

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

OTENIZIO NOLASCO CAVALCANTE NETTO

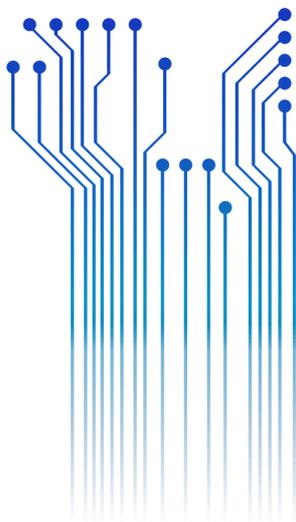


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS
DEJETOS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

OTENIZIO NOLASCO CAVALCANTE NETTO

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS DEJETOS DA
BOVINOCULTURA LEITEIRA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande
2019

OTENIZIO NOLASCO CAVALCANTE NETTO

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS DEJETOS DA
BOVINOCULTURA LEITEIRA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em ____ / ____ / ____

Professor Roberto Silva de Siqueira, M. Sc
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, minha namorada e amigos, que sempre me incentivaram e estiveram comigo nessa longa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado o dom da vida e a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço também aos meus pais, Oténizio e Maria de Lourdes, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço a minha namorada, companheira fiel e dedicada que esteve sempre ao meu lado, me incentivando e me dando apoio as minhas decisões.

Enfim, agradeço a todos que ajudaram de alguma forma para minha formação educacional e moral, necessária para que pudesse está realizando o presente trabalho e concluindo mais uma etapa da minha vida.

*“O esforço contínuo,
não a força ou a inteligência,
é a chave para libertar todo
o nosso potencial.”*

Winston Churchill.

RESUMO

A produção de biogás destinado a geração de energia elétrica, tem se tornado cada vez mais utilizada como fonte complementar a geração, contribuindo para diversificar e suprir a demanda de energia, além de contribuir na diminuição dos impactos ambientais. Essa fonte de energia renovável tem se desenvolvido de forma considerável no meio rural, gerando desenvolvimento econômico, social e ambiental. Esse crescimento tem proporcionado diminuições na emissão de gás metano oriundos dos dejetos gerados principalmente por animais, e produzindo um subproduto que é o biofertilizante, que pode ser usado como fertilizante orgânico de alta qualidade. Nesse contexto, o presente trabalho, pretende fazer uma análise geral sobre o biogás, geração de energia elétrica, tecnologias empregadas, e por fim realiza um estudo de caso objetivando dimensionar um sistema de geração para uma pequena propriedade criadora de gado leiteiro.

Palavras-chave: Biogás, Geração de Energia Elétrica, Gado leiteiro.

ABSTRACT

The production of biogas for the generation of electric energy, has become increasingly used as an alternative source of generation, contributing to diversify and supply the energy demand, in addition to contributing to the reduction of environmental impacts. This renewable energy source has developed considerably in the rural environment, generating economic, social and environmental development. This growth has resulted in decreases in methane gas emissions from animal-generated waste, and producing a by-product that is biofertilizer, which can be used as high-quality organic fertilizer. In this context, the present work intends to make a general analysis on biogas, electric power generation, technologies used, and finally carries out a case study aiming at designing a generation system for a small dairy cattle breeding property.

Keywords: Biogas, Electric Power Generation, Dairy Cattle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz energética brasileira em 2017.....	15
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira em 2017	16
Figura 3 - Comparação entre Brasil e Mundo	17
Figura 4 - Biodigestor.....	20
Figura 5 - Modelo de biodigestor indiano	21
Figura 6 - Representação tridimensional do modelo indiano	22
Figura 7 - Modelo de biodigestor chinês	23
Figura 8 - Representação tridimensional do modelo chinês.....	23
Figura 9 - Modelo de biodigestor canadense.....	24
Figura 10 - Esquema de geração de energia elétrica e calor	31
Figura 11 - Modelo do conjunto motogerador	31
Figura 12 - Modelo de geração à biogás.....	32
Figura 13 - Principais componentes de uma microturbina	33
Figura 14 - Principais componentes da turbina a gás	34
Figura 15 - Vista aérea da propriedade.....	35
Figura 16 - Propriedade em Estudo	36
Figura 17 - Dimensionamento do biodigestor	40
Figura 18 - Grupo Gerador Trigás	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica	28
Tabela 2 - Cálculo de Carga	37
Tabela 3 - Fórmulas para determinação do biodigestor	38
Tabela 4 - Valores calculados para o biodigestor.....	39
Tabela 5 - Cálculo do potencial de biogás produzido	41
Tabela 6 - Relação entre Consumo e Geração do Grupo Gerador	43
Tabela 7 - Custos da Instalação	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
CNY	Yuans Chineses (Moeda Chinesa)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
MME	Ministério de Minas e Energia
NBMMP	Programa Nacional de Gestão de Biogás e Estrume
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás
%	Porcentagem
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
kW	Quilowatt
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Motivação	13
1.2	Objetivos	13
1.3	Estrutura do trabalho	14
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Pecuária Leiteira no Brasil	17
2.2	Biogás	18
2.3	Biodigestor	19
2.4	Tipos de Biodigestores	21
2.5	Biogás na china	24
2.6	Biogás na Índia	25
2.7	Programas de incentivo ao biogás no Brasil	26
2.8	Potencial do Biogás no Brasil	27
3	Geração de Energia Elétrica	30
3.1	Geração Distribuída	30
3.2	Tecnologia de Conversão do Biogás	31
3.2.1	Motores a biogás	32
3.2.2	Microturbina a gás	33
3.2.3	Turbinas a Gás	34
4	Estudo de caso	35
4.1	Local do Estudo	35
4.2	Dimensionamento	36
4.3	Biogás Produzido	41
4.4	Dimensionamento do Gerador	41
4.5	Potencial de Geração	43
4.6	Custos da Instalação	44
4.7	Manutenção	44
5	Conclusão	46
	Referências	47

1 INTRODUÇÃO

As fontes energéticas são de fundamental importância no crescimento econômico de um país. No caso do Brasil, que é um país em desenvolvimento, é fundamental que se tenha uma diversificação das fontes energéticas para que não ocorram problemas futuros que possam interferir em setores da sociedade, bem como setores da economia.

A crise do petróleo da década de 70 fez o Brasil despertar o interesse em pesquisas sobre energias renováveis. Nesse grupo de energias renováveis temos a bioenergia proveniente dos resíduos sólidos da agricultura e dos dejetos animais oriundos da pecuária. A bioenergia tornou-se uma fonte importante, pois além de ter capacidade de geração, também contribui na diminuição da poluição do meio ambiente, uma vez que os gases oriundos da decomposição dessa matéria orgânica seriam lançados no meio ambiente.

A digestão anaeróbica vem se tornando cada vez mais utilizada no ambiente rural, seja pela sua eficácia na diminuição da matéria orgânica, seja pela geração de subprodutos como o biogás e biofertilizante.

A China e a Índia foram os países pioneiros na produção do biogás e na utilização desse como fonte de energia. Inicialmente a matéria prima era proveniente de restos alimentares e dejetos em geral, sendo o biogás produzido e usado principalmente na iluminação e no cozimento de alimentos.

O gás metano, CH_4 , é o principal componente do biogás, a combustão completa desse gás libera energia, principalmente na forma de calor, podendo ser aproveitado de diversas formas, como por exemplo na geração de energia elétrica.

A digestão anaeróbica ocorre nos biodigestores que são construídos para armazenar a mistura pastosa de resíduos e água. Se a matéria-prima é esterco bovino, o produto é um gás composto de cerca de 60% de metano e 40% de dióxido de carbono (ROGER A. HUNRICHS, 2014).

É notável os benefícios proporcionados por essa forma de obtenção de energia, tanto para o setor energético quanto para o meio ambiente. Sendo assim, é importante que existam estudos nessa área que ajudem no fomento dessa forma de geração.

1.1 MOTIVAÇÃO

O crescente aumento populacional e dos centros urbanos, tem acarretado um aumento na produção alimentícia de origem animal e conseqüentemente um nível cada vez maior de dejetos gerados. Esse aumento acaba gerando um problema em relação ao manejo dos dejetos, gerando problemas ambientais e energéticos, ou seja, quanto mais cresce a população, mais se faz necessário aumentar a produção de energia elétrica para suprir a demanda.

Partindo dessa conjuntura, surge a necessidade de manejo correto dos dejetos gerados, diminuir os impactos ambientais utilizando fontes renováveis de geração de energia elétrica para suprir a demanda. Nesse contexto, será abordado o uso do Biogás proveniente do tratamento de dejetos bovinos para gerar energia elétrica, onde procura-se melhorias nos aspectos ambientais, econômicos e energéticos com o uso do Biogás.

