

Universidade Federal do Pampa

Daniel Fernando Baú

**Biodigestores:
Alternativa Energética na Otimização da
Produção Agrícola**

Alegrete

2015

Daniel Fernando Baú

**Biodigestores:
Alternativa Energética na Otimização da Produção
Agrícola**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Doutor José Wagner Kahler

Alegrete

2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

B337b Baú, Daniel Fernando
Biodigestores: Alternativa Energética na Otimização da
Produção Agrícola / Daniel Fernando Baú.
55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2015.
"Orientação: José Wagner Kaehler".

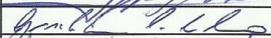
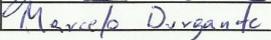
1. Esterco. 2. Biogás. 3. Energia Elétrica. 4. Geração
Distribuída. I. Título.

Figura 1 – Ficha Catalográfica

Autoria: Daniel Fernando Baú
Título: BIODIGESTORES: ALTERNATIVA ENERGÉTICA NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa.

Os componentes da banca, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado

	Nome	Titulação	Instituição	Assinatura
1	José Wagner Maciel Kaehler	Prof. Dr.	unipampa	
2	Guilherme Sebastião da Silva	Prof. Me.	unipampa	
3	Marcelo Hahn Durgante	Prof. Me.	unipampa	

Data da aprovação: 19 de Janeiro de 2015.

Figura 2 – Folha de Aprovação

*Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que me deram força para não desistir,
que viram em mim alguém com potencial. Obrigado.*

Agradecimentos

Quando estamos nos momentos de concluir o curso o trabalho e tempo dedicado precisa ser máximo, desta forma, deixamos de lado o que realmente importa, o convívio com quem nos ama para dedicação a causa. Assim, é necessário sermos gratos às pessoas que trilharam estes desafios conosco, pois não vencemos nada sozinhos.

Desta forma, gostaria que todos que de alguma forma colaboraram com o galgar dos degraus para o desenvolvimento deste trabalho, agradeço de coração.

Ao Professor Dr. José Wagner Maciel Kaehler, pela orientação e apoio no desenvolvimento do projeto.

Ao Mestrando Engenheiro Raul Ledur Kuhn pela orientação, contribuição teórica e pelo tempo para angariar dados a campo.

Ao Mestrando Engenheiro Marnoon Poltozi Vargas pela contribuição teórica.

A minha namorada Caroline por trilhar comigo os momentos de inspiração. Obrigado pela companhia.

Obrigado aos colegas do Grupo de Pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos - EIRE.

A meus Pais, Eusébio e Odila, e ao meu irmão Dênis que incondicionalmente me apoiaram e incentivaram a não desistir.

*“O entusiasmo é a maior força da alma.
Conserva-o e nunca te faltará poder
para conseguires o que desejas.”
(Napoleão Bonaparte)*

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de demonstrar a viabilidade da implantação de um sistema de biodigestão em propriedades da região do pampa do Rio Grande do Sul. A bovinocultura de corte nesta região sempre foi atividade de grande importância, pois funcionava como meio de garantir a sobrevivência dos produtores locais. Com o passar dos anos a produção de leite foi adicionada a cultura já existente que se dava pela produção de bovinos de corte, tornando ambas atividades muito bem desempenhadas por algumas propriedades na região. De forma paralela a produção de leite tem-se a produção de grande quantidade de esterco, matéria que servirá como fonte de energia e será alvo de nossa pesquisa e desenvolvimento técnico. Com o intuito de transformar esse esterco produzido em biogás, foi feito um levantamento das propriedades com potencial para a instalação de um sistema de biodigestão, ou seja, avaliar uma propriedade que possua capacidade de possuir um biodigestor. Para isso procurou-se averiguar a utilização do biogás como uma fonte de energia renovável, que por meio de sua queima em um conjunto motor/gerador possibilitaria a produção de energia elétrica para alimentar a propriedade. Caso a energia elétrica gerada seja superior à demandada pela residência procura-se aproveitar como geração distribuída, injetando o excedente na rede da concessionária que presta serviço, podendo utilizar posteriormente este saldo sem custo. Por se tratar de um investimento considerável faz-se a análise econômica em um horizonte de 20 anos.

Palavras-chave: Esterco, biogás, energia elétrica, geração distribuída.

Abstract

This work aims to demonstrate the feasibility of deploying a biodigestion system on properties of the pampas of Rio Grande do Sul. Cutting cattle in this region has always been activity of great importance, because it functioned as a means of ensuring the survival of the local producers. Over the years the production of milk was added to existing culture that of the production of cattle, making both activities very well performed by some properties in the region. In parallel the milk production is the production of large amounts of manure, which will serve as a source of energy and will be the target of our research and technical development. In order to transform this manure produced in biogas, was made a survey of properties with potential for the installation of a system of biodigestion, evaluate a property that has ability to use abio-digester. For this we tried to ascertain the use of biogas as a renewable energy source, which through its burns in a motor/generator set would make the production of electric energy to power the property. If the electric energy generated is higher than the defendant by residence seeking leverage as distributed generation, injectingthe surplus on the dealership network providing service, and may use later thisbalance without cost. Because it is a considerable investment makes economic analysis in a horizon of 20 years.

Key-words:Manure, biogás, eletrical energy,distributed generation.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ficha Catalográfica	2
Figura 2 – Folha de Aprovação	3
Figura 3 – Modelo de Biodigestor Canadense.	21
Figura 4 – Modelo de Biodigestor Chinês.	21
Figura 5 – Modelo de Biodigestor Indiano.	22
Figura 6 – Produção de Biogás em Relação a Diversas Concentrações de Leite Diluído(J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996).	24
Figura 7 – Produção de Gás Metano(J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996).	25
Figura 8 – Conjunto Gerador de Energia Elétrica Usando Biogás.	27
Figura 9 – Diagrama Unifilar Representando a Disposição da Propriedade.	32
Figura 10 – Perfil de Consumo Mensal.	35
Figura 11 – Dimensões do Biodigestor Projetado.	37
Figura 12 – Conjunto Motor/Gerador Bioflex escolhido.	38
Figura 13 – Curvas de Tensão.	39
Figura 14 – Faixas de Tensão em Relação a Referência.	40
Figura 15 – Corrente nas três fases no período.	41
Figura 16 – Sobreposição das correntes diárias no período de 03/07/2014 a 09/07/2014	42
Figura 17 – Curva característica de corrente da propriedade.	42
Figura 18 – Sobreposição dos consumos de potência ativa no período de 03/07/2014 a 09/07/2014.	43
Figura 19 – Curva característica do consumo de potência ativa da propriedade.	44
Figura 20 – Sobreposição dos consumos de potência reativa no período de 03/07/2014 a 09/07/2014.	45
Figura 21 – Curva característica do consumo de potência reativa da propriedade.	45
Figura 22 – Curva da potência aparente consumida.	46
Figura 23 – Curva do Fator de Potência das instalações da propriedade	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Potencial de produção de biogás no Brasil.	17
Tabela 2 – Características físico-químicas dos resíduos de espécies pecuárias	18
Tabela 3 – Potencial de produção de biogás a partir de esterco animais.	19
Tabela 4 – Composição do Biogás.	26
Tabela 5 – Equivalência Energética de cada m ³ de Biogás.	27
Tabela 6 – Comparativo entre as Propriedades Visitadas.	31
Tabela 7 – Projeção de biogás	34
Tabela 8 – Demonstrativo das Faturas de Energia Elétrica	34
Tabela 9 – Volume de esterco produzido	36
Tabela 10 – Demonstrativo de materiais e mão de obra utilizados para a construção do biodigestor.	48
Tabela 11 – Custo da manutenção(Valor Presente).	48
Tabela 12 – Fluxo de Caixa do Investimento (Biodigestor)	50
Tabela 13 – Indicadores econômicos.	50

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento.
CH ₄	Metano.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
FP	Fator de Potência.
GD	Geração Distribuída.
H ₂	Hidrogênio.
H ₂ S	Gás Sulfúrico.
N ₂	Nitrogênio.
NH ₃	Amônia.
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio.
O ₂	Oxigênio.
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
Kg	Quilograma.
L	Litro.
PCI	Poder Calorífico Inferior.
PTN	Condições Normais de Pressão.
VPL	Valor Presente Líquido.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problematização	14
1.2	Objetivos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Organização do Trabalho	15
2	ESTADO DA ARTE	16
2.1	Criação de Animais no Brasil, estimada produção de esterco e equivalência energética	16
2.1.1	Produção de Resíduos Animais	17
2.2	Funcionamento do Biodigestor	19
2.3	Tipos de Biodigestor	20
2.3.1	Canadense	20
2.3.2	Chinês	20
2.3.3	Indiano	22
2.4	Subproduto Biogás	23
2.4.1	Parâmetros para Produção de Biogás	23
2.4.1.1	Tempo de conservação da biomassa no sistema de fermentação	23
2.4.1.2	pH	23
2.4.1.3	Diluição com Água	23
2.4.1.4	Impacto da substituição de água por leite na diluição do esterco	23
2.4.1.5	Nutrientes presentes no esterco	25
2.4.1.6	Nutrientes tóxicos	25
2.4.2	Equivalência Energética do Biogás	26
2.4.3	Geração de Eletricidade Usando o Biogás	27
2.5	Geração Distribuída	28
2.6	Subproduto Biofertilizante	28
2.7	Cálculo empregado na obtenção de biogás	29
2.8	Metodologia empregada no desenvolvimento do estudo de caso	29
3	ESTUDO DE CASO	31
3.1	Escolha, Localização e Descrição da Propriedade	32
3.2	Capacidade de Produção de Biogás	33
3.2.1	Demonstrativo das Faturas de Energia Elétrica	34
3.3	Dimensionamento do Biodigestor	35
3.4	Dimensionamento do Conjunto Motor/Gerador	37

3.5	Análise da Qualidade de Energia Elétrica da Propriedade	38
3.5.1	Análise da Tensão	39
3.5.2	Análise das Correntes	41
3.5.3	Análise da Potência Ativa	43
3.5.4	Análise da Potência Reativa	44
3.5.5	Análise da Potência Aparente	46
3.5.6	Análise do Fator de Potência	46
3.6	Análise Econômica	47
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	Referências	53

1 Introdução

1.1 Problematização

Percebemos com o passar dos anos que o planeta está sofrendo grandes mudanças relacionadas ao clima. Algumas alterações podem ser percebidas, segundo estudos, pelo fato de não podermos definir com clareza as estações do ano em comparação a tempos passados. Outros fatos que ocorrem são fenômenos da natureza de grandes proporções.

Estas consequências presumem-se que sejam em decorrência do aquecimento global que acontece quando a radiação solar é retida em maiores percentuais na atmosfera, desta forma a temperatura do planeta aumenta (ICLEI, 2009). Um dos causadores do efeito estufa é o gás metano, produzido principalmente na fermentação do esterco animal, que se for considerado em âmbito mundial possui valores significativos.

Outra preocupação mundial é relacionada aos combustíveis fósseis. Por se tratarem de um bem não renovável, controlado por uma pequena porção da sociedade, o seu valor de mercado depende exclusivamente do interesse econômico destes.

De encontro a este cenário são projetadas alternativas para obtenção de energia, provenientes do sol, do ar e biomassa, que apesar do processo de fabricação produzir muito lixo, é considerado limpo.

Outro fator extremamente importante são os incentivos governamentais, que deveriam ser em forma de subsídio, principalmente nas áreas onde a energia elétrica é de difícil distribuição.

1.2 Objetivos

Tem-se nas propriedades brasileiras grande produção de matéria prima para biomassa, como legumes, grãos e laticínios. De forma paralela à produção primária surgem níveis significativos de descartes, que costumeiramente são eliminados diretamente no ambiente e normalmente sem qualquer tratamento.

Considerando estes quesitos, torna-se conveniente aproveitar esses descartes a fim de minimizar a contaminação ambiental e aumentar a margem de lucro dos produtores.

A forma de aproveitamento eficiente destes resíduos é adicioná-los a um biodigestor. Para a implementar este sistema há a necessidade de uma análise das propriedades com potencial, onde o retorno financeiro e o grau de degradação dos equipamentos tenham saldo positivo.

Procura-se focar no aproveitamento do esterco animal a fim de intensificar a lucratividade produzindo gás metano, que pode ser empregado no setor de cozinha ou queimando o gás em processo de combustão em um conjunto motor/gerador, tornando o processo otimizado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a obtenção da energia proveniente da biomassa, por meio do sistema de biodigestão pela combustão do biogás gerado.

1.3 Justificativa

Tem-se a agricultura do país uma das principais fontes da economia brasileira, representando boa parcela do produto interno bruto. Os produtos mais importantes são cana-de-açúcar, soja e gado. A atividade de bovinocultura pode ser dividida na criação de animais para o abate e bovinocultura leiteira.

O propósito deste trabalho é demonstrar que as pequenas propriedades podem tornar-se auto-suficientes, ou quase isto, reaproveitando matéria orgânica geralmente descartada.

O método para concentração do esterco animal é de relativa facilidade, assim, quando depositados em um sistema vedado torna o processo de biodigestão anaeróbico espontâneo, produzindo quantidades de gás metano utilizado como fonte de energia alternativa. A qualidade e quantidade de gás produzido está diretamente ligado a continuidade do processo de biodigestão, fazendo com que seja um investimento ótimo a longo prazo.

