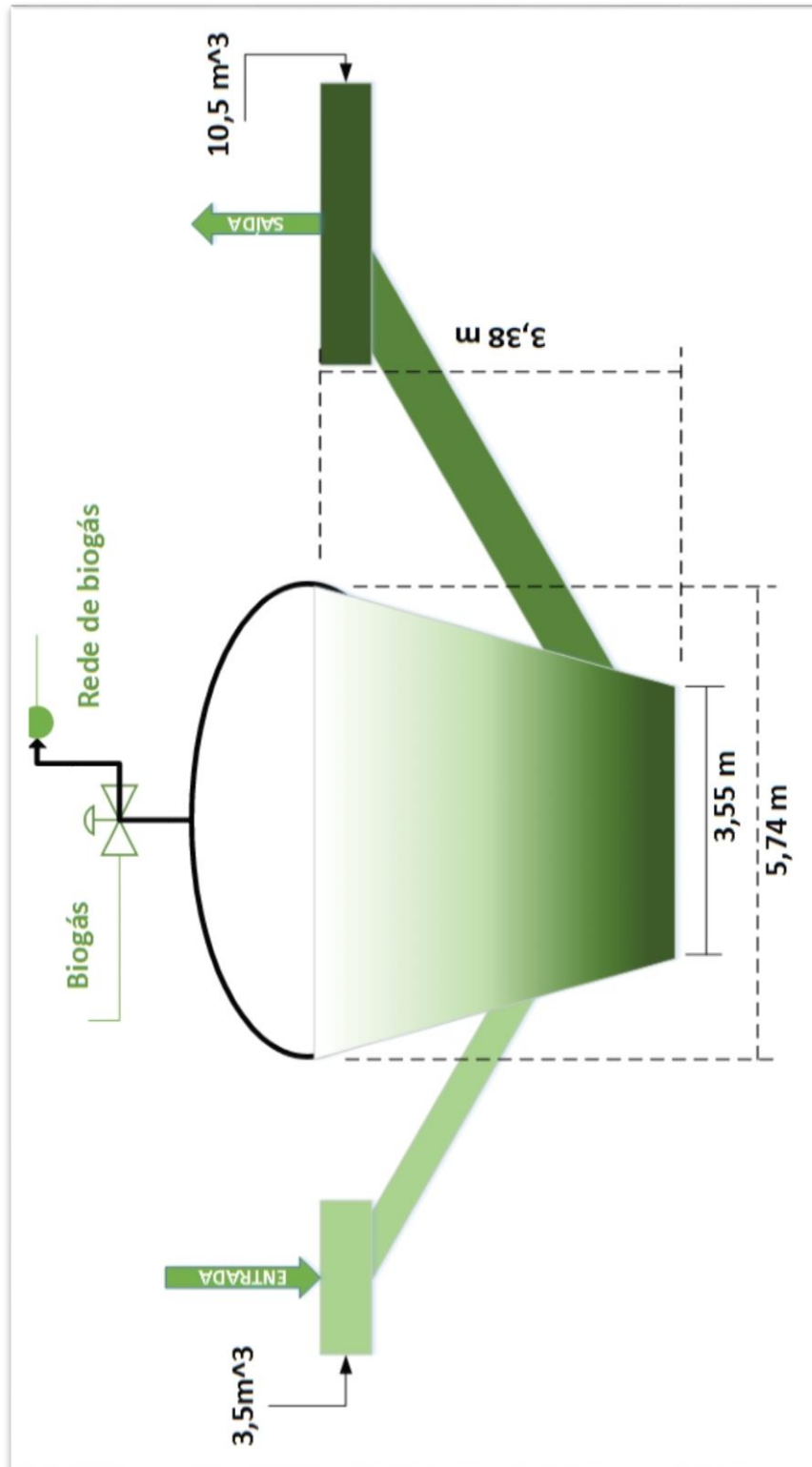
XAVIER, C.A.N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento**. 90f. . Tese (Mestrado em Zootecnia- Área de Concentração em Produção Animal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

WLODARCZYK, L. G. **Eficiência de um inóculo comercial para biorremediação aplicada à estabilização de dejetos na suinocultura**. Monografia. Faculdade Dinâmica das Cataratas (UDC), Engenharia Ambiental. Foz do Iguaçu, PR. 2011. Disponível em: < <http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb155.pdf>>. Acesso em: 17/out de 2015.

ZICARI, S. M. **Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow-manure compost**. Dissertação (Mestrado em Ciência). Department of biological and Environmental Engineering, Cornell, Ithaca. 2003. Disponível em: < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.2484&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 17/out de 2015.

7. ANEXOS

I. ANEXO A – MODELO DE EQUIPAMENTO – VISTA FRONTAL



Fonte: (Autoria própria, 2015)