O presente trabalho é fruto da motivação do autor de estudar e conhecer mais a fundo uma fonte de energia renovável que pode ajudar a diminuir os impactos ambientais e gerar energia para complementar a matriz energética brasileira, diminuindo os dejetos despejados na natureza.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho refere-se ao estudo da geração de energia elétrica oriunda do Biogás produzido a partir da decomposição de dejetos de origem bovina. O estudo foi construído baseando-se em pesquisas bibliográficas acerca da produção de biogás a partir de dejetos bovinos, observando-se as possibilidades de utilização e exploração do potencial dos resíduos orgânicos na geração de energia elétrica.

Outro objetivo é o estudo de uma forma complementar de produção de energia renovável, utilizando dejetos bovinos produzidos em áreas rurais que seriam descartados na natureza para gerar energia elétrica. Verificando o volume e a confiabilidade da produção.

Todo o trabalho será baseado em potencial de produção do Biogás, tecnologias empregadas para armazenar e converter o biogás em energia elétrica, aspectos gerais da pecuária bovina, os modelos de produção mais difundidos no Brasil e no mundo, aspectos ambientais e econômicos, além dos desafios e a perspectiva para o futuro.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em capítulos descritos abaixo com o intuito de simplificar o entendimento do leitor.

O Capítulo 1 contém a introdução e contextualização do trabalho, apresentando a motivação para o estudo, objetivos e estrutura de divisão do mesmo.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica composta por uma revisão bibliográfica sobre a situação energética brasileira, pecuária leiteira no Brasil, Biogás, biodigestores, potencial e programas de incentivo ao Biogás.

O Capítulo 3 expõe uma cobertura geral sobre geração distribuída e as tecnologias usadas para converter o Biogás em energia elétrica.

O Capítulo 4 apresenta um estudo de caso destinado a estimar a produção de biogás e conseqüentemente geração de energia elétrica em uma pequena propriedade criadora de gado leiteiro.

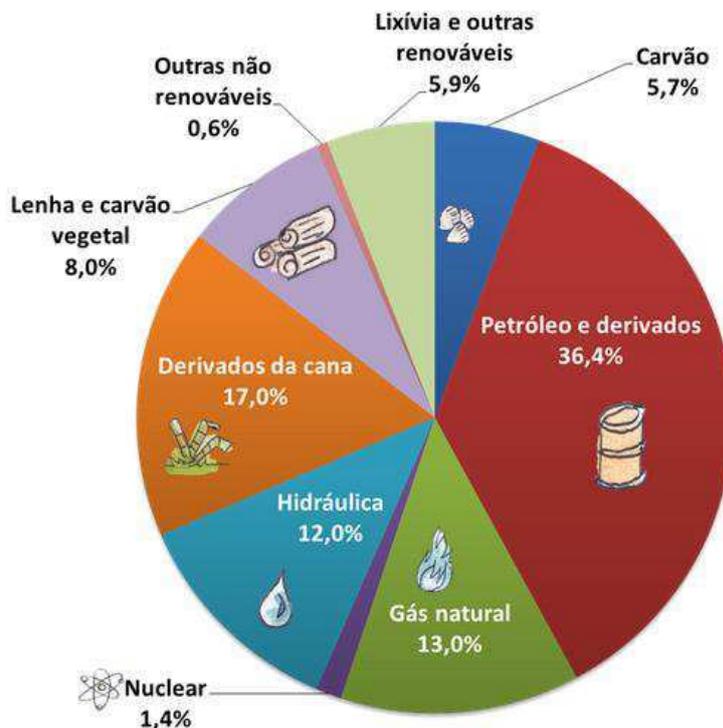
Por último, no Capítulo 5 acontece um relato feito pelo autor, que diz respeito as considerações finais sobre o conteúdo estudado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crise do petróleo da década de 70 gerou uma elevação nos preços dos combustíveis fósseis, nesse contexto de crise onde havia uma certa incerteza n suprimento da demanda energética levou os países a manifestar um interesse real por fontes alternativas de geração de energia.

Outro fator importante na consolidação das buscas por energias renováveis foi o processo de aquecimento global causado pela queima de combustíveis fósseis, gerando preocupação global com os gases do efeito estufa.

Figura 1 - Matriz energética brasileira em 2017

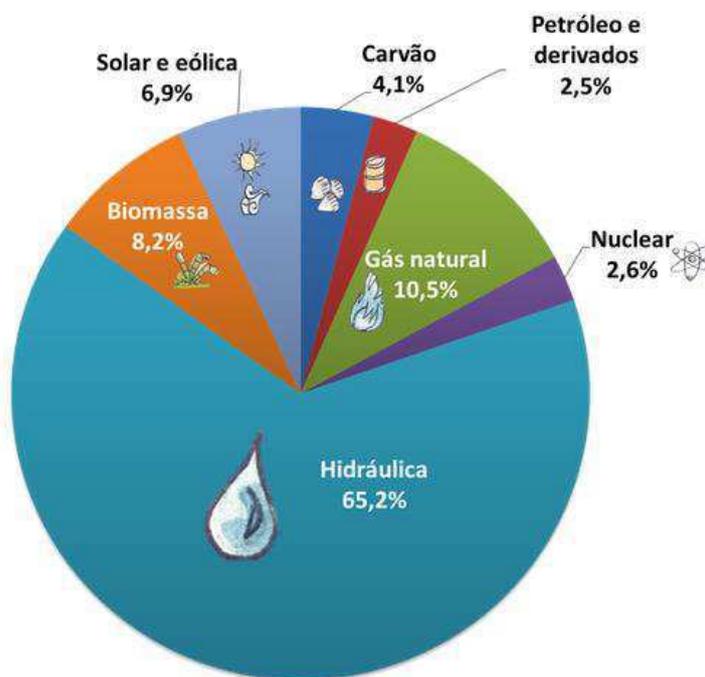


Fonte: BEN, 2018

O Brasil é um país contemplado com uma matriz energética e elétrica bem diversificada, onde se destaca a matriz elétrica com enorme porcentagem da matriz sendo oriunda de fontes renováveis.

A matriz elétrica brasileira é ainda mais proveniente de fontes renováveis do que a matriz energética, isso se deve ao fato de que grande parte da energia elétrica que vem a ser produzida vem de usinas hidrelétricas.

Figura 2 - Matriz elétrica brasileira em 2017

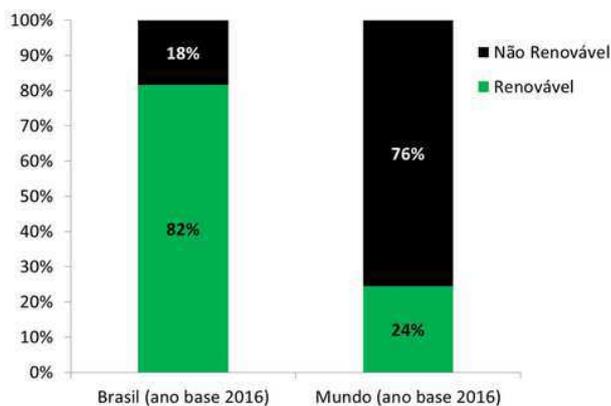


Fonte: BEN, 2018

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional, edição de 2018, mostram que o Brasil possui 8,2% de sua matriz elétrica proveniente da biomassa, onde o biogás é uma fonte que tem uma pequena dessa porcentagem. É de importante conhecimento que o biogás é gerado durante um processo, onde as bactérias, decompõem a biomassa, gerando gases e calor na atmosfera.

Ainda de acordo com dados do Balanço Energético Nacional, edição de 2018, o Brasil está à frente do mundo quando o assunto é geração de energia renovável, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Comparação entre Brasil e Mundo



Fonte: EPE, 2016

2.1 PECUÁRIA LEITEIRA NO BRASIL

O Brasil, apresenta um grande potencial na produção pecuária, tanto de carne quanto de leite, esse fator se dá por conta do nosso país ter aspectos ecológicos que favorecem a produção e deixam-na mais barata se comparada a outros países. Segundo (SILVA et al., 2017) o Brasil pode se tornar a médio e longo prazo, um importante exportador de leite e derivados, assim como já ocorre com a carne bovina.

Uma das curiosidades da pecuária leiteira no Brasil é que mesma ocorre em toda extensão do território nacional, apresentando diferentes formas de produção. Nesses sistemas existem desde produtores rudimentares até aqueles altamente tecnificados (PACIULLO, et al., 2005).

O Brasil é o sexto maior produtor de leite do mundo e cresce a uma taxa anual de 4%, superior à de todos os países que ocupam os primeiros lugares. Respondemos por 66% do volume total de leite produzido nos países que compõem o Mercosul (CARVALHO et al., 2003).

A pecuária bovina leiteira teve, nos últimos anos, um acentuado crescimento de produção, passando de 14,4 bilhões de litros, em 1990, para aproximadamente 32,0 bilhões de litros/ano, em 2012. Apesar do grande aumento na produção de leite no País, a produtividade não teve um aumento significativo, passando de 759 kg/lactação, em 1990, para 1.213 kg/vaca/ano, em 2006, com um crescimento de 59,7%, continuando

muito inferior a Argentina (3.918 kg) e aos países desenvolvidos, onde a média de produção é maior que 5.000 kg/lactação (NETO et al., 2013).