1.4 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em capítulos, onde o primeiro capítulo contém a problematização, os objetivos e a justificativa relacionadas ao tema.

Na sequência, o Capítulo 2, dispõe de um apanhado teórico referente a revisão bibliográfica, onde se inclui definições e conceitos relacionados a biodigestão e os modelos existentes.

Desenvolve-se no Capítulo 3 a descrição do estudo de caso. Para aplicar a metodologia descrita, faz-se análise das curvas de carga da propriedade escolhida, após utiliza-se a metodologia matemática para demonstrar os resultados e a viabilidade econômica.

No Capítulo 4 contêm as considerações finais, onde refere-se a escolha do biodigestor, retorno financeiro e os materiais utilizados bem como sugestões de trabalhos futuros.

2 Estado da Arte

As fontes de energia não-renováveis são caracterizadas por meios energéticos esgotáveis. A decomposição da matéria, de qualquer natureza, leva séculos ou até milênios para se recompor. Segundo (LELLIS, 2007), a sociedade nunca mais poderá fazer uso daquela fonte de energia. Os principais combustíveis oriundos desta exploração são: gás natural, carvão mineral e petróleo.

O petróleo, desde sua descoberta, tem grande importância na matriz energética dos países. Após refinado pode tornar-se diversos subprodutos, sejam combustíveis (diesel, querosene, gasolina), adubos, tintas, plástico e outros.

Os combustíveis podem ser utilizados em conjuntos motores/geradores ou em usinas com ciclo térmico, onde a finalidade é produzir energia elétrica através da sua combustão.

Apesar de contribuir para o desenvolvimento do setor energético, a queima de combustíveis é fator determinante na degradação da camada de ozônio e agravamento do efeito estufa, pois emite gases como CO_2 , NO_2 e CH_4 .

Com o passar dos anos a demanda energética aumentou, fazendo com que os processos fossem reavaliados e submetidos a mudanças, visando índices menores de desperdício.

Com o intuito de encontrar uma alternativa à energia não-renovável, procura-se na matéria prima inesgotável, disponível na natureza, meios de suprir esta necessidade. Entre as possibilidades de fonte de energia consideradas inesgotáveis pode-se mencionar o meio hídrico, solar, eólico e a biomassa. Vale ressaltar que a fonte de energia é limpa, porém os meios para obtê-la produzem algum tipo de descarte, deixando claro que nenhuma energia é totalmente limpa.

2.1 Criação de Animais no Brasil, estimada produção de esterco e equivalência energética

A agricultura brasileira é baseada principalmente na produção de grãos e criação de animais. O cultivo de animais no Brasil possui linhas distintas de aproveitamento: o abate, onde é aproveitada a carne para alimentação, o couro, para fabricação de calçados e a prática leiteira. Segundo (IBGE, 2014), foram abatidos 8,457 milhões de cabeças de bovinos, 9,641 milhões de suínos, 1,419 bilhões de frangos, assim como 6,267 bilhões de litros de leite coletados no terceiro trimestre de 2014.

A fim de quantificar a energia que é desperdiçada no estrume dos animais para este período, adota-se a [Tabela 3](#), que corresponde aos valores de m^3 de gás a cada quilo de esterco. Assim, é possível mensurar o volume de gás que é desperdiçado no período, como é demonstrado na [Tabela 1](#).

Tabela 1 – Potencial de produção de biogás no Brasil.

Espécie	Número de Cabeças	m^3 de gás/hora
Bovinos de Corte	8.457.000	281.900
Bovinos produtores de Leite	313.350.000	10.445.000
Suínos	9.641.000	24.068.000
Aves	1.419.000.000	532.125
Total		36.327.025

Para os bovinos produtores de leite estima-se que um animal produza 20 litros de leite diários. Dividindo o número total de litros de leite pelo valor estabelecido (20 por animal), estima-se em 313,35 milhões de animais ([IBGE, 2014](#)).

A equivalência energética de 36 milhões de m^3/hora de gás provenientes do esterco descartado, compreende 19 milhões de litros de diesel que deixam de fazer parte da planta energética nacional ([IBGE, 2014](#)).

Vale ressaltar que se trata de uma estimativa de quantidade de litros de leite por animal. Foi feito com o intuito de quantificar o número de animais disponíveis.

2.1.1 Produção de Resíduos Animais

A produção de resíduos é debatida por todos as literaturas encontradas. O ponto de discussão é relacionado a produção diária de esterco por animal, segundo ([FARRET, 2010](#)) os bovinos produzem 10 kg de esterco ao dia, já ([SANTOS, 2000](#)) menciona na [Tabela 2](#) que os Bovinos chegam a produzir 50 litros de resíduos diários.

No projeto será adotado 20 kg de esterco, assim, devido as estações do ano tem-se diferentes tipos de alimentos e disponibilidade, por exemplo, no verão há pastagens de braquiária que proporcionam grande volume de alimento, já no período de inverno diminui a quantidade de pasto, reduzindo a quantidade de esterco. Com a variação significativa entre os horizontes, será adotado o valor de esterco a fim de não sobredimensionar os equipamentos.

Tabela 2 – Características físico-químicas dos resíduos de espécies pecuárias.

Espécie Pecuária	Unidade Referência	Quantidade diária de resíduo	Concentração (g/l ou g/kg)
—	—	—	D.B.O–ST–SV–N–P–K
Suínos(1*)	Porca reprodutora (confinada)	70 litros	33,3–37–27,5–2,8–0,9–1,8
	Porca reprodutora (local de criação)	85 litros	29,7–30,5–24,4–2,3–0,8–1,5
Bovinos(2*)	Porco engorda	60 litros	36,1–42,3–29,6–3,2–1,1–2,1
	Vaca leiteira (600kg)	50 litros	0–90–70–4,5–1,7–5,4
Galináceos	Bovino engorda (150 a 520kg)	20 litros	0–90–70–3,7–2,1–5,0
	Galinha poedeira em bateria(2Kg)	0,11 kg	0–300–200–14–11–6
Equinos	Cavalo adulto (400 a 500 kg)	25 kg	0–220–175–5–2,5–12
Ovinos e Caprinos	Ovelha ou Cabra	6,5 kg	0–220–180–5,5–2,5–12

NOTAS : DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio; ST-Sólidos totais; SV-Sólidos Voláteis; N-Nitrogênio;P-Fósforo;K-potássio; (1*)-esterco diluído em água de lavagem; (2*)-esterco não diluído (SANTOS, 2000)

A produção de biogás é condicionada pelo tipo de substrato, podendo ou não favorecer a fermentação no sistema anaeróbico, fato que não interfere na obtenção estimada de m³ de gás por cada Kg de dejetos. O potencial de produção está expresso na tabela [Tabela 3](#) para as diferentes espécies. A espécie que será avaliada no trabalho são os Bovinos produtores de leite.

Para que se tenha eficiência no processo é necessário conhecer os valores de sólidos voláteis que serão fermentados, pois quanto maior a concentração de sólidos voláteis na biomassa maior será a produção de biogás. Para (H.ARRUDA, 2002), o recomendável é que em 1 kg de esterco esteja 120 g de sólidos voláteis.

No projeto, tecnicamente não apresentará problemas a cerca de sólidos voláteis, visto que o esterco bovino apresenta em torno de 80 a 85 % na composição.

Tabela 3 – Potencial de produção de biogás a partir de esterco animais.

Espécie	m³ de Gás/Kg esterco
Caprinos e Ovinos	0,04 - 0,061
Bovino de Leite	0,04 - 0,049
Bovino de Corte	0,04
Suínos	0,075 - 0,089
Frango de Corte	0,090
Poedeiras	0,1
Codornas	0,049

Fonte: (WINROCK, 2008)

2.2 Funcionamento do Biodigestor

O biodigestor representa um recipiente vedado que não possui qualquer entrada de ar, podendo ser construído de alvenaria ou algum outro material que suporte a matéria à ser degradada sem problemas estruturais. Existem diversos tipos de biodigestor.

Algumas bibliografias caracterizam os sistemas de biodigestão como reatores anaeróbicos que utilizam matéria orgânica e por meio da ação de bactérias metanogênicas é decomposto. Estas técnicas podem ser utilizadas para processamento de qualquer matéria orgânica (ICLEI, 2009).

O entendimento do que significa um biodigestor é mencionado em literaturas que remetem a um sistema vedado, ou seja, sem possibilidade da entrada de ar. Dentro deste sistema, para que haja fermentação e acelere o processo, é imprescindível a diluição do chorume em água. Essa diluição torna eficiente o fundamento desta topologia que tem por base a fermentação anaeróbica.

Os biodigestores são mecanismos que existem a muito tempo. Quando surgiram, o principal intuito era tratar os resíduos para obtenção de biofertilizantes e geração de energia. No Brasil tem-se conhecimento de que o sistema ficou conhecido na crise do petróleo, em meados dos anos 1970 (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com a literatura, há diferentes tipos de sistemas de biodigestão, com dimensões e formas distintas. Para saber qual tipo escolher é imprescindível ter conhecimento da finalidade, dos condicionantes climáticos e do espaço físico disponível (ICLEI, 2009). Considera-se prioritariamente os aspectos econômicos, construtivos e funcionais para a escolha da melhor concepção de biodigestor (OLIVEIRA, 2012).

Os biodigestores costumam ter sua vida útil atrelada ao substrato contido na fermentação. Se o estrume for de suínos, o tempo de vida útil do sistema está em torno de 15 anos, isto se dá pela produção de gases corrosivo que danificam os equipamentos

mais rapidamente quando comparados aos demais. Quando se trata do esterco de bovinos, tem-se em média 20 anos de durabilidade dos equipamentos, por se tratar da fermentação de um substrato que não tem a produção significativa de gases corrosivos (WINROCK, 2008).

Para análise, serão estudados três modelos mais conhecidos. Após a análise, será feita a escolha da concepção que melhor se encaixa nas pretensões.

2.3 Tipos de Biodigestor

2.3.1 Canadense

A distribuição física do modelo canadense possui orientação horizontal, onde sua estrutura é semelhante a um tubo e a base desta concepção pode ser feita de alvenaria ou com uma simples lona impermeabilizante, obedecendo regras como possuir a largura maior que a profundidade da vala.

Segundo (LINDEMEYER, 2008), este modelo de cobertura em lona PVC está sendo utilizado em substituição as campânulas metálicas ou de fibra de vidro devido aos baixos custos e facilidade de implantação. A vantagem deste processo está na produção constante de biogás que é relacionada com a carga diária de sólidos voláteis.

O modelo Canadense, que pode ser visto na Figura 3, possui valor acessível quando comparado aos demais modelos. Os gastos com manutenção se concentram basicamente em furos na campânula e limpeza da tubulação que conduz o gás até o centro de combustão.

Nas propriedades do sul do Brasil, de forma predominante, a adesão acontece por este modelo, também conhecido como modelo da marinha. Esta concepção possui uma caixa de entrada de dejetos, pois em algumas propriedades o chorume é canalizado diretamente dos estábulos ou chiqueiros para a câmara de fermentação.

Segundo (DIAZ, 2006), neste modelo os dejetos são manejados como líquidos, portanto muito aplicados nas fazendas de vacas leiteiras que utilizam água para lavar as instalações. Ainda segundo autor, é utilizado em regiões quentes onde o próprio ambiente ajuda a manter a temperatura.

2.3.2 Chinês

O biodigestor modelo Chinês foi inspirado na concepção Indiana. Ocorreram adaptações no projeto pelas condições locais da China. O propósito da adaptação é evitar o uso do gasômetro móvel, pois é esta parte que encarece o modelo Chinês Figura 4 (NOGUEIRA, 1986).

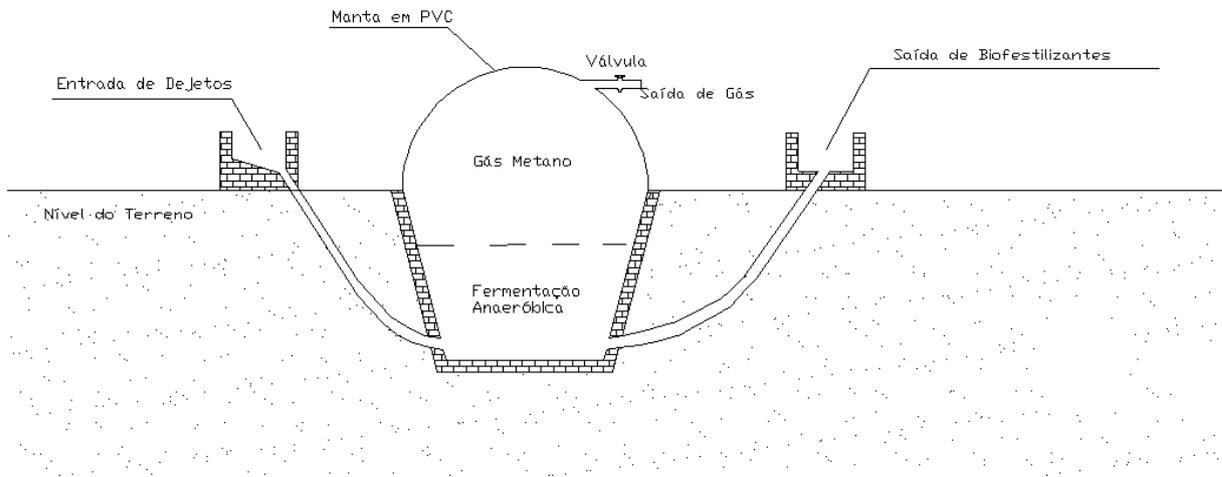


Figura 3 – Modelo de Biodigestor Canadense.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Este modelo de produção de biogás tem sua concepção vertical, de cúpula fixa, com calotas superiores construídas em alvenaria de tijolos ou em concreto. Este tipo de biodigestor é considerado o mais rústico, construído totalmente em alvenaria e abaixo do nível do solo. Funciona com alta pressão que pode variar de acordo com a produção e consumo de biogás, embora possua câmara reguladora (SGANZERLA, 1983).

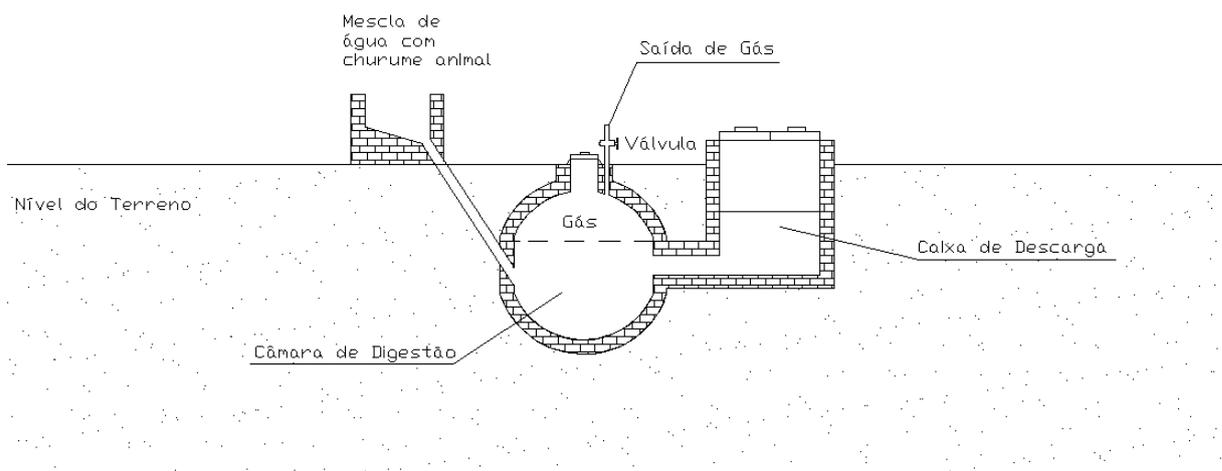


Figura 4 – Modelo de Biodigestor Chinês.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

É consenso entre as referências bibliográficas que a técnica empregada para a

confeção deste modelo é o entrave para a disseminação da topologia, ou seja, a construção do biodigestor precisa ser em alvenaria e requer técnica apurada, pois os tijolos usados onde a biomassa é digerida não poderão ser assentado mediante auxílio de escoras. O peso do próprio tijolo precisa mantê-lo na posição necessária até que a massa utilizada seque. As paredes tanto externas quanto internas precisam ser impermeabilizadas com produtos especiais para impedir infiltração de água e trincas (LINDEMEYER, 2008).

2.3.3 Indiano

A primeira população que fez uso da energia do biogás em grande escala foram os Indianos. Esta concepção possui a campânula flutuante como pode ser visto na figura 5. O sistema permite a manutenção da pressão estável na saída do biogás, dispensando assim a regulagem de aparelhos (NOGUEIRA, 1986). Esta campânula, feita geralmente de ferro é a peça mais cara e responsável pelo alto custo do biodigestor (SGANZERLA, 1983).

Apesar de ter a campânula móvel, fato que encarece a topologia, este modelo foi muito difundido no Brasil. Com o tempo mudanças no projeto foram feitas, substituindo o ferro pela fibra de vidro tornou a construção mais acessível (LINDEMEYER, 2008).

Pode-se apontar que o modelo Indiano tem vantagens quando comparado ao modelo Chinês pela expansão da campânula.

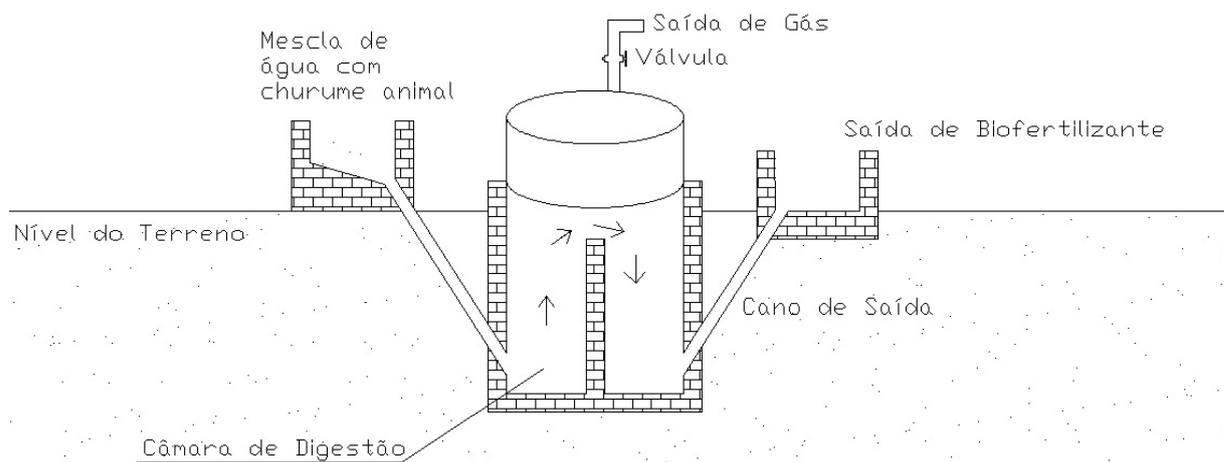


Figura 5 – Modelo de Biodigestor Indiano.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

2.4 Subproduto Biogás

2.4.1 Parâmetros para Produção de Biogás

Segundo (H.ARRUDA, 2002), para ter produção de biogás de forma eficiente, com alto teor de metano, é conveniente ter ciência de alguns parâmetros: tempo de conservação da biomassa no sistema de fermentação, pH, diluição com água, nutrientes presentes no esterco e nutrientes tóxicos.

2.4.1.1 Tempo de conservação da biomassa no sistema de fermentação

Em sistemas de biodigestores contínuos é conveniente observar o tempo em que a matéria fica em reação. Segundo (WINROCK, 2008), o tempo de retenção hidráulica dos bovinos e suínos deve ser de no mínimo 35 dias, assim como para dejetos de caprinos e ovinos 45 dias e para cama de frango 60 dias. Quando em pequenas proporções de esterco a obtenção de gás pode ocorrer já nos primeiros dias.

2.4.1.2 pH

O ponto ótimo de pH para que o sistema de decomposição não tenha interferência no papel desempenhado pelas bactérias é que esteja em pH igual a 7,0, podendo variar entre a margem de 6,0 e 8,0.

2.4.1.3 Diluição com Água

Para que aconteça o processo de biodigestão adequadamente a quantidade de água utilizada precisa estar em aproximadamente 90% do total de biomassa. O valor de diluição pode variar, vai depender da fonte da matéria.

Em nosso caso a proporção deve ser de 1:1 a 1:2 (quantidade de água para quantidade de esterco).

A falta de água pode causar problemas de entupimento da tubulação e o excesso provocar variações no processo de hidrólise.

2.4.1.4 Impacto da substituição de água por leite na diluição do esterco

A propriedade escolhida possui nas proximidades um ponto de recebimento de leite, onde há tanques de resfriamento e posterior transporte. Procurando manter a qualidade do leite são feitas análises de múltiplas espécies ocasionando descartes. Vale ressaltar que não se trata de matéria prima estragada, apenas o não enquadramento em processos industriais.

A fim de aproveitar o leite descartado idealiza-se diversos meios de aproveitamento. Algumas hipóteses são: diluir na comida de suínos, alimentar bezerros em período de

criação ou, em nosso caso, diluir com estrume a fim de acelerar o metabolismo das bactérias anaeróbicas.

Segundo (J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996), foram feitas demonstrações de sistemas de fermentações envolvendo esterco com distintas quantidades de leite diluído. Tem-se na Figura 6 a demonstração por meio de medições com aparelhos específicos que denotam o comportamento dos gases gerados nos compostos em um horizonte de 28 dias.

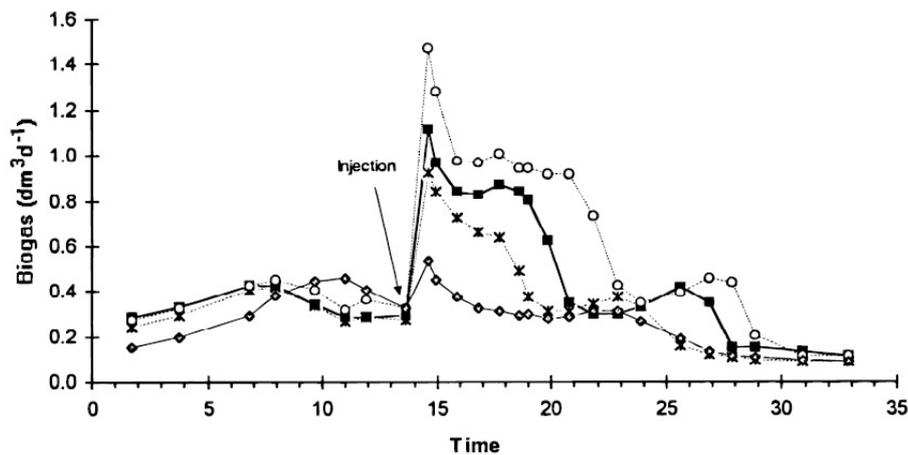


Figura 6 – Produção de Biogás em Relação a Diversas Concentrações de Leite Diluído(J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996).

Antes do dia 14 o comportamento dos sistema era normal, pois não havia acréscimo de leite. No dia 15 quando adicionou-se leite as reações, foi obtido crescimento de produção de biogás, mas como não eram iguais as misturas obteve-se distintas amplitudes.

Da mesma forma como a análise foi feita para o biogás, utilizando as mesmas quantidades de diluição de leite com esterco, identificou-se as proporções de CH_4 que podem ser vistas na Figura 7.

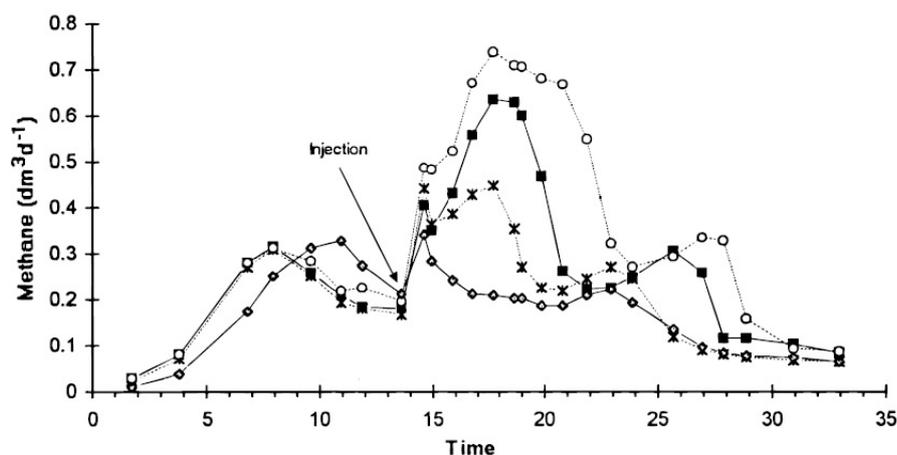


Figura 7 – Produção de Gás Metano(J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996).

Este comportamento é explicado pela quantidade de ácido butírico presente no leite. Este ácido é o mesmo produzido no processo de biodigestão anaeróbica do estrume animal.

Na evolução da fermentação anaeróbica este ácido butírico é transformado em ácido acético que é o principal alimento das bactérias produtoras de metano. A conversão de ácido acético em metano chega a 70%.

Em suma, segundo (J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, 1996) a adição de resíduos de leite ao esterco provoca elevada produção de metano seja qual for a quantidade, no entanto a produção de dióxido de carbono também aumenta em excesso, o que faz com que a concentração global de metano diminua consideravelmente.

2.4.1.5 Nutrientes presentes no esterco

Alguns dos nutrientes presentes no esterco são primordiais, eles são: carbono e hidrogênio. A composição mais abrangente pode ser vista na [Tabela 2](#).

A composição do esterco deve conter a relação carbono/nitrogênio coerente com normas de produção de biogás, elas estabelecem que esta proporção esteja entre 20:1 a 30:1. Caso o limite de hidrogênio não seja cumprido consequências diretas na má formação do biogás ocorrem, o resultando é de compostos nitrogenados como NH_3 (NEVES, 2010).