Todo processo produtivo está ligado a dejetos e esse não é diferente, os dejetos gerados pelos bovinos diariamente é um problema que deve receber um tratamento especial com um manejo adequado, pois esses dejetos são ricos em matéria-orgânica e agente patogênicos que podem ser responsáveis por poluir as águas tanto superficiais quanto subterrânea.

Fezes bovinas tem sido identificada como o principal reservatório de *Escherichia coli*, sendo um potente veículo de transmissão para o ambiente, para o gado e para os alimentos (WANG et al., 1996).

Segundo (MATOS, 2005), uma vaca leiteira (peso médio de 400 kg) produz, diariamente, em excretas o equivalente a 28-32 kg de fezes, estando a produção de fezes + urina na faixa de 38 – 50 kg.

2.2 BIOGÁS

Os resíduos gerados pela produção agropecuária apresentam um potencial enorme quando o assunto é produção do biogás. Os resíduos da produção agrícola e dos dejetos animais de origem suína, caprina, bovina, aves, ovinos são de grande valia para se produzir o biogás. É de grande importância que esses resíduos produzidos diariamente sejam canalizados e reaproveitados, uma vez que os mesmos podem causar danos ao meio ambiente.

Para ocorrer a conversão dos dejetos gerados pela pecuária leiteira em biogás, se faz necessário a existência de um processo de biodigestão, que decorre da decomposição da matéria orgânica por digestão anaeróbica (sem a presença de oxigênio). O biogás produzido do processo pode então ser usado para diferentes fins, seja para cozinhar, usar como combustível, e até mesmo para gerar energia elétrica alimentando um motor-gerador. Para que haja um bom aproveitamento do produto final, se faz necessário avaliar sua composição química, vazão de produção e poder calorífico.

Segundo (ALVES et al., 1980), o biogás é proveniente da fermentação anaeróbica da matéria orgânica e constitui-se de uma mistura de metano, dióxido de carbono, hidrogênio e traços de outros gases. Em outras palavras, o biogás é um produto

da decomposição da biomassa, no qual o biogás é composto principalmente por dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4).

Para se produzir o biogás a partir da biomassa (matéria orgânica), faz-se necessário a interação de diferentes micro-organismos, que em conjunto com fatores importantes como, temperatura, pH e tipo de substrato, compõe o processo de formação do biogás.

Como é sabido, o biogás está sendo produzido de forma natural o tempo todo e é composto por grande quantidade de gás metano (CH_4), e para que haja a formação do metano (CH_4) é de grande importância que no processo não haja a presença de oxigênio no ambiente. Assim, temos que quanto melhor for o processo de decomposição da matéria orgânica pelas bactérias, melhor será a qualidade do biogás a ser produzido.

Geralmente o biogás bruto é constituído por um terço de metano, um terço de outros gases, como: H_2S , O_2 , NH_3 e um terço de dióxido de carbono. Se o biogás é purificado, ou seja, constituído apenas por metano, pode ser utilizado para geração de energia e como combustível veicular (KARLSSON et al., 2014).

O poder calorífico do biogás é em média aproximadamente a 5500 kcal/m^3 . Assim, cada metro cúbico de biogás equivale, aproximadamente, ao valor energético de: 0,45 kg de GLP; 0,55 litros de óleo diesel; 1,1 litros de gasolina comum; 0,58 litros de querosene; 1,5 kg de lenha; 0,74 kg de carvão mineral; 0,8 kg de carvão vegetal ou ainda a 1,43 kWh (ANDRADE et al., 2002).

Em resumo, os dejetos de origem agrícola, animal e até mesmo dejetos urbanos podem ser aproveitados como matéria-prima para transformação em energia renovável, que pode ser utilizada para geração de calor, eletricidade e combustível veicular em substituição ao gás natural comercializado em maior escala. Então sendo os dejetos mencionados canalizados e tratados corretamente (por decomposição anaeróbica) pode ser produzido o biogás.

2.3 BIODIGESTOR

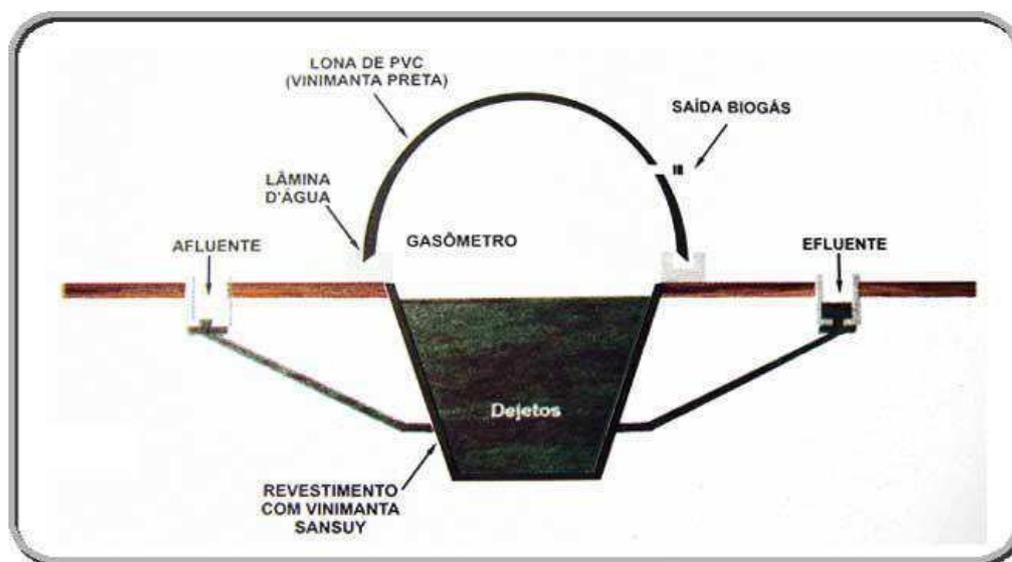
O biodigestor é onde ocorre a fermentação da matéria orgânica, é constituído por uma câmara hermeticamente fechada com material impermeável onde fica armazenada uma certa quantidade de matéria para que o ocorra a decomposição sem a presença de oxigênio, tornando um ambiente propício para que ocorra a ação das bactérias

anaeróbicas. O biodigestor possui duas tubulações, uma tubulação para o abastecimento do biodigestor e outra tubulação para a retirada dos restos da decomposição.

O biodigestor é um equipamento que se tem conhecimento a mais de dois séculos no mundo, porém, no Brasil, sua utilização dar-se a partir da década de 70. O biodigestor corresponde bem ao aproveitamento e tratamento de resíduos, na geração de energia e produção de biofertilizante (SILVA, 2016).

Nesta unidade de decomposição anaeróbica, as bactérias metanogênicas passam a ter um papel importante, pois atuam na matéria orgânica presente diminuindo o potencial poluidor e gerando o biogás. Os biodigestores podem ser utilizados para tratar dejetos de origem animal, agrícola, dos esgotos urbanos, industrial e outras fontes de biomassa. Para se obter uma boa produção do biogás no tangente a quantidade produzida, faz-se necessário respeitar as condições específicas determinadas no projeto de construção e operação do biodigestor, além de uma boa quantidade de carga orgânica disponível.

Figura 4 - Biodigestor



Fonte: Embrapa

É exposto na Figura 4 um modelo de biodigestor bastante utilizado nos dias de hoje principalmente em propriedades rurais. Ele apresenta um formato cônico na sua parte inferior onde ficam depositados os dejetos a serem decompostos pelas bactérias, o recipiente de depósito é revestido por uma lona de PVC impermeável que lacra o recipiente, evitando a entrada de oxigênio indesejado ao processo.

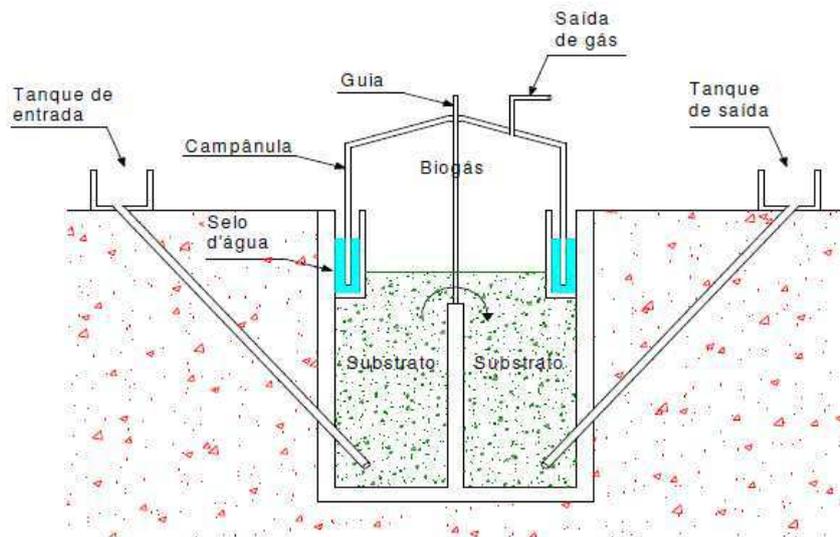
2.4 TIPOS DE BIODIGESTORES

Existem hoje em todo o mundo uma variedade de tipos de biodigestores com formatos e construções diferentes, sendo os biodigestores tipo indiano, chinês e canadense os modelos mais utilizados. A escolha correta do tipo de biodigestor deve atender as especificações como disponibilidade do espaço destinado a construção, vazão de produção, segurança das instalações e tipo de matéria orgânica.