2.4.1.6 Nutrientes tóxicos

Quando no sistema de biodigestão tivermos nutrientes em demasia, este excesso pode se tornar tóxico.

O processo de ordenha dos animais necessita de higienização, tanto nos animais quanto nos maquinários utilizados. Estas limpezas são comumente feitas com desinfetantes, antibióticos e bactericidas quando misturadas com o esterco o tornam impróprio para a cultura de bactérias envolvidas, tornando inviável a formação de biogás.

2.4.2 Equivalência Energética do Biogás

A obtenção do biogás acontece pela interação entre a matéria orgânica e micro organismos anaeróbicos (sem O_2). A matéria deste processo pode ser de diversas procedências, ou seja, de natureza animal ou vegetal provenientes dos processos manufaturados das indústrias e/ou residências.

Após a ação dos micro organismos anaeróbicos frente a matéria orgânica há a criação de uma mistura de gases que é condicionada principalmente pela natureza da matéria. A composição do Biogás, descrita na tabela [Tabela 4](#) possui o componente de primordial de nossos estudos, o metano.

Tabela 4 – Composição do Biogás.

Gás	Símbolo	Concentração do Biogás %
Metano	CH_4	50 - 80
Dióxido de Carbono	CO_2	20 - 40
Hidrogênio	H_2	1 - 3
Nitrogênio	N_2	0,5 - 3
Gás Sulfúrico e outros	H_2S, CO_2, NH_3	1 - 5

Fonte: ([COLDEBELLA, 2006](#))

A fim de utilizar o Biogás como fonte de energia alternativa utiliza-se o metano quando puro e em condições normais de pressão e temperatura (PTN), possui poder calorífico inferior (PCI) de $9,9 \text{ kWh/m}^3$. Segundo ([COLDEBELLA, 2006](#)), o biogás com teor de metano entre 50 e 80%, possivelmente terá poder calorífico em torno de 4,95 e 7,92 kWh/m^3 .

Tabela 5 – Equivalência Energética de cada m³ de Biogás.

Material	(SGANZERLA, 1983)	(NOGUEIRA, 1986)
Gasolina (L)	0,613	0,61
Querosene(L)	0,579	0,62
Diesel(L)	0,553	0,55
GLP(Kg)	0,454	1,43
Álcool(L)	0,790	0,8
Carvão Mineral (Kg)	0,735	0,74
Lenha (Kg)	1,538	3,5
Eletricidade (kWh)	1,428	—

Fonte: (SGANZERLA, 1983) (NOGUEIRA, 1986)

Costumeiramente os dejetos dos animais nas propriedades são descartados por falta de conhecimento ou pelo proprietário não ter poder aquisitivo para desenvolver técnicas de aproveitamento. A fim de esclarecer o leitor compara-se este combustível renovável frente os demais, Tabela 5, tendo como objetivo demonstrar que o biogás tem como composto principal o metano, que além de ser renovável(energia proveniente de ciclos naturais de conversão) pode tornar-se combustível, substituindo meios fósseis.

2.4.3 Geração de Eletricidade Usando o Biogás

A instalação de centrais como fonte alternativa de energia elétrica utilizando o biogás necessita de um conjunto motor e gerador acoplados que que pode-se ver na figura Figura 8. A sequência de operação que idealiza-se para o projeto deve ser similar.

Segundo (FARRET, 2010), os conjuntos a gás eram construídos apenas para potências entre 1,6 a 216 MW, quando a demanda era menor adaptavam-se motores a álcool ou a gasolina. Quando era feita esta mudança, na entrada do combustível tinha-se um dispositivo redutor para processar a injeção do gás, em síntese, precisa-se aumento na vazão de biogás que flui para o motor.

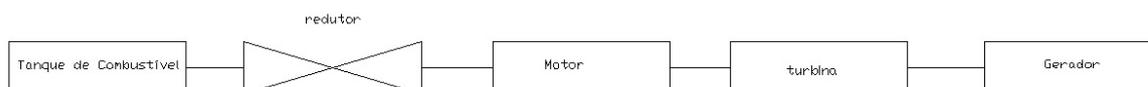


Figura 8 – Conjunto Gerador de Energia Elétrica Usando Biogás.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

2.5 Geração Distribuída

Geração distribuída é caracterizada pela geração de energia elétrica próxima aos consumidores por meio de fontes alternativas, podendo ser inseridas na rede da concessionária. Estas alternativas de energia têm como princípio garantir confiabilidade ao sistema. Quando se faz a análise das perdas nas linhas com a distribuição vê-se como alternativa para melhor aproveitamento, pois é de conhecimento de todos que este transporte até o local de consumo acarreta prejuízos.

Com possíveis excedentes na produção de energia proveniente do conjunto motor/gerador, procura-se uma forma de aliar as sobras com o retorno financeiro ou uma forma de guardar e consumir em horários de maior necessidade resulta em uma normativa estabelecida pela ANEEL.

Tem-se na Resolução Normativa nº 482 ([ANEEL Nº 482, 2012](#)), de 17 de Abril de 2012 as condições de acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de energia elétrica e o sistema de compensação.

Para efeitos desta norma apresenta-se no Capítulo I Artigo 2º inciso I([ANEEL Nº 517, 2012](#)): Caracteriza-se uma micro geração como sendo uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base na energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades geradoras. Da mesma forma no Capítulo II Artigo 3º esclarece que as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar de micro geração e mini geração distribuída.

Como complemento a Normativa nº 482 alia-se a Normativa nº 517 ([ANEEL Nº 517, 2012](#)) de dezembro de 2012 que estabelece em seu Artigo 1º inciso III o sistema compensativo de energia elétrica. Toda energia ativa injetada por unidade consumidora com micro geração ou mini geração é cedida por meio de empréstimo gratuito a distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa desta mesma unidade ou em outra que possua o mesmo cadastro de pessoa física.

A cada dia a demanda por energia elétrica cresc e de forma paralela o interesse pela GD. Pois tem-se nela um meio de diminuir as perdas provocadas nas linhas e conseqüente melhora de qualidade de energia.

2.6 Subproduto Biofertilizante

Posterior a obtenção do gás metano, pode-se utilizar outro subproduto deste processo: o biofertilizante.

O biofertilizante possui a mesma matéria prima da obtenção do biogás, o esterco animal. Após a fermentação o material orgânico é canalizado a uma área de escape de onde retira-se para outro destino. O biofertilizante contém inúmeros elementos em sua composição, pode-se citar o nitrogênio, potássio e fósforo, ambos essenciais para a vida das plantas (ROLDÃO, 2012).

Segundo (LINDEMEYER, 2008), este adubo proveniente da fermentação possui excelente qualidade. Em sua composição tem-se nitrogênio (1,4 a 1,8%), fosfato (1,1 a 2%) e óxido de potássio (0,8 a 1,2 %).

Os resíduos animais vêm sendo utilizados nas atividades de cultura vegetal. Trata-se de uma forma alternativa e ambientalmente correta de adubação, pois há uma recomposição orgânica de nutrientes (ROLDÃO, 2012).

2.7 Cálculo empregado na obtenção de biogás

Para obter a quantidade de gás disponível na propriedade foi utilizado a seguinte equação(2.1):

$$Gás - gerado/dia = (((Quantidade/dia/animal) * (NumAnim)) * (0,04)) \quad (2.1)$$

onde:

- Gás-gerado/dia(m³) - Compreende ao gás gerado a cada dia;
- Quantidade/dia/animal(kg) - Compreende quantos quilos de esterco produzidos a cada dia por animal;
- NumAnim - Significa o número de animais presente;
- 0,04 - Valor significativo de biogás produzido a cada quilo de esterco gerado;

2.8 Metodologia empregada no desenvolvimento do estudo de caso

A fim de demonstração, serão desenvolvidos itens que foram seguidos para o desenvolvimento do trabalho.

- Identificação e planejamento da linha trabalho a ser desenvolvido junto ao orientador escolhido;
- Levantamento das propriedades com potencial de bovinocultura por meio da disciplina de Eficiência Energética;

- Escolha da propriedade, aceite do proprietário e convênio junto a UNIPAMPA;
- Entrevista com o proprietário para identificar atividades desenvolvidas, aparelhos utilizados;
- Levantamento do terreno e número de animais projetado a fim de identificar melhor local de implantação do sistema de biodigestão;
- Instalação de aparelhos a fim de identificar potências consumidas e fator de potência;
- Desenvolvimento de planilhas de cálculo na ferramenta excel a fim de identificar o volume de esterco produzido, gás gerado e dimensionamento de um banco de capacitor a fim de melhorar a qualidade da energia;
- Identificação do conjunto motor/gerador mais apropriado para produzir energia elétrica a partir do biogás gerado;
- Identificação do melhor financiamento para que o retorno financeiro seja compatível com a durabilidade dos equipamentos;

3 Estudo de Caso

Para que fosse possível o desenvolvimento do presente trabalho foram pesquisadas propriedades com potencial de criação de bovinos localizadas no Município de Alegrete, Região Oeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Ainda para colaborar com o andamento do trabalho, a disciplina de Auditoria e Eficiência Energética da Universidade Federal do Pampa e o consentimento dos proprietários para identificação do potencial de produção leiteira e viabilidade de instalação de sistemas de biodigestão. Desta forma, nas propriedades que chamaram a atenção, foi desenvolvido o levantamento podem ser visualizadas na [Tabela 6](#).

Tabela 6 – Comparativo entre as Propriedades Visitadas.

Propriedade	Faz. Paineiras	Sítio Aqualar	Cab. da Granja	Faz. Alto do Morro
Nº de Animais	37	40	44	55
Litros/Dia	600	500	2300	2000
Litros/Animal/Dia	16,2	12,5	52,27	36

Cada propriedades possui particularidades que estão descritas de maneira sucinta.

A Fazenda Paineiras possui o rebanho com a maior parte dos animais de raça Jersey, que produz leite de ótima qualidade. A disposição física da propriedade, bem como o manejo dos animais inviabiliza a construção de um biodigestor para a produção de energia elétrica. Os animais são soltos nas pastagens e recolhidos a leitaria apenas na hora da ordenha, dificultando a coleta do estrume.

O Sítio Aqualar desenvolve duas atividades principais. Além de ser produtor de leite, possui instalações para atividades de lazer na época do verão. O proprietário investe boa parte de seus rendimentos em melhorias para esta atividade, deixando a ocupação leiteira em segundo plano. A propriedade não possui instalações adequadas para a implantar um sistema de biodigestão, pois o rebanho não está em sistema confinado, os estábulos são de péssima qualidade o que inviabiliza a coleta do estrume.

A Fazenda Alto do Morro desenvolve somente a atividade de bovinocultura leiteira. A alimentação dos animais é de pastoreio, o que impossibilita a concentração de estrume em um local, tornando inviável a construção de um sistema de biodigestão. A propriedade possui grande potencial de geração eólica, a qual tem capacidade para suprir as necessidades energéticas da fazenda, pois há continuidade nas rajadas de vento.

Na Cabanha da Granja a bovinocultura leiteira caracteriza-se como principal ati-

A propriedade possui sua disposição física segundo a planta representada na figura 9, onde A representa a entrada e medição de energia fornecida pela concessionária ao possuinte, B representa a moradia dos donos com **cagas** condizentes a uma casa de administração, no ponto C tem-se a casa dos funcionários, D é um galpão para guardar maquinários, E também é um galpão porém para guardar utensílios menores, F representa um galpão que não tivemos acesso, G é o ponto de maior carga, é neste ponto que tem-se a leitaria com refrigerador, ordenhadeira, resistência para aquecimento de água, silo de ração entre outras cargas. O ponto H vai ser construído, será o local de confinamento dos animais e será projetado para canalizar de forma natural os dejetos produzidos diariamente para o sistema de biodigestão, o ponto I representa uma entrada de dejetos e de água, a fim de diluir o chorume animal. O ponto J representa a futura instalação do biodigestor e a sua continuação L representará o local de concentração do material já fermentado e pronto para ser utilizado como fertilizante. Segundo proprietário a água da chuva vai ser coletada pelas calhas do mesmo, que servirá para dissolver o chorume aumentando a atividade anaeróbica.

O biofertilizante produzido servirá na correção do solo das pastagens da propriedade, que são a fonte de matéria prima para alimentação animal.

3.2 Capacidade de Produção de Biogás

Segundo (COLDEBELLA, 2006), o sistema de cultivo e a quantidade de animais é que determinarão a capacidade de produção de biogás por meio da biodigestão anaeróbica.

A quantidade de gás gerado na propriedade pode ser obtida calculando os fatores presentes na Tabela 3 conhecendo a quantidade de esterco gerado, de forma complementar, a quantidade de metano presente no biogás mencionado pode ser obtido manipulando os dados da Tabela 4. Tendo por base estes dados pode-se empregá-los na totalização do gás gerado na propriedade.

A projeção para o ano de 2015 é que a propriedade tenha o dobro de animais em lactação se comparado a 2014, segundo o proprietário, estima-se em um rebanho de 80 animais. Considerando os valores de projeção pode-se construir a estimativa de biogás que pode ser visualizado na Tabela 7.