O modelo de biodigestor indiano (Figura 5) por sua vez apresenta uma campânula como gasômetro por onde é retirado o biogás produzido. É construído em alvenaria assim como o modelo chinês, mas apresenta um gasômetro na parte superior construído em metal.

Este modelo de biodigestor apresenta em seu interior uma parede divisória, essa parede tem por função fazer com que toda a matéria orgânica circule pela câmara de fermentação. No que diz respeito ao processo de operação, o modelo indiano trabalha com pressão constante, isso significa que com o gradual aumento da produção e não consumo imediato do gás, o gasômetro movimenta-se verticalmente, aumentando assim o seu volume e mantendo a pressão de operação constante.

Figura 5 - Modelo de biodigestor indiano



Fonte: Souza, 2010

Para o modelo de biodigestor indiano, a forma de abastecimento da câmara de fermentação deve ocorrer de forma contínua, ou seja, deve se ter uma constância de

alimentação, sendo esse modelo recomendado para instalação em propriedades rurais destinadas ao tratamento de dejetos animais.

De acordo com (SOUZA, 2010) os resíduos destinados à alimentação do biodigestor indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais não superior a 8%, para facilitar a circulação dos resíduos pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimento dos canos entrada e saída do material.

No biodigestor indiano podemos ter um certo acréscimo nos custos de construção se compararmos ao modelo chinês, isso se dá por conta da presença do gasômetro e também da distância do biodigestor à propriedade, o que pode tornar o transporte mais caro e difícil.

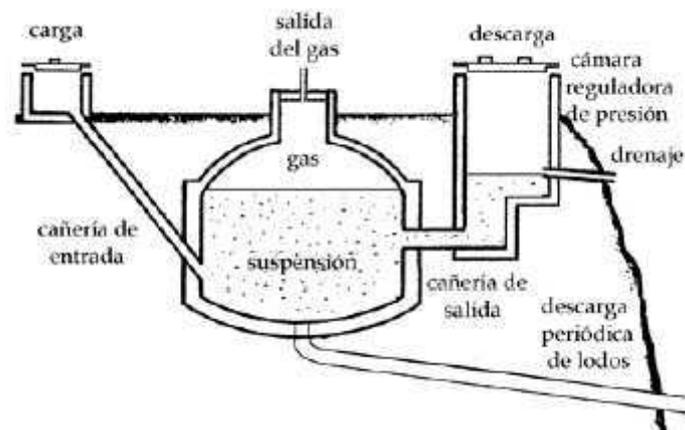
Figura 6 - Representação tridimensional do modelo indiano



Fonte: Souza, 2010

O modelo chinês, representado na Figura 7 é constituído de uma câmara para fermentação em formato cilíndrico construída em alvenaria, sem a presença de gasômetro, reduzindo os custos da construção. Possui uma parte superior impermeável que é destinado ao armazenamento do gás. Esse modelo apresenta uma tubulação para entrada da matéria orgânica e uma tubulação para a saída dos efluentes da fermentação.

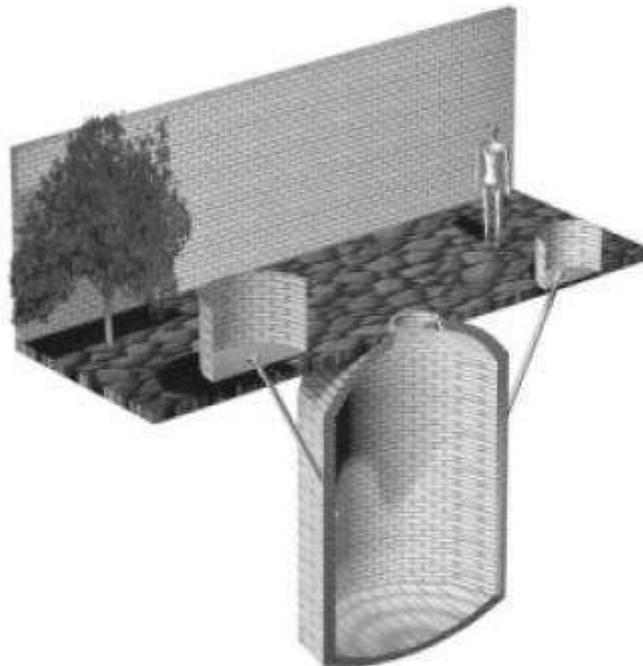
Figura 7 - Modelo de biodigestor chinês



Fonte: Oliver et al., 2008

O princípio de funcionamento do biodigestor chinês é de fácil compreensão, funciona de modo que aumentando a pressão interna decorrente do acúmulo do biogás gera um deslocamento dos efluentes que se dirige para a caixa de descarga.

Figura 8 - Representação tridimensional do modelo chinês



Fonte: Souza, 2010

Comparando os dois modelos, percebemos que eles são bem semelhantes em termos de desempenho, com o indiano se mostrando um pouco mais eficiente no tocante a

produção do biogás e redução dos dejetos sólidos presentes no substrato que alimenta os biodigestores.

Partindo agora para o modelo canadense que também é bastante difundido no mundo, percebemos que o mesmo apresenta um sistema de simples compreensão e pouca exigência no que diz respeito a operação. Esse biodigestor é do tipo horizontal, apresenta uma área de exposição ao sol maior, aumentando a produção do biogás. É caracterizado também por apresentar um recipiente que contém o substrato destinado ao processo de digestão, sendo coberto por uma espécie de manta em PVC.

Esse tipo de modelo não apresente campânulas, o que facilita bastante a sua instalação e diminuição dos custos, tornando esse modelo mais difundido atualmente. Quando o assunto é operação, esse tipo de biodigestor não é alimentado de forma contínua, mantendo a matéria orgânica em fermentação por um determinado período, sendo esvaziado após o encerramento do período de produção do biogás.

Figura 9 - Modelo de biodigestor canadense



Fonte: Torres et al., 2012

2.5 BIOGÁS NA CHINA

A China foi um dos pioneiros a desenvolver e utilizar o biogás, e já faz isso a quase um século. Foi nos anos 70 e 80 que o governo chinês definiu o biogás como um tipo de combustível mais racional e eficaz para ser usado em regiões rurais, fornecendo

apoio aos agricultores e levando à instalação de milhões tanques para produção doméstica do biogás.

O apoio do governo chinês gerou nos anos subsequentes um forte impacto e crescimento na indústria de produção do biogás, onde cerca de 80% da frota de ônibus nas áreas rurais e cerca de 60% da frota nacional de ônibus, já utilizavam o biogás como combustível. Com “abertura e reformado” do mercado chinês, o país se tornou um dos maiores consumidores de energia no mundo, energia essa utilizada para suprir as necessidades industriais de produção.

Devido ao aumento da demanda por energia, o governo chinês incentivou ainda mais a implantação de instalações de produção de biogás, chegando a ter em 1999, cerca de 7 milhões de pequenas usinas de biogás em operação no país. Entre 2003 e 2010 o investimento no biogás passou de 1 bilhão de yuans chineses (CNY) para 5 bilhões.

Desde 2009, a China reforçou seu apoio à tecnologia oferecendo incentivos que cobrem 25-45% de todo o custo dos projetos de biogás, alocando mais recursos para as áreas do centro-oeste da China e para projetos inovadores. Políticas similares às tarifas feed-in foram estabelecidas para promover a geração de energia nas usinas, enquanto sistemas de serviços locais foram estabelecidos para melhorar a eficiência da produção e utilização do biogás (NOYCE, 2019).

2.6 BIOGÁS NA ÍNDIA

Assim como a China, a Índia também foi um dos países pioneiros a desenvolver e utilizar o biogás como forma energética. Ocorreu também na Índia, no começo do século XX, o início do desenvolvimento de biodigestores para a produção de gás a partir dos dejetos animais, principalmente de origem bovino.

Hoje a Índia possui um programa de incentivo ao biogás que é o Programa Nacional de Gestão de Biogás e Estrume (NBMMP), esse programa prevê a implantação de instalações de biogás tipo família, principalmente em áreas rurais e semi-urbanas/domicílios. Essas instalações tipo familiar gera o biogás a partir de substâncias orgânicas como dejetos bovinos.

O programa de incentivo visa a criação de 65.180 usinas de biogás do tipo familiar até o ano de 2019, de forma a assegurar combustível e energia para a população. Mais de 4,9 milhões de instalações já foram implantadas no programa, de acordo com o

Ministério, 65,9% dos domicílios permanecem dependentes da biomassa sólida. O programa que começou em 2014 faz parte de um conjunto de políticas para melhorar o sistema de geração de energia descentralizada do país, do qual dependem muitas famílias que habitam na zona rural.

2.7 PROGRAMAS DE INCENTIVO AO BIOGÁS NO BRASIL

Percebendo a necessidade de procurar outras formas de geração de energia para suprir a matriz energética nacional e reduzir a utilização de combustíveis fósseis, os gestores públicos passaram a criar políticas de incentivo ao uso do biogás como fonte alternativa de geração renovável e sustentável.

Em 2012 o governo do estado de São Paulo instituiu através do decreto nº 58.659, de 4 de dezembro de 2012 o Programa Paulista de Biogás e dá providências correlatas. Um dos objetivos do programa é a ampliação da participação de energias renováveis na matriz energética, considerando a produção e consumo de biogás produzido através da biomassa uma opção renovável, sustentável e de baixa emissão de carbono.

Outros pontos importantes no programa paulista são a criação de políticas públicas que propiciem a redução dos impactos ambientais e assegure uma forma adequada de desenvolvimento sustentável, estabelecer a adição de um percentual mínimo de biometano a todo gás canalizado que venha a ser comercializado no estado de São Paulo.

No estado do Rio Grande do Sul foi criado por meio do PL 86/2018 a Política Estadual de Biogás e o Programa Gaúcho de Incentivo a Geração de Energia a partir da Biomassa – Pró-Biodigestores. Esse programa tem a finalidade o desenvolvimento sustentável, com qualidade de vida e geração de renda, procurando atender pontos importantes como estabelecer uma destinação correta aos resíduos sólidos, incentivos econômicos e fiscais para produção do biogás, aumentar a participação da biomassa na matriz energética do estado, promover o desenvolvimento tecnológico aplicável ao biogás e reduzir a produção de gases do efeito estufa.

O programa gaúcho foi desenvolvido a partir de uma união de forças entre entidades do governo gaúcho, associações, cooperativas, sindicatos e instituições de ensino superior, entre elas a UNIVATES através do Laboratório de Bioreatores do Tecnovates. O grupo de trabalho formado tem a tarefa de reunir-se mensalmente para

apresentar proposta e soluções para o desenvolvimento da produção do biogás no Estado gaúcho.

Em nível nacional foi criado O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, o PROBIOGÁS, que é um projeto de cooperação entre o Governo Brasileiro através da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades e o Governo Alemão, através da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*.

O PROBIOGÁS tem o objetivo principal de fomentar a produção e o uso do biogás gerado na agropecuária, na indústria e no saneamento básico. Essa medida é de considerável importância, pois procura incentivar a diversificação da matriz energética com uma forma de energia renovável e que promove diminuição dos impactos ambientais gerados por resíduos oriundos dessas atividades acima citadas.

De uma forma mais específica, o PROBIOGÁS tem como princípio atuar em parceria com órgãos do governo nacional buscando melhorias nas condições regulatórias de produção e consumo de energia oriunda do biogás. Esse acordo de cooperação entre Brasil e Alemanha busca aprimorar estudos e tecnologias de ambos os países de forma a agregar conhecimento na formação e capacitação para as exigências do mercado.

Apesar do programa PROBIOGÁS ter sido encerrado em 2017 mutuamente entre a agência alemã *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)* e o Ministério das Cidades, o legado que ficou anima o setor, pois abre espaço para que outras políticas sobre produção e uso do biogás sejam implantadas em prol do bem da sociedade, bem como do meio ambiente.

2.8 POTENCIAL DO BIOGÁS NO BRASIL

A transformação da matéria orgânica nos biodigestores, gera biogás e biofertilizantes. A tecnologia necessária para essa produção é de certa simplicidade, conseguindo ter uma boa adaptação a diferentes cenários geográficos, escalas e sistemas produtivos. Essas características lhe conferem um enorme potencial para que seja possível a utilização para fins de geração de eletricidade, de calor e combustível para veículos. Apesar de todas as funcionalidades e contribuições do biogás, o mesmo ainda apresenta uma baixa contribuição na matriz elétrica nacional, demonstrando que ainda precisamos

evoluir bastante em programas, estudos e incentivos para se ter uma contribuição satisfatória.

Tabela 1 – Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica

Fonte	2016	2017	Estrutura % de 2017	Expansão n-(n-1) MW
Hidroelétrica	96.925	100.303	63,7	3.378
<i>UHE</i>	91.499	94.662	60,1	3.163
<i>PCH e CGH</i>	5.426	5.641	3,6	215
Biomassa	14.187	14.559	9	372
<i>Bagaço de Cana</i>	10.903	11.158	7,1	255
<i>Biogás</i>	119	135	0,1	16
<i>Lixívia e outras</i>	3.165	3.266	2,1	101
Eólica	10.124	12.283	8	2.159
Solar	24	936	1	912
Urânio	1.990	1.990	1	0
Gás	14.672	14.941	9	269
<i>Gás Natural</i>	12.965	12.980	8,2	15
<i>Gás Industrial</i>	1.707	1.960	1,2	253
Óleo	8.877	8.792	6	-85
<i>Do qual Óleo Combustível</i>	4.057	4.056	2,6	-1
Carvão Mineral	3.389	3.324	2	-65
Desconhecidas	150	242	0	92
Subtotal	150.338	157.370	99,9	7.032
Geração Distribuída	84	210	0,1	126
<i>Solar</i>	61	161	0,1	100
<i>Eólica</i>	5	10	0,0	5
<i>Hidro</i>	5	16	0,0	11
Total Nacional	150.422	157.580	100	7.159
<i>Dos quais renováveis</i>	121.494	128.533	81,6	7.039
Disponibilidade com Importação	156.272	163.430		

Fonte: Resenha Energética Brasileira, 2017

Segundo dados do MME (2017) o Brasil possui uma capacidade instalada de geração elétrica de 157,6 GW, sendo 128,533 GW de fontes renováveis. Observando na Tabela 1, podemos constatar o quanto ainda é pequena a participação do biogás, apenas

0,1 %, até mesmo se compararmos com outras fontes como lixívia e outras (2,1%), gás natural (8,2%) e eólica com 8%, percebemos o que ainda é preciso evoluir.

A produção de energia elétrica a partir do biogás no caso do gado leiteiro, depende da quantidade de dejetos usados nos biodigestores, do aspecto físico e químicos do material usado como fonte e também da constância de dejetos produzidos. Após o tratamento dos dados obtidos com a produção, volume e vazão do biogás, pode-se então determinar qual tipo de tecnologia se deve empregar na geração de energia elétrica tendo em vista se obter o maior rendimento possível do sistema.

3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Um fator que tem sido determinante para o crescente aumento no desenvolvimento da nossa sociedade é o consumo de energia, usada em diferentes áreas e de diferentes formas.

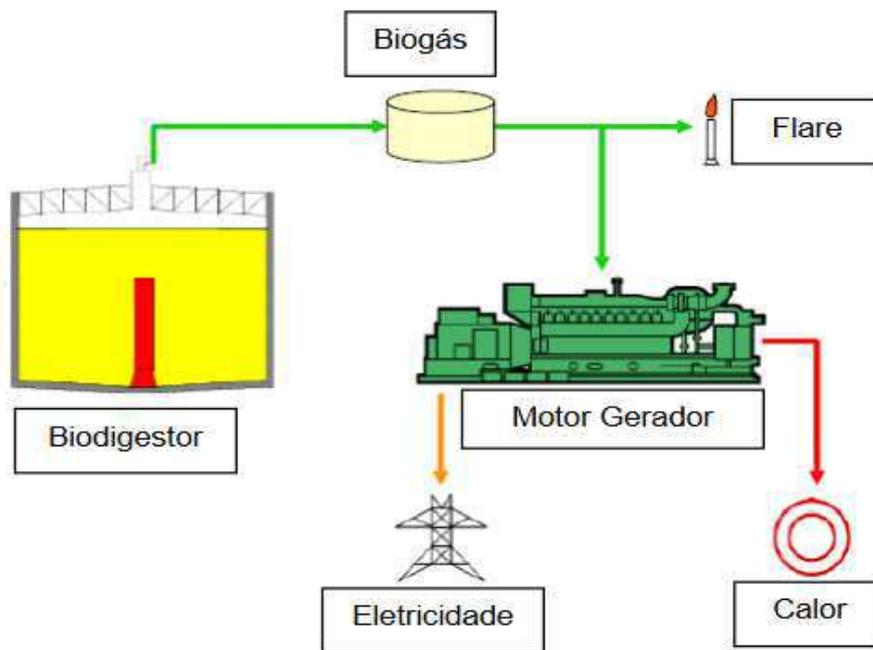
Ao longo dos anos, houve um crescimento perceptível na busca por formas alternativas de geração de energia devido aos problemas enfrentados com outras fontes de energia já consolidadas no mercado, como o petróleo. Essa procura por diversificação da matriz energética também visa cumprir acordos internacionais para melhorar as condições ambientais do planeta, buscando diminuir a dependência dos combustíveis fósseis que são grandes vilões na emissão dos gases do Efeito Estufa.