Tabela 7 – Projeção de Biogás

Espécie	Bovino de Leite
Número de Animais	80
Kg esterco/dia/animal	20
m³de Gás/Kg esterco	0,04
m³de Gás/Animal/Dia	0,8
Total m³ Gás/Dia	64
Total m³ Gás/Hora	2,67

Na [Tabela 7](#) têm-se a representação da produção de biogás a partir do estrume. Como pode-se observar, o número de animais que projeta-se na propriedade é de 80, a partir deste dado pode-se considerar segundo estimativa de que cada animais produza 20 kg de esterco a cada dia, como cada quilo de esterco animal referido produz 0,04 m³ de biogás a cada quilo produzido, multiplicando o volume de esterco a estimativa de gás a cada quilo tem-se um total a cada dia de 64 m³ de biogás produzido.

3.2.1 Demonstrativo das Faturas de Energia Elétrica

A fim de dimensionar os equipamentos (motor/gerador) é de suma importância a análise frente à fatura de energia elétrica que está demonstrada na [Tabela 8](#). Calcula-se a média do consumo de Potência Ativa a cada hora, o valor encontrado está em 2,64 kW/h.

Tabela 8 – Demonstrativo das Faturas de Energia Elétrica

Mês Correspondente	Faturamento(kW)	Número de dias contabilizados	Consumo/ dia/hora
Maio(2014)	2388	35	2,84
Abril(2014)	2174	29	3,12
Março(2014)	2315	31	3,11
Fevereiro(2014)	2662	30	3,36
Janeiro(2014)	2280	33	3,06
Dezembro(2013)	1960	31	2,72
Novembro(2013)	2058	33	2,59
Outubro(2013)	1836	31	2,46
Setembro(2013)	1786	33	2,255
Agosto(2013)	1676	31	2,252
Julho(2013)	1444	29	2,07
Junho(2013)	1660	33	2,09
Maio(2013)	1702	30	2,36

O consumo de kW mensal entre maio de 2013 a maio de 2014 está disponível na [Figura 10](#) demonstrando um perfil de consumo da propriedade. O valor de demanda média está em torno 1995,46 kW, compreendendo o traço em vermelho na mesma Figura.

A curva de consumo possui característica de crescimento, reflexo das constantes aquisições de materiais elétrico eletrônicos, bem como aumento no número de animais para ordenha, segundo proprietário.

Os meses de maior consumo estão compreendidos no verão, o pico ocorre nos meses de janeiro, fevereiro e março devido ao uso considerável de sistema de climatização e pela demanda do resfriador de leite, que tem a sua potência máxima exigida pela quantidade produzida de leite.

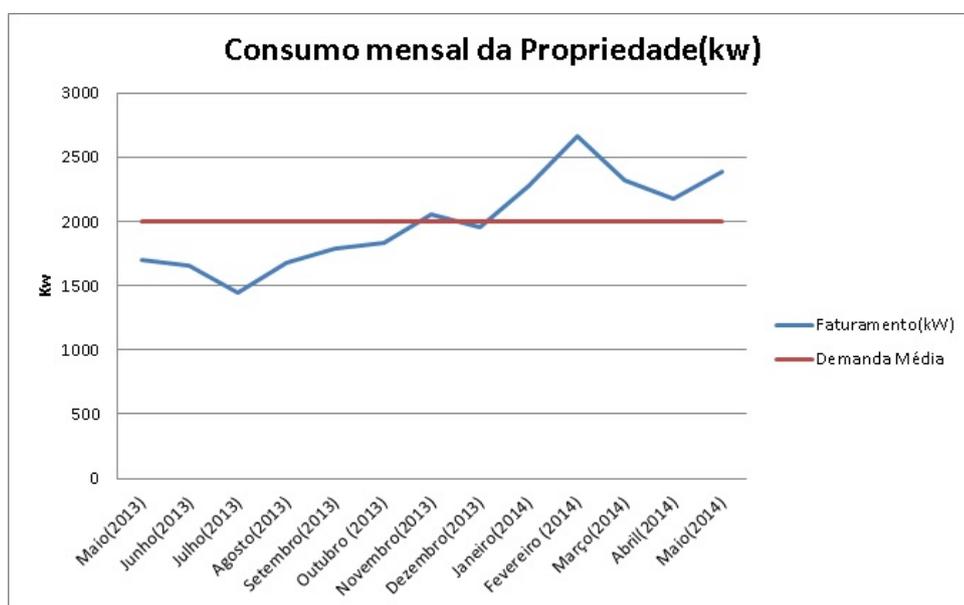


Figura 10 – Perfil de Consumo Mensal.

3.3 Dimensionamento do Biodigestor

O biodigestor necessita estar protegido de animais e de crianças, a fim de evitar acidentes ou até danos aos equipamentos. Segundo ([WINROCK, 2008](#)), para maior segurança, é conveniente manter uma distância mínima de 10 m entre biodigestor e qualquer edificação.

Para dimensionar o sistema de biodigestão é imprescindível fazer o levantamento da disposição do terreno, como em nosso caso o proprietário definiu o local onde irá construir o galpão de confinamento das vacas em lactação, sabe-se que o biodigestor ficará próximo a ele, a fim de escorrer o esterco até o sistema por meio da força da gravidade. Cabe analisar a composição do solo, a fim de identificar qual é o impermeabilizante mais adequado (paredes de alvenaria ou uma camada de manta PVC).

Outro quesito fundamental é identificar o ponto de acesso dos veículos de transporte, a fim da retirada do substrato.

Como forma de estimar o tamanho do biodigestor torna-se necessário conhecer o volume de esterco produzido. Na [Tabela 9](#) tem-se os parâmetros do volume estimado, que estão ligados a seção 2.4.1.

Tabela 9 – Volume de esterco produzido

Espécie Animal	Bovino de Leite
Esterco por animal(kg)	20
Quantidade de Animais	80
Total de esterco diário(Kg)	1600
Relação esterco/água	1:1
Densidade do esterco	403kg/m³
Densidade da Água	1000kg/m³
Volume de esterco diário(m³)	3,97
Volume de água diário(m³)	1,6
Volume de carga diário(m³)	5,57
Tempo de retenção(dias)	35
Volume do Biodigestor(m³)	194,95

Onde o Volume do biodigestor é calculado pela equação (3.1).

$$VB = VC * TRH \quad (3.1)$$

Onde as variáveis representam os seguintes parâmetros:

- VB = Volume do Biodigestor (m³);
- VC = Volume da carga diária (m³);
- THR = Tempo de retenção (dias).

As dimensões do biodigestor podem ser vistas na [Figura 11](#). Com o intuito de receber uma margem maior de esterco foi projetado para 210 m³.

A fim de diluição uniforme entre esterco e água, é necessário que antes do biodigestor tenha uma caixa de entrada que comporte 3 vezes o volume diário, para permitir a continuidade do processo, esta caixa pode ser identificada no ponto H da [Figura 9](#). Da mesma forma a caixa de saída no ponto J da [Figura 9](#), que servirá para acumular o subproduto biofertilizante.

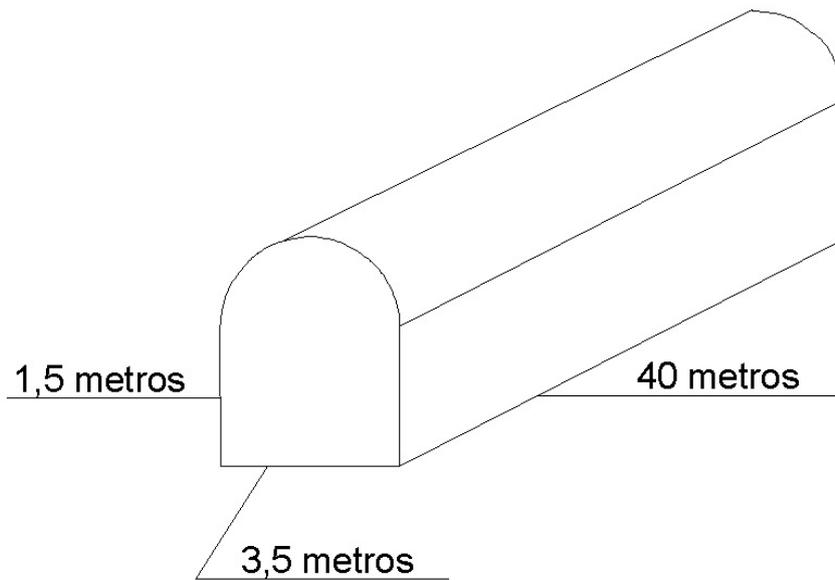


Figura 11 – Dimensões do Biodigestor Projetado.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.4 Dimensionamento do Conjunto Motor/Gerador

A escolha o conjunto motor/gerador foi feita pelo Bioflex da marca Branco, que pode ser visto na [Figura 12](#) com as seguintes especificações:

- Operação com dois combustíveis: biogás e álcool;
- Painel com voltímetro e horímetro;
- Baixo impacto ambiental, pois emite baixos volumes de gás poluente;
- Sistema AVR;
- Motor 18 Cv;
- Potência nominal 8,0 KVA
- Potência máxima 9,5 KVA
- Filtro integrado, que permite conexão direta com a lona do biodigestor;
- Consumo de 4,0 m³ de biogás por hora trabalhada ou 3,8 litros de álcool por hora trabalhada;
- Grande durabilidade dos componentes;



Figura 12 – Conjunto Motor/Gerador Bioflex escolhido.

Como o consumo deste conjunto é de 4 m³ de gás por hora, segundo fabricante o tempo de trabalho diário será em torno de 16 horas (BRANCO, 2015), já que a produção do biodigestor estima-se que será de 64 m³ de gás metano ao dia.

Costuma-se desenvolver filtros para eliminar impurezas presentes no gás canalizado até a sua queima, porém, com este conjunto escolhido não há esta preocupação, pois uma das particularidades é a presença de um filtro embutido no próprio motor.

3.5 Análise da Qualidade de Energia Elétrica da Propriedade

Nos últimos anos tem-se evidenciado a preocupação com qualidade da energia elétrica disponível ao usuário. O consumidor adquire equipamentos sensíveis para execução de suas tarefas e de forma paralela necessitam de qualidade da energia fornecida, pois seus equipamentos possuem sensibilidade no processo, o que pode levar ao baixo rendimento ou ocasionar defeitos.

Segundo (KAGAN, 2009), problemas causados por qualidade de energia elétrica provocam enormes prejuízos, principalmente aos consumidores industriais e comerciais.

Tem-se nos fenômenos de qualidade do serviço prestado ou qualidade do produto efeitos sobre a forma de onda, ocasionando defeitos nos equipamentos.

Para controlar estes efeitos estão sendo consolidadas normas com indicadores de qualidade, onde o não cumprimento é associado a multas e descontos aos consumidores em suas faturas de energia.

A normativa (ANEEL, 2010), módulo 8 do PRODIST, é responsável por estes procedimentos no Brasil. As concessionárias precisarão, segundo normativa, acompanhar estes indicadores ao longo do tempo.

3.5.1 Análise da Tensão

Segundo Módulo 8 do PRODIST, são estabelecidos limites adequados, precários e críticos para níveis de tensão em regime permanente. A tensão de atendimento está demonstrada na Figura 13, que pode ser classificada segundo a Figura 14.

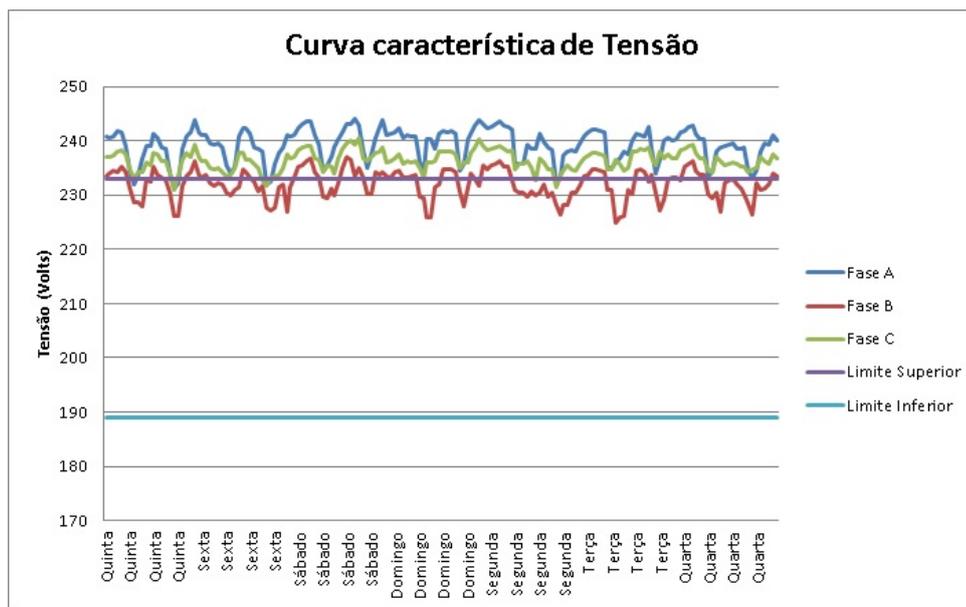


Figura 13 – Curvas de Tensão.