O Brasil possui hoje uma matriz elétrica diversificada, mas ainda com uma certa dependência da geração hidráulica que é responsável por mais de 60% da nossa matriz. Essa dependência gerou problemas de racionamento em decorrência da estiagem ocorrida em alguns anos, a estiagem faz o nível dos reservatórios diminuir, conseqüentemente a produção de energia elétrica cai junto.

Então, buscando alternativas para solucionar o problema da geração, constatou-se que geração distribuída aliada a diversificação da matriz elétrica poderia ter um papel fundamental na solução final para os problemas energéticos.

Entende-se por geração distribuída como sendo a forma de geração de energia elétrica, seja ela de qualquer potência, produzida junto ou próximo ao consumidor final. A Figura 10 mostra o esquema de geração de energia elétrica e aproveitamento da energia térmica gerada em forma de calor através do biogás.

Figura 10 - Esquema de geração de energia elétrica e calor



Fonte: Souza, 2016

3.2 TECNOLOGIA DE CONVERSÃO DO BIOGÁS

A transformação do biogás em energia elétrica decorre da conversão da energia química presente no biogás em energia elétrica, essa conversão se dá quando ocorre uma combustão em um motor por exemplo, que acoplado a um gerador, converte a energia mecânica em energia elétrica.

Figura 11 - Modelo do conjunto motogerador



Fonte: Trensurb, 2019

O biogás, por ser um combustível com elevado conteúdo energético, pode ser utilizado para a geração de energia em motores, turbinas a gás, microturbinas, ou ainda, ser queimado diretamente em caldeiras participando de sistemas de cogeração e em ciclos combinados do tipo Rankine (TESTON, 2010).

Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H₂S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico (COELHO, 2006).

3.2.1 MOTORES A BIOGÁS

Para gerar energia elétrica a partir do biogás de esterco animal usa-se motores a combustão interna de pequeno porte entre (50 a 100 kW), que são ideais para gerar energia elétrica no meio rural. Para usar o biogás como combustível nesses motores de combustão interna, faz-se necessário pequenas alterações para se obter bons rendimentos. Os equipamentos usados são em sua maioria de origem nacional, onde em grande parte motores de veículos são adaptados para usar o biogás como combustível.

O processo de combustão ocorre dentro da câmara de combustão, onde a vela de ignição gera uma centelha que provoca a queima do combustível (biogás). O motor deve ser projetado em termos de pressão e temperatura corretas para o uso do biogás como combustível.

Figura 12 - Modelo de geração à biogás



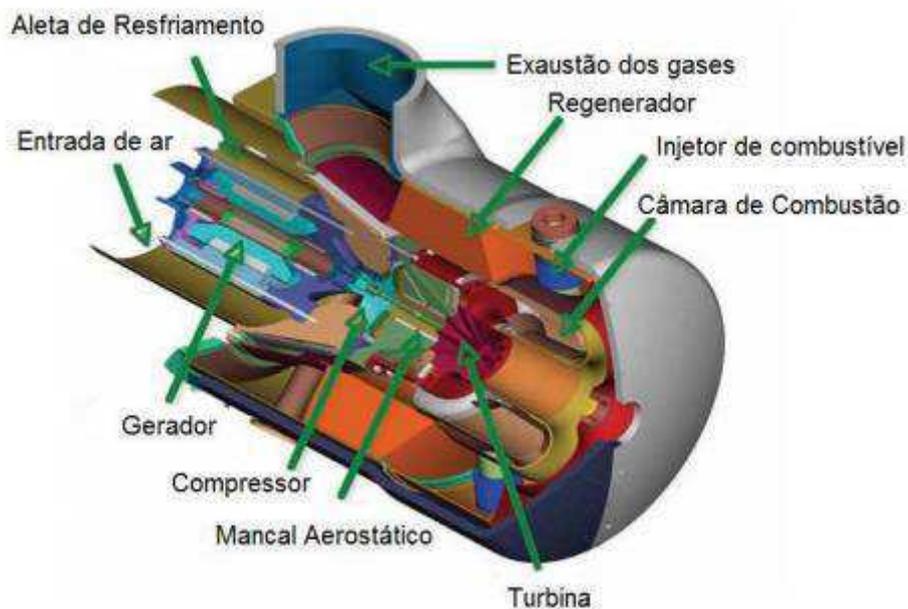
Fonte: Grupo Fockink ,2019

3.2.2 MICROTURBINA A GÁS

As microturbinas são turbinas de pequeno porte que operam fornecendo potências geralmente na faixa de 10 a 500 kW. Trabalham em elevada velocidade de rotação, chegando à velocidade de 120.000 rpm. Esse tipo de equipamento pode ser utilizado com vários tipos de gases combustíveis (Biogás, Gás natural, GLP, Dese/Gás).

São compostas basicamente por um compressor, responsável por elevar a pressão do ar e pelo aumento do nível de ar que é injetado na câmara de combustão; da Câmara de combustão, onde ocorre a mistura do ar com o combustível; da Turbina, local que ocorre a expansão dos gases produzidos devido a combustão e a realização do trabalho mecânico de fato; e de um Regenerador ou recuperador de calor, que é responsável por aquecer o ar do compressor antes do mesmo ser injetado na câmara de combustão. O regenerador é um dos principais componentes que podem promover o a diferenciação da Microturbina da Turbina convencional. É evidenciado na Figura abaixo os principais componentes da Microturbina.

Figura 13 - Principais componentes de uma microturbina

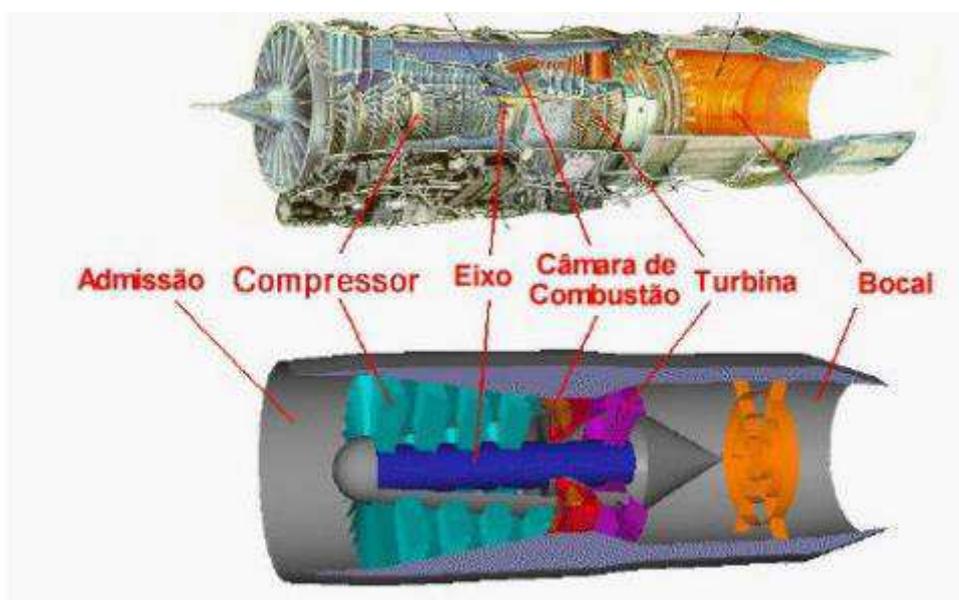


Fonte: Capstone, 2014

3.2.3 TURBINAS A GÁS

Turbinas a Gás são máquinas de combustão interna, que usam ar e gás combustível como fluídos de trabalho, para realizar o acionamento de outra máquina rotativa que irá realizar de fato o trabalho útil. Inicialmente as turbinas a gás foram usadas no meio aeronáutico principalmente entre as duas grandes guerras mundiais e também durante toda a segunda grande guerra. Só na década de 70 é que se começou a usar as turbinas a gás também na geração de energia elétrica, tanto em centrais termelétricas quanto em plataformas petrolíferas.

Figura 14 - Principais componentes da turbina a gás



Fonte: Martinelli Junior, 2002

Como mostra a Figura acima, a turbina a gás é composta principalmente por um compressor de ar, câmara de combustão e uma turbina. O ar atmosférico é injetado e comprimido no compressor e encaminhado a uma pressão alta até a câmara de combustão, na câmara de combustão o ar a alta pressão é misturado ao combustível e então ocorre a ignição. Em seguida o gás é enviado para a turbina com alta pressão e temperatura, nesse instante ocorre a expansão dos gases até que se obtenha a exaustão. Por fim, o resultado desse processo é a obtenção de potência no eixo da turbina, onde parte dessa potência será usada no compressor, nos equipamentos auxiliares e o restante (potência líquida) pode ser usada para acionar um gerador e gerar energia elétrica.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 LOCAL DO ESTUDO

No presente trabalho, iremos desenvolver um estudo para promover a instalação de um biodigestor modelo canadense com o objetivo de gerar energia elétrica para uma pequena propriedade rural localizada na Rua Zezinho do Correio, na Cidade de Patos/PB. A propriedade de pequeno porte evidenciada na Figura 15 tem por finalidade a criação de bovinos de leite.

Figura 15 - Vista aérea da propriedade



Fonte: Google Maps, 2011

O presente estudo, visa o aproveitamento dos dejetos produzidos pelos bovinos para gerar energia elétrica. O aproveitamento dos dejetos, além de gerar uma economia

na conta de luz, promove um melhor saneamento dos dejetos bovinos reduzindo os impactos ambientais.

O modelo de biodigestor que deve ser empregado é o Canadense, por ser de fácil instalação e possuir um custo acessível, o biodigestor deve ser posicionado no local indicado pelo número 1 na figura 15.

Figura 16 - Propriedade em Estudo



Fonte: Google Maps, 2011

4.2 DIMENSIONAMENTO

A propriedade estudada possui atualmente 25 vacas produtoras de leite, 3 bezerros e 1 boi. O substrato que deve ser utilizado no biodigestor deve-se exclusivamente aos animais acima citados. A Tabela 2 apresentada abaixo, contém os cálculos baseados na quantidade de animais da propriedade. Os cálculos apresentados já levam em consideração a adição de água para preparação da matéria orgânica destinada a decomposição no biodigestor.

Tabela 2 - Cálculo de Carga

Animal	Esterco por animal (kg/dia)	Quantidade de animais	Total de esterco (kg/dia)	Relação esterco: água	Volume de água (L)	Volume de carga (dm ³ /dia)	Volume de carga (m ³ /dia)
	A	B	C=A*B	D	E=C*D	F=C + E	G=F/1000
Vaca leiteira	25	25	625	1:1	625	1250	1,25
Bezerro	2	3	6	1:1	6	12	0,012
Boi	15	1	15	1:1	15	30	0,03
Total	-	29	646	-	646	1292	1,292

Fonte: Manual de Treinamento em Biodigestão, 2008

Podemos observar uma carga diária de 1,292 m³ de substrato que deve ser adicionado no biodigestor. Por haver uma variação de carga a ser adicionada no biodigestor, deve-se considerar uma pequena variação de 10% no volume de carga.

Assim, de acordo com a equação abaixo, temos o volume de carga do biodigestor.

$$V_B = V_C \times TRH$$

$$V_B = 1,4212 \text{ m}^3/\text{dia} \times 35 \text{ dias}$$

$$V_B = 49,742 \text{ m}^3$$

- VB = Volume do biodigestor (m³);
- VC = Volume da carga diária (dejetos + água) (m³/dia);
- TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

O valor de VB calculado servirá como base para o dimensionamento do biodigestor.

As fórmulas mostradas na Tabela 3 serão utilizadas para promover o dimensionamento possível para a construção do biodigestor que deve ser implementado na propriedade.

Tabela 3 - Fórmulas para determinação do biodigestor

Fórmula	Descrição
$P = C = 2r\pi$	P = perímetro total transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa
$A\% = 0,621p^2 - 0,042p + 0,352$	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = ((-1/3)A\% + (1/3))P$	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618b$	a = largura maior da fossa
$h = 0,951b$	h = profundidade da fossa
$Af = 0,4755(a+b)b$	Af = área transversal da fossa
$At = Af / (1-p)$	At = área transversal da fossa mais área transversal da campana
$Ag = At - Af$	Ag = área transversal da campana
$Vt = AtL$	Vt = volume total do biodigestor L = comprimento do biodigestor
$Vf = AfL$	Vf = volume total da fossa
$Vg = AgL$	Vg = volume total do gás

Fonte: Ribeiro, 2011

De acordo com (RIBEIRO, 2011), as equações demonstradas na Tabela 3 foram verificadas com Excel 2007® para simular todas as possíveis proporções gás/fase líquida, no qual ficou evidente que não é prático, por condições físicas, uma instalação de biodigestores com proporção “p” maiores que 40%, 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.

Para iniciar os cálculos, iremos adotar os valores do raio da bolsa ($r = 1,80$ m), proporção da fase gasosa desejada ($p = 0,40$) e o comprimento do biodigestor ($L = 6$ m).

O valor do raio (r) foi predeterminado com esse valor para que não venha a ultrapassar a altura da fossa, a proporção (p) foi determinada baseada com base nos cálculos realizados por (RIBEIRO, 2011) e a largura (L) foi escolhido interativamente visando otimizar o dimensionamento do biodigestor. Com base nessas informações, foram realizados os cálculos utilizando as fórmulas que estão presentes na Tabela 3, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 4.

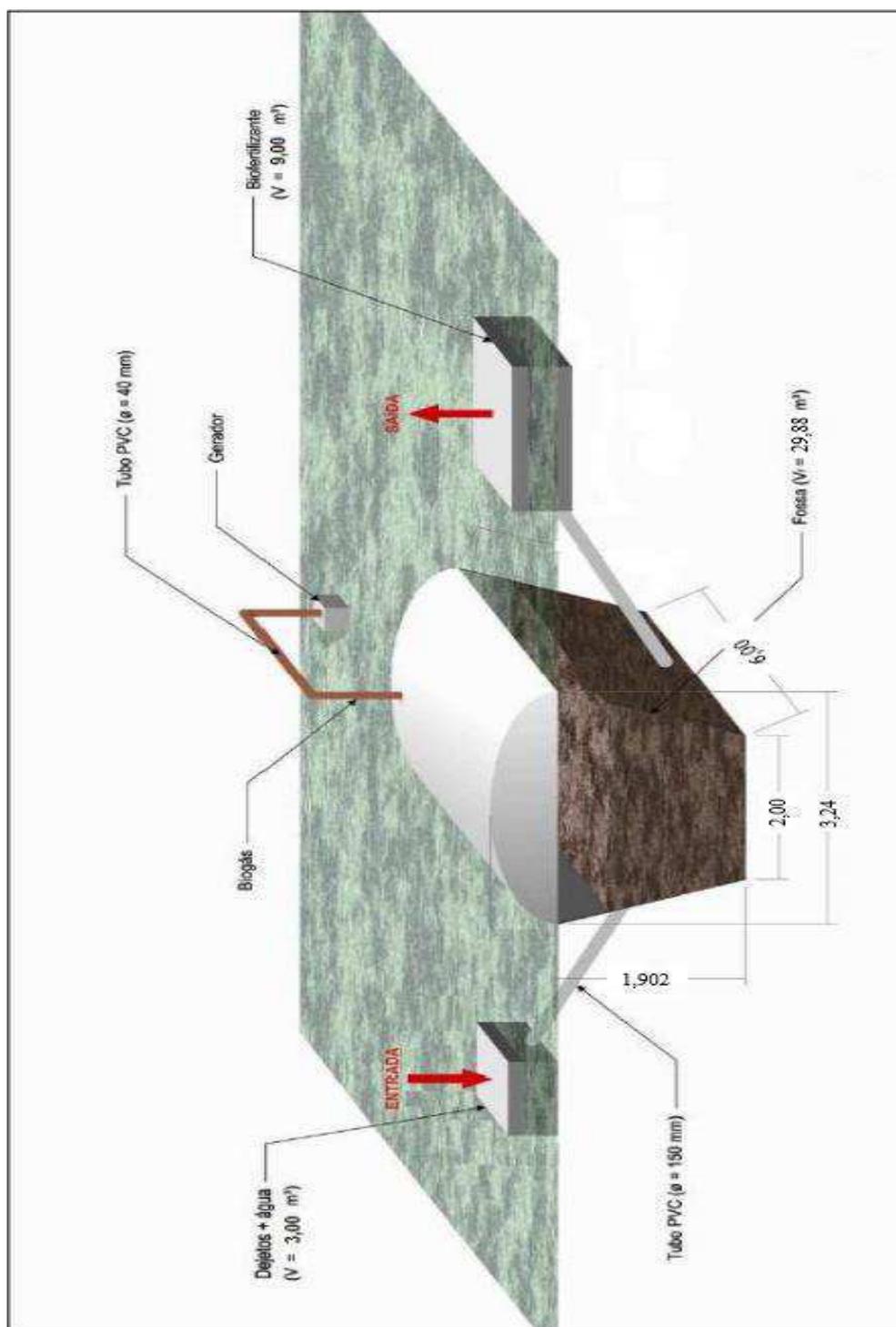
Tabela 4 - Valores calculados para o biodigestor

Parâmetros	Descrição	Valores
P	P = perímetro total transversal (campana mais fossa)	11,31 m
A%	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	46,8%
b	b = lateral, base ou largura menor da fossa	2,00 m
a	a = largura maior da fossa	3,24 m
h	h = profundidade da fossa	1,902 m
Af	Af = área transversal da fossa	4,98 m ²
At	At = área transversal da fossa mais área transversal da campana	8,30 m ²
Ag	Ag = área transversal da campana	3,32 m ²
Vt	Vt = volume total do biodigestor	49,80 m ³
Vf	Vf = volume total da fossa	29,88 m ³
Vg	Vg = volume total do gás	19,92 m ³

Fonte: Autor, 2019

Na Figura 17 fica evidenciado o esquema do biodigestor que será utilizado, juntamente com os valores calculados na Tabela 4, com cada uma das dimensões.