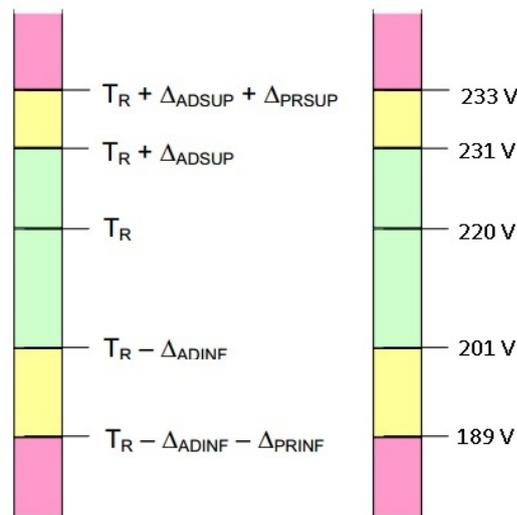


Figura 14 – Faixas de Tensão em Relação a Referência.

Onde:

- Tensão de Referência (T_R) tem o valor de 220V;
- Faixa Adequada de Tensão (T_R - Adequada Inferior , T_R + Adequada Superior) (Entre os valores 231V e 201V);
- Faixas Precárias de Tensão(T_R + Adequada Superior, T_R + Adequada Superior + Precária Superior ou T_R - Adequada Inferior - Precária Inferior, T_R - Adequada Inferior)(Entre os valores de 233V e 189V);
- Faixas Críticas de Tensão ($> T_R$ + Adequada Superior + Precário Superior ou $< T_R$ - Adequada Inferior - Precária Inferior). ($>$ que 233V ou $<$ que 189V);

Pode-se identificar na [Figura 13](#) que a tensão durante a semana tem nas fases A e C ficado a maior parte do tempo em nível crítico superior. A fase B nos horários de maior demanda da propriedade tem ficado em nível Precário.

Segundo ([SILVA, 2009](#)), o sistema elétrico terá perdas e aquecimento em nível maior quando ocorre desequilíbrio de tensão. Na maioria das vezes este desequilíbrio tem origem na transmissão, distribuição, nos consumidores comerciais, residenciais e propriedades rurais.

Um exemplo do efeito da sobretensão ocorre nos motores de indução, passam a ter rendimento menor, assim como a vida útil também diminui por danificar o sistema de isolamento do mesmo.

3.5.2 Análise das Correntes

A análise frente a corrente nas três fases da propriedade pode ser vista na [Figura 15](#), que demonstra desequilíbrio na drenagem de corrente.

A fase A possui carregamento médio de 5,08 A, a fase B possui corrente média de 9,15 A e a fase C com 2,35 A de média. É perceptível que há desequilíbrio da ligação das cargas entre as fases. A fase B possui o maior carregamento quando comparada com as demais, isto porque nela estão ligados equipamentos responsáveis pelo processo de ordenha, aquecimento de água e sistemas de refrigeração de leite. Para tornar equilibrado o sistema deveriam ser rearranjadas as cargas, assim teríamos equilíbrio e qualidade de energia.

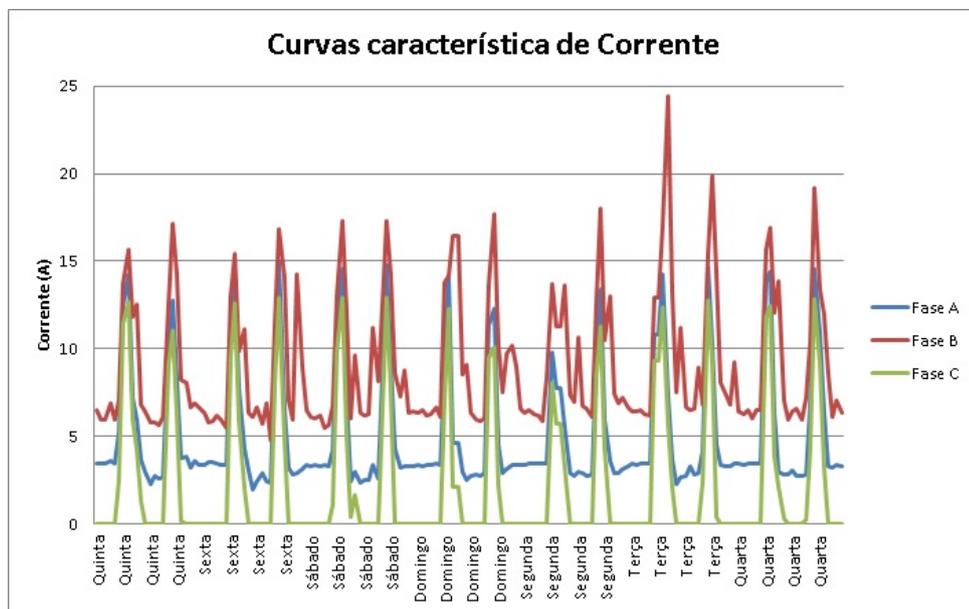


Figura 15 – Corrente nas três fases no período.

A fim de demonstrar a curva característica de corrente da propriedade foram sobrepostas as correntes diárias no período de uma semana, compreendidas entre os dias 03/07/2014 a 09/07/2014. Pode-se observar na [Figura 16](#) a sobreposição mencionada.

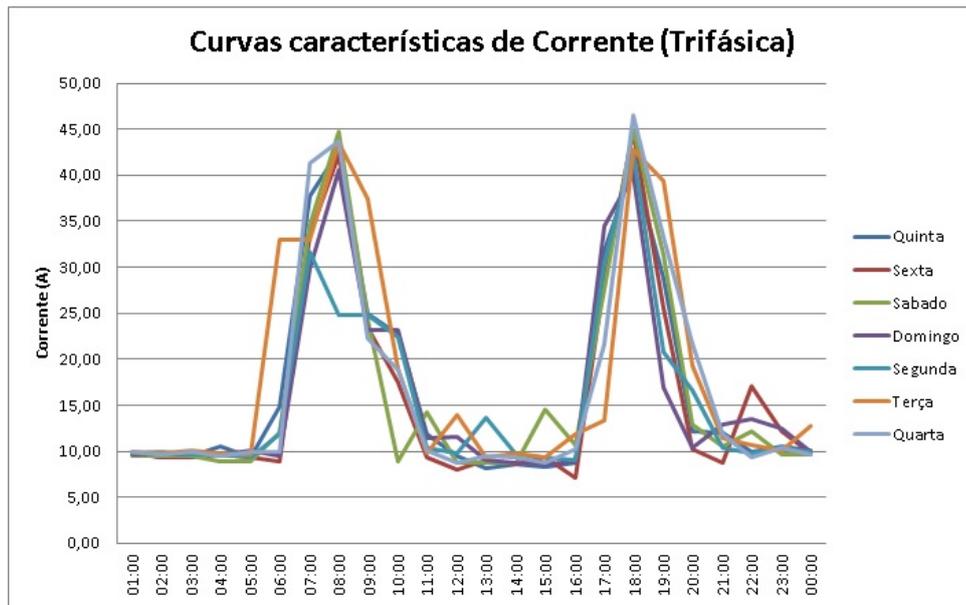


Figura 16 – Sobreposição das correntes diárias no período de 03/07/2014 a 09/07/2014

A curva típica de corrente da propriedade pode ser vista na a [Figura 17](#). Ela demonstra uma propriedade que possui horários bem definidos para realizar as tarefas com o uso de aparelhos elétricos, picos de corrente acontecem as 8:00 horas da manhã e ao final do dia, as 18:00. A corrente média está em 16,87 A.

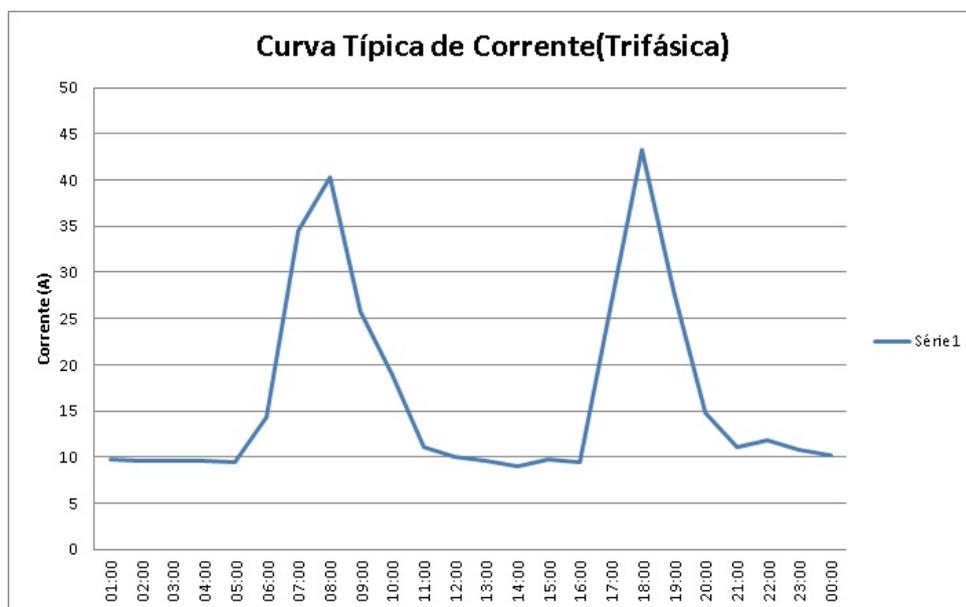


Figura 17 – Curva característica de corrente da propriedade.

3.5.3 Análise da Potência Ativa

A potência ativa consumida pela propriedade durante a semana é sobreposta, coincidindo os horários, com o intuito de estabelecer uma curva típica característica, vista na Figura 19. A sobreposição pode ser vista na Figura 18.

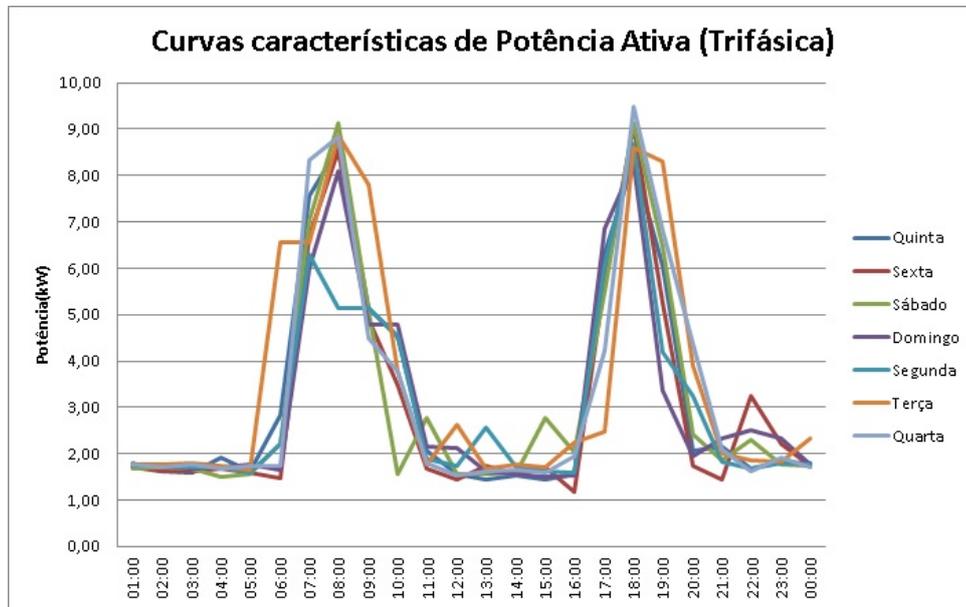


Figura 18 – Sobreposição dos consumos de potência ativa no período de 03/07/2014 a 09/07/2014.

Vê-se que a atividade desenvolvida não possui distinção entre os dias da semana, ou seja, o consumo de energia é constante por se tratar de uma atividade contínua

O maior consumo de potência ativa está distribuído nos horários em que há o funcionamento dos equipamentos para ordenha dos animais chegando a as 8:00 da manhã em 8 kW e as 18:00 9 kW. A média de consumo é de 3,2 kW.



Figura 19 – Curva característica do consumo de potência ativa da propriedade.

A potência referida é aquela consumida pela resistência dos condutores elétricos ou circuitos resistivos, ou seja, aquela que realmente produz trabalho (CERIPA, 2009).

Outro fator importante é o Fator de Carga(FC), pode ser calculado pela fórmula(3.2).

$$FC = \frac{DemandaMédia}{DemandaMáxima} \quad (3.2)$$

Este fator varia de 0 a 1, quanto mais próximo a 1 melhor. Demonstra se a energia consumida está sendo utilizada de maneira racional e econômica (CELESC, 2015). As instalações da propriedades possuem Fator de Carga em 0,36.

3.5.4 Análise da Potência Reativa

Tem-se na potência reativa a responsável por alimentar os campos magnéticos de motores e transformadores. Esta potência é consumida e devolvida. Aconselha-se a instalar um banco de capacitor nas instalações que consomem este tipo de potência para que aja interação entre a energia presente nestes e os campos que necessitem, tornando o fator de potência melhor e evitando multas por consumo de reativos.

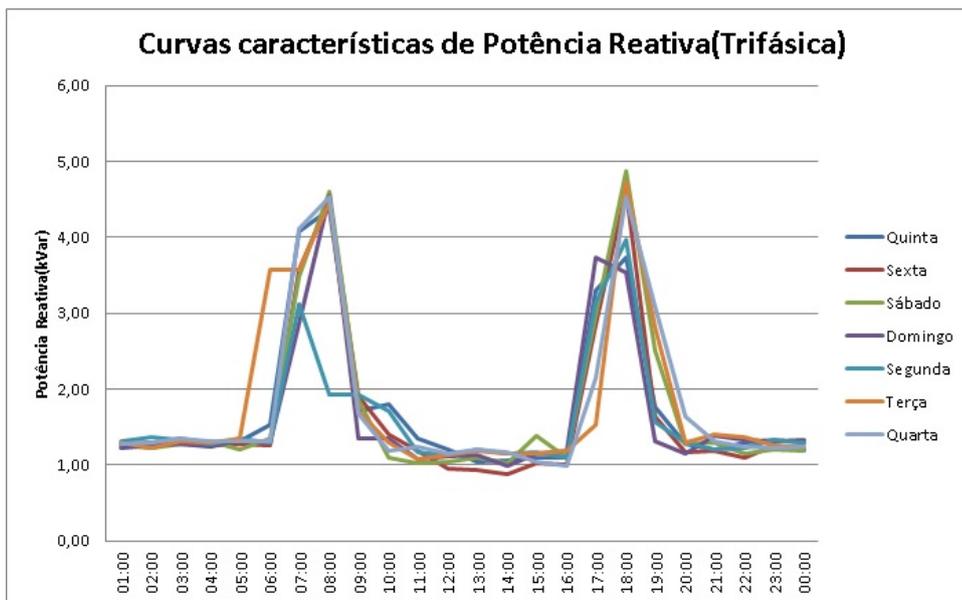


Figura 20 – Sobreposição dos consumos de potência reativa no período de 03/07/2014 a 09/07/2014.

Os consumos de potência reativa na propriedade durante a semana que foram medidos pode ser vistos na [Figura 20](#).

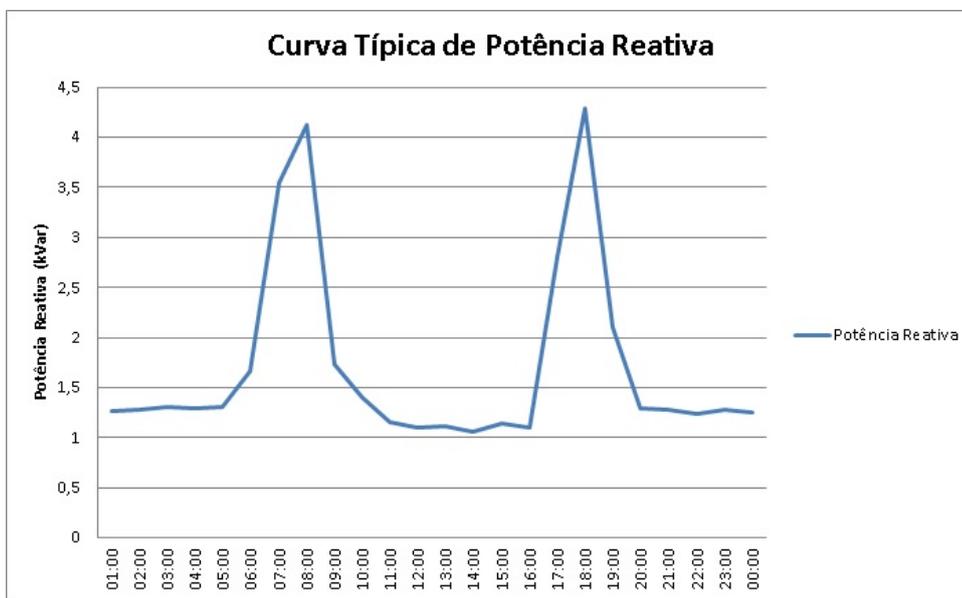


Figura 21 – Curva característica do consumo de potência reativa da propriedade.

O maior consumo de potência reativa, segundo [Figura 21](#), que representa a curva típica possui consumo considerável nos horários em que os equipamentos da leiteira são acionados e chegam a drenar 4 kvar.

3.5.5 Análise da Potência Aparente

A potência aparente representa a potência total do sistema.

A curva da potência total ou aparente está representada na [Figura 22](#). Como significa uma soma fasorial entre reativa e ativa continua-se com os máximos de consumo nos horários em que

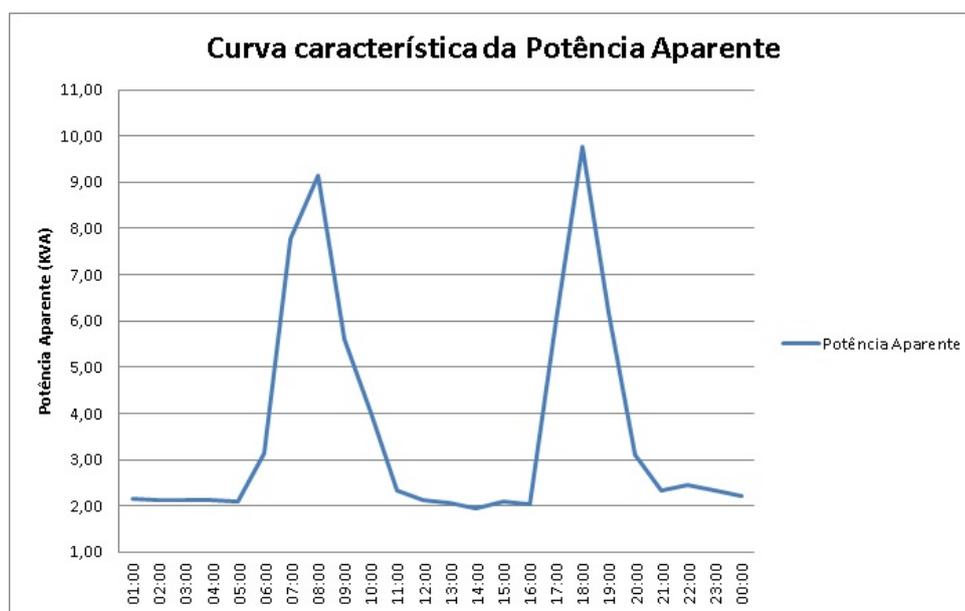


Figura 22 – Curva da potência aparente consumida.

3.5.6 Análise do Fator de Potência

Segundo (COPEL, 2005), o fator de potência é um fator que exige atenção especial. Muitos aparelhos necessitam além de potência útil que transforma-se em trabalho, potência reativa, para energizarem seus campos que criam fluxos magnéticos indispensáveis para o funcionamento. Com a relação entre estes valores obtêm-se o fator de potência. Quando o valor é menor que 0,92 surgem problemas a concessionária e ao cliente, podendo ser cobrado na fatura de energia.

As principais causas de baixo FP nas propriedades e na indústria é o superdimensionamento de motores ou a sua operação à vazio, pois o consumo de energia reativa para manter os fluxos é a mesma, já a energia ativa esta atrelada a carga exigida no eixo, por exemplo. Outra causa de FP baixo é a tensão aplicada ao motor superior a nominal.

Na [Figura 23](#) tem-se o FP da propriedade, vale lembrar que **já está instalado um banco de capacitores, que segundo proprietário está danificado, e quando questionado sobre a configuração do mesmo não lembra os valores**. O FP nas horas de trabalho encontra-se em níveis adequados, já fora este período encontra-se em valores precário, abaixo de 0,92.

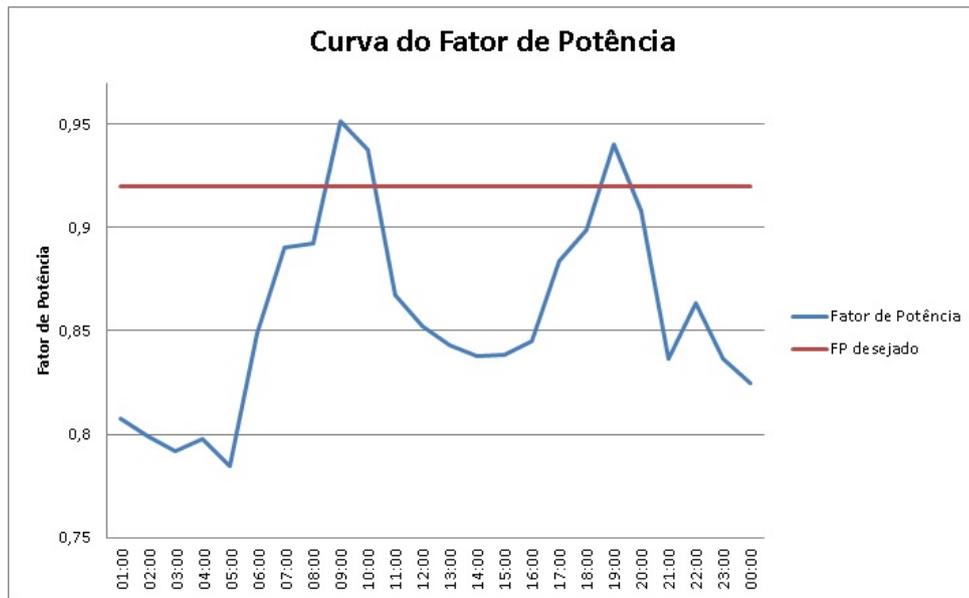


Figura 23 – Curva do Fator de Potência das instalações da propriedade

A fim de determinar o valor do novo Banco de Capacitor utilizou-se a equação(3.3), definindo o valor do FP em 0,92 e utilizando a potência ativa de cada instante.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3.3)$$

Foram calculados as novas potências reativas necessárias, na sequência a subtração com os valores antigos, e então, a fim de melhorar a qualidade da energia, projeta-se um banco de capacitor de 0,6 kVar. Este valor representa o pico de maior necessidade que se refere aos horários de 8h e 17h.

3.6 Análise Econômica

O investimento a ser analisado consiste na construção de um biodigestor modelo Canadense. Com o intuito de classificar o investimento segundo sua rentabilidade faz-se o levantamento dos valores empregados para a construção, manutenção e operação. De posse destes valores, por meio de fluxo de caixa, pode-se determinar qual é o período de retorno do investimento e a um parecer da viabilidade de sua implementação.

Utilizando o VPL, que é caracterizado pelo valor entre a diferença entre o valor que foi investido e o valor que é retornado transformado em valor presente, assim, tendo o valor presente positivo tem-se lucro neste investimento, quando o valor presente for negativo significa que o investimento não retorna lucros, e sim acumula prejuízos.

Para financiar o projeto de um sistema de biodigestão há a necessidade de orçar os componentes necessário para a obra e o funcionamento. A seguir são descritos materiais

e mão de obra necessários [Tabela 10](#).

Tabela 10 – Demonstrativo de materiais e mão de obra utilizados para a construção do biodigestor.

Materiais Utilizados	Valor(R\$)
Horas de Máquinas¹	R\$900,00
Tijolos²	R\$5.850,00
Areia³	R\$550,00
Cimento⁴	R\$1.125,00
Mão de obra de Pedreiro⁵	R\$1.050,00
Lona PVC⁶	R\$8.000,00
Motor/gerador⁷	R\$11.714,19
Demais Serviços	R\$1.000,00
Total	R\$30.189,19

¹ Para fazer a vala estima-se 6 horas de trabalho de uma máquina especializada. ² Considerando 30 tijolos/m² e o custo de cada unidade R\$0,75. (TUMELERO, 2015). ³ O valor do m³ de areia é R\$ 84,33 e que a cada m² de construção utiliza-se 25kg de areia(TUMELERO, 2015). ⁴ A cada m² é consumido 8kg de cimento cuja o saco de 50kg custa R\$27,00 (TUMELERO, 2015). ⁵ O preço do dia de construtor civil está em torno de R\$150,00, estima-se que o trabalho dure aproximadamente 7 dias. ⁶ Estima-se que o custo da lona especial para conter o gás (6m x 5m) R\$ 1000,00 (LONEIRO, 2015). ⁷ Preço motor/Gerador (BRASUTIL, 2015).

O meio de financiamento do (BNDES, 2015), Pronaf Mais Alimentos para Pessoas físicas enquadradas como agricultor familiar, é visto com bons olhos, pois ele possui linhas de créditos com juro de 2 %a.a. para valores até R\$750.000,00 para aquisição de equipamentos. Desta forma, será adotado 2% como taxa de juros para o cálculo do fluxo de caixa.

Os valores de manutenção dos equipamentos possuem grande importância, estima-se que o valor de manutenção no horizonte de 20 anos represente uma taxa de 10%. Indicador demonstrado na [Tabela 11](#).

Tabela 11 – Custo da manutenção(Valor Presente).

Indicadores	
Capital inicial do Investimento	R\$30.189,00
Taxa de manutenção e operação	10%
Valor da operação anual	R\$3.018,92
Número de anos	20
Taxa de juro ao ano	2%
Valor Presente Líquido	R\$49.363,65

Desta forma pode-se montar o fluxo de caixa do investimento [Tabela 12](#), no qual o custo total da obra está orçado em R\$ 30.189,19 que é somado ao custo de manutenção dos 20 anos, tendo este valor no presente, em torno de R\$49.363,65, totalizando uma quantia de R\$ 79.552,84.

O valor de operação do sistema representa o valor que é necessário para manter em condições ideais de trabalho. O Capital inicial de investimento multiplicado a uma taxa de 10 %, multiplicado no horizonte de 20 anos nos informa este montante.

Considerando que, o conjunto motor/gerador trabalha 16 horas diárias produzindo 8 kVA/h, onde, em média, 3,64 kVA/h é consumido pela propriedade, o restante deverá é injetado na rede da concessionária, ou seja, 4,36 kVA/h. Nas 8 horas restantes este excedente pode ser consumido, visto que, a rede da concessionária serve como uma espécie de bateria para armazenar energia. Este sistema de GD é explicado na seção 2.5 e regulamentado por([ANEEL N° 482, 2012](#)).

Assim, conhecendo a média do valor pago nas faturas de energia, visto na [Tabela 8](#), que está em torno de R\$520,70 ao mês, totaliza R\$6.248,40 ao ano, representando a energia evitada e servindo de entrada no fluxo de caixa.

Tabela 12 – Fluxo de Caixa do Investimento (Biodigestor)

Tempo(Anos)	Fluxo de Caixa	Fluxo Descontado	Saldo do Projeto
0	-R\$ 79.552,84	-R\$79.552,84	-R\$ 79.552,84
1	R\$6.248,00	R\$6.125,49	-R\$73.427,35
2	R\$6.248,00	R\$6.005,38	-R\$ 67.421,97
3	R\$6.248,00	R\$5.887,63	-R\$61.534,34
4	R\$6.248,00	R\$5.772,19	-R\$55.762,15
5	R\$6.248,00	R\$ 5.659,01	-R\$50.103,15
6	R\$6.248,00	R\$ 5.548,05	-R\$44.555,10
7	R\$6.248,00	R\$ 5.439,26	-R\$39.115,84
8	R\$6.248,00	R\$ 5.332,61	-R\$33.783,23
9	R\$6.248,00	R\$5.228,05	-R\$28.555,19
10	R\$6.248,00	R\$ 5.125,54	-R\$23.429,65
11	R\$6.248,00	R\$5.025,04	-R\$18.404,62
12	R\$6.248,00	R\$4.926,51	-R\$13.478,11
13	R\$6.248,00	R\$4.829,91	-R\$8.648,20
14	R\$6.248,00	R\$4.735,20	-R\$3.913,00
15	R\$6.248,00	R\$4.642,36	R\$ 729,36
16	R\$6.248,00	R\$ 4.551,33	R\$ 5.280,68
17	R\$6.248,00	R\$ 4.462,09	R\$ 9.742,77
18	R\$6.248,00	R\$4.374,60	R\$14.117,37
19	R\$6.248,00	R\$ 4.288,82	R\$18.406,19
20	R\$6.248,00	R\$ 4.204,72	R\$ 22.610,91

Os indicadores do fluxo de caixa podem ser vistos na [Tabela 13](#). O Investimento possui um VPL positivo de R\$22.610,91 demonstrando viabilidade econômica para a construção com esta linha financiamento.

Tabela 13 – Indicadores Econômicos.

Indicadores	
Taxa de Desconto	2%
Valor Presente Líquido(VPL)	R\$ 22.610,91
Taxa Interna de Retorno (TIR)	4,75%

Utilizando a energia produzida pelo conjunto motor/gerador e injetando o excedente na rede para utiliza-la mais tarde, tornando auto-suficiente.

4 Considerações Finais

O município de Alegrete possui a bovinocultura de corte como atividade de sustento da maioria das famílias. No entanto, o manejo da bovinocultura leiteira tem crescido consideravelmente. No ano de 2008 foi criada a Associação de Criadores de Gado Leiteiro e Produtores de Leite de Alegrete, com o intuito de procurar melhoramento genético do rebanho, promover atividades de fortalecimento da bacia leiteira e representar os produtores frente aos compradores ([ACRIPLEITE, 2015](#)).

A fim de identificar propriedades com potencial de criação de gado leiteiro e possíveis cenários para projeção de um sistema de biodigestão, foram feitas visitas a criadores usufruindo da disciplina de Eficiência Energética, a qual tem à finalidade técnica de identificar pontos que necessitam melhorias. Constatou-se que a maioria não possui sistema de confinamento, o que inviabiliza o projeto.

Dentro das propriedades pesquisadas, observou-se a Cabanha da Granja, com um plantel de animais de qualidade e projeção de aumento considerável, para 80 animais. Segundo o proprietário, o local passará adotar sistema de confinamento total, tornando viável a construção do biodigestor.

Com a análise do terreno a concepção de sistema de decomposição escolhido foi o Canadense. O terreno possui espaço físico para canalização do esterco diluído, tendo a força da gravidade como meio de levar este material até o sistema.

As dimensões são de 1.5m de profundidade, 3.5m de largura e 40m de comprimento e a campânula em PVC com uma área de 220m²(5.5m x 40m), suportando o volume de 194.95m³ de esterco diluído com água.

A produção de biogás está estimada em 2,67m³ de gás a cada hora. A fim de aproveitar este biogás para produção de energia elétrica emprega-se um conjunto motor/gerador com um consumo de 4m³/hora, assim, funcionará 16 horas/dia gerando excedentes de energia que pode ser injetado na rede da concessionária para utilizar mais tarde. Este processo denomina-se Geração distribuída.

O estrume pode ser diluído com descartes de leite. Em proporções adequadas a produção de metano aumenta, mas em inadequadas o volume de outros gases se tornam mais significativos. Em função de não possuir aparelho que mede proporções de gás presentes em uma concentração, não possuímos capacidade técnica para especificar as concentrações, tornando inconclusivo este quesito.

A produção de energia proveniente do sistema de biodigestão é suficiente para atender a propriedade, visto que a necessidade é de 2,64 kW/h em média e a produção

em torno de 8 kVA/h.

O custo para implementar, estima-se que esteja próximo de R\$ 30.189,19. Como forma de custear projetos de cunho de agricultura familiar a taxa de juro é baixa, tem o valor em 2%. Este tipo de crédito é financiado pelo BNDES. Os valores de manutenção e operação correspondem a uma taxa de 10% do capital investido trazendo para o presente em um horizonte de 20 anos precisa ser somado ao custo. Desta forma, o valor necessário de investimento inicial está em R\$79.552,84. Deixa-se de pagar a companhia de energia R\$6.248,00 a cada ano(demanda evitada), logo este valor passa a ser a entrada no fluxo de caixa. Nestas condições em 15 anos estará pago o investimento.

A análise frente à qualidade de energia é regulamentada pelo PRODIST, módulo 8. As tensões de cada fase estão em nível crítico superior, as correntes possuem desbalanço significativo. A característica deste tipo de propriedade está em demonstrar que as atividades são semelhantes a cada dia. Não possuem diferenciação entre finais de semana e dias da semana.

O fator de potência precisa ser melhorado, pois na maior parte do tempo está abaixo do valor 0,92. Já existe um banco de capacitor acoplado, mas segundo proprietário esta com defeito. Foi projetado um banco de capacitor de 0,6 kVar como medida para solucionar este problema.

Como trabalhos futuros sugiro aperfeiçoamento da análise frente a qualidade de energia obtendo o nível de harmônicas, implementação de sistema eólico e inserção de sistema fotovoltaico, ambos na mesma propriedade. Como intuito de tornar uma propriedade de referência no desenvolvimento de Geração Distribuída

Referências

- ACRIPLEITE, A. de Criadores de Gado Leiteiro e Produtores de Leite de A. *ACRIPELEITE*. 2015. Disponível em: <<http://acripleite.blogspot.com.br/>>. Citado na página 51.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema elétrico Nacional - PRODIST*: Módulo 8 - qualidade da energia elétrica. Distrito Federal, 2010. 1-62 p. Citado na página 39.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *RN nº 517 Resolução Normativa nº 517*: Resolução normativa nº 517. Distrito Federal, 2012. 1 p. Citado na página 28.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *RN nº 482 Resolução Normativa nº 482*: Resolução normativa nº 482. Distrito Federal, 2012. 1 p. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 49.
- BNDES. *Banco Nacional do Desenvolvimento*. 2015. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/pronaf_alimentos.html>. Citado na página 48.
- BRANCO, P. de Força e E. *Branco - Bio Soluções*. 2015. Disponível em: <<http://www.branco.com.br/produtos/bio-solucoes/geradores-e-motores/b4t-10000-bioflex/>>. Citado na página 38.
- BRASUTIL. *Máquinas e Equipamentos*. 2015. Disponível em: <<http://www.brasutil.com/produto/Gerador+Bioflex+18+Cv+9,5+KVA+B4T-10000+Partida+El%C3%A9trica+Sa%C3%ADda+110220+V+-+Branco/15505>>. Citado na página 48.
- CELESC. *Fator de Carga - Celesc Distribuidora S.A.* 2015. Disponível em: <http://portal.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=220>. Citado na página 44.
- COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso de Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para a geração de Energia Elétrica e Irrigação em Propriedades Rurais*. Dissertação (Mestrado) — UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 33.
- COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DE ITAÍ-PARANAPANEMA-AVARÉ. : Energia ativa e reativa. Rua Manoel Joaquim Garcia, 1177 CEP 18730-000 Itaí/SP, 2009. Citado na página 44.
- DIAZ, G. O. *Análise de Sistemas para o Resfriamento de Leite em Fazendas Leiteiras com o uso do Biogás Gerado em Projetos MDL*. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Citado na página 20.
- FARRET, F. A. *Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica*. [S.l.]: Editora UFSM, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 27.

- H.ARRUDA, M. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 1, n. 2, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 23.
- ICLEI - BRASIL - GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. *Manual para aproveitamento do biogás: Aterros sanitários*. Secretariado para a América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009. 1-80 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 19.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. : Indicadores ibge. [S.l.], 2014. 99-105 p. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- J.CALLAGHAN KARSTEN LUECKE, D. W. K. T. F. *Co-Digestion of Cattle Slurry and Waste Milk under Shock Loading Conditions*. Dissertação (Mestrado) — school of Civil Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 2TT, UK, 1996. Citado 3 vezes nas páginas 9, 24 e 25.
- KAGAN, E. J. R. H. P. S. N. *Estimação de Indicadores de qualidade da energia elétrica*. [S.l.]: Blucher, 2009. Citado na página 38.
- LELLIS, M. M. *Fontes Alternativas de Energia Elétrica no Contexto da Matriz Energética Brasileira: meio ambiente, mercado e aspectos jurídicos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Itajubá - Minas Gerais, 2007. Citado na página 16.
- LINDEMEYER, R. M. *Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Uso do Biogás como fonte de Energia elétrica*. Dissertação (Mestrado) — Coordenadoria de Estágios do Departamento de Ciências de Administração da Universidade Federal de Santa Maria, Florianópolis, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 20, 22 e 29.
- LONEIRO. *Lonas em Geral*. 2015. Disponível em: <<http://www.loneiro.com.br/>>. Citado na página 48.
- NEVES, V. L. V. *Construção de Biodigestor para a Produção de Biogás a partir da Fermentação de esterco Bovino*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de tecnologia de Araçatuba - Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Araçatuba - SP, 2010. Citado na página 25.
- NOGUEIRA, L. A. H. *Biodigestão: A alternativa energética*. [S.l.]: São Paulo Nobel, 1986. Citado 3 vezes nas páginas 20, 22 e 27.
- OLIVEIRA, M. M. de. *Estudo da Inclusão de Compartimentos em Biodigestores Modelo Canadense*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Santa Maria, 2012. Citado na página 19.
- ROLDÃO, L. da Costa; Rafael Davi Baltazar; Reginaldo Zacarias de J. V. C. R. V. *Estudo das formas de obtenção de gás e energia a partir de matéria orgânica*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de São Bernardo do Campo - Curso de Ciências Químicas, São Bernardo do Campo - São Paulo, 2012. Citado na página 29.
- SANTOS, P. Guia técnico de biogás. Portugal, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

SGANZERLA, E. *Biodigestores: Uma solução*. [S.l.]: Porto Alegre:Agropecuária, 1983. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 27.

SILVA, M. A. da. *Avaliação de Parâmetros Técnicos e econômicos na substituição de Motores de Indução Trifásicos de 1CV a 10CV*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais - Program de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, 2009. Citado na página 40.

SUPERINTENDÊNCIA COMERCIAL DE DISTRIBUIÇÃO - GOVERNO DO PARANÁ. : Manual de eficiência energética na indústria. Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Bloco C, Mossunguê - Curitiba - PR, 2005. 99-105 p. Citado na página 46.

TUMELERO. *Materiais de Construção*. 2015. Disponível em: <<http://www.tumelero.com.br/>>. Citado na página 48.

WINROCK INTERNACIONAL- BRASIL. *Manual de treinamento em Biodigestão*. Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), 2008. 1 - 23 p. Citado 4 vezes nas páginas 19, 20, 23 e 35.