Figura 17 - Dimensionamento do biodigestor



Fonte: Junqueira, 2014

4.3 BIOGÁS PRODUZIDO

A quantidade de biogás produzido depende da quantidade de substrato que venha a ser depositado no biodigestor. Seguindo esse aspecto podemos determinar a quantidade de biogás que pode ser obtido diariamente ou ao longo de um mês.

De acordo com (OLIVER et al., 2008), bovinos de leite chegam a produzir entre 0,040 e 0,049 m³ de biogás/kg de esterco, para fins de verificação de potencial de produção será utilizado no presente estudo o valor de 0,044 m³ de biogás/kg de esterco que é um valor presente no intervalo determinado acima.

De posse dessas informações, é apresentado na Tabela 5 os valores correspondentes aos cálculos de produção do biogás.

Tabela 5 - Cálculo do potencial de biogás produzido

Linha	Item	Descrição	Resultado	Unidade
1	Total de esterco/dia	Valor obtido na Tabela 2	646	kg/dia
2	Total de biogás/dia	Resultado da linha 1 multiplicado por 0,044.	28,42	m ³ /dia
3	Total de biogás/mês	Resultado da linha 2 multiplicado por 30 dias.	852,6	m ³ /mês

Fonte: Autor, 2019

Todo o biogás que venha ser produzido pelo biodigestor em questão, servirá como combustível para gerar energia elétrica por meio de um sistema de geração utilizando um motogerador.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR

Para se ter custo/benefício na instalação do sistema de geração a biogás deve-se dimensionar corretamente o gerador, de forma que ele atenda totalmente a demanda exigida pelas instalações da propriedade fonte do estudo.

Para o dimensionamento correto, deve-se conhecer toda a carga que será suprida pelo conjunto de geração, dessa forma, foi elencado os equipamentos presentes na propriedade, que são:

- 8 Lâmpadas fluorescentes – 15 W
- 3 Lâmpadas fluorescentes – 30 W
- 4 Lâmpadas fluorescentes – 20 W
- 1 Aparelho de ar-condicionado – 950 W
- 1 Refrigerador duplex – 350 W
- 1 Ferro de passar – 750 W
- 1 Freezer – 150 W
- 1 Forno micro-ondas – 1300 W
- Extra – 1000 W

De posse dos dados acima, é possível calcular a carga total que deve ser atendida e assim dimensionar corretamente o gerador a ser adquirido. A soma das potências nominais dos equipamentos deve ser menor que a potência nominal especificada pelo fabricante do conjunto gerador, sendo assim:

$$P_{ot} = (8 \times 15)W + (3 \times 30)W + (4 \times 20)W + 950 W + 350 W + 750 W + 1,3 kW + 1,0 kW = 4,640 kW$$

Deve-se considerar perdas na transmissão de energia e por isso será adotada uma margem de 25% na potência nominal (P_{ot}) calculada acima, sendo assim, a potência solicitada (P_{ots}) se dá por:

$$P_{ots} = P_{ot} + (25\% P_{ot}) = 4,640 kW + (0,25 \times 4,640 kW) = 5,8 kW$$

Foi escolhido então um Grupo Gerador com potencial nominal de 15 kW, que consiste em um motor a combustão interna que pode utilizar GNV, GLP ou biogás, mostrado na Figura 18 e que atende de forma suficiente a potência exigida no estudo em questão.

Figura 18 - Grupo Gerador Trigás



Fonte: Trigás, 2015

4.5 POTENCIAL DE GERAÇÃO

O grupo gerador fica ligado diretamente a rede da companhia de energia elétrica produzindo energia enquanto houver disponibilidade de biogás, diminuindo ou até mesmo zerando a conta de energia.

De acordo com informações do fabricante, foi produzida a Tabela 6, que diz respeito a relação de consumo e geração de energia.

Tabela 6 - Relação entre Consumo e Geração do Grupo Gerador

	A (m ³ /kWh)	B (kWh/m ³)
Mínima	0,3	3,3
Máxima	0,5	2,0
Média	0,4	2,5

Fonte: Trigás, 2015

Baseado na produção diária de biogás e no consumo do mesmo para geração de energia elétrica, podemos determinar que pode ser produzido cerca de 71 kWh/dia e pode ser produzido cerca de 2100 kWh/mês.

4.6 CUSTOS DA INSTALAÇÃO

Para fazer o levantamento dos custos necessários para se obter todos os equipamentos necessários, foram consultados fornecedores e fabricantes e a partir dos dados foi realizado uma média dos preços. Os custos vão desde os equipamentos para a construção do biodigestor, passando pelo grupo de geração, até a mão-de-obra utilizada.

A Tabela 7 mostra o levantamento do material e dos custos da instalação.

Tabela 7 - Custos da Instalação

Equipamentos	Valor (und.)	Quantidade	Total
Motogerador	R\$ 20.000,00	1 und.	R\$ 20.000,00
Tubulação de PVC 150 mm	R\$ 23,00	6 m	R\$ 138,00
Tubulação de PVC 40 mm	R\$ 10,00	15 m	R\$ 150,00
Caixa de alvenaria	R\$ 800,00	2 und.	R\$ 1600,00
Cabo de cobre Flexível (2,5 mm)	R\$ 95,00	1 rolo	R\$ 95,00
Registro 40 mm	R\$ 37,00	1 und.	R\$ 37,00
Manta de PVC flexível de 1,0 mm	R\$ 37,00	125 m ²	R\$ 4625,00
Retroescavadeira	R\$ 1050,00	1 diária	R\$ 1050,00
Mão de obra	R\$ 350,00	2 diárias	R\$ 700,00
Total	-	-	R\$ 28395,00
Total + 5%	-	-	R\$ 29814,75

Fonte: Autor, 2019

Foi adotado uma margem de 5% para mais em relação ao custo total devido aos gastos devido a gastos extras quem por ventura possam aparecer.

4.7 MANUTENÇÃO

No que diz respeito a manutenção do sistema, temos duas preocupações principais, que são o biodigestor e o grupo gerador. O cuidado que se deve ter com o

biodigestor diz respeito a integridade da manta de PVC, tendo cuidado para não rasgar ou chegar a um nível de ressecamento crítico, uma vez que está exposto ao sol e variações climáticas. Estudos indicam que se deve trocar a manta a cada 5 anos.

Por se tratar de um motor, o grupo gerador apresenta manutenção mais simplificada, promovendo a troca de óleo e da vela de ignição a cada 3 meses de operação.

5 CONCLUSÃO

Ficou evidenciado ao longo de todo o presente trabalho que a questão energética tem sido cada vez mais objeto de estudo, seja buscando soluções alternativas para a geração de energia elétrica para suprir as necessidades da sociedade ou seja para melhorar o aspecto ambiental no que diz respeito ao manejo adequado de dejetos de origem animal.

Como fonte de energia complementar e renovável, vimos que podem ser utilizados biodigestores em propriedade rurais, podendo ser utilizados diferentes fontes de substratos, a depender da biomassa utilizada, da região e da relação de custo benefício.

O fato do Brasil ser uma grande potência mundial na agropecuária, faz com que o país tenha também um grande potencial para a exploração do biogás, mas constata-se que o Brasil ainda guarda um atraso em relação a outros países que utilizam o biogás em grande escala devido à falta de incentivos por parte do governo e devido as diversas diferenças culturais em relação a outros países.

Países como China e Índia tem se mostrado grandes potências na exploração do biogás como forma de obtenção de energia, isso se torna possível devido ao grande e constante investimento feito por essas nações, chegando até mesmo a cobrir parte dos custos para a implantações de sistemas de biodigestão.

É de suma importância que a discussão em torno do tema seja mais abrangente e continua, de modo que possamos aumentar o percentual de exploração dessa forma de geração de energia alternativa através de programas de incentivo e facilitação de financiamento para implantação de sistemas de biodigestão, pois além de se obter energia elétrica, também se obtém um subproduto que é o biofertilizante, apresentando diversas vantagens.

Conclui-se que, com esforço no desenvolvimento de novas tecnologias e contando com o maior rebanho bovino do mundo, o Brasil poderia ter um lugar de destaque como grande produtor de biogás e fertilizante orgânico.

REFERÊNCIAS

ALVES, S. de M; MELO, C. F; WISNIEWSKI, A. **Biogás; uma alternativa de energia no meio rural.** EMBRAPA-CPATU, Belém, 1980.

ALVES, E. E. N; INOUE, K. R. A; BORGES, A. C. **Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais.** II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, 23 a 25 de setembro de 2010.

BEN - Balanço Energético Nacional 2018 - Ano Base 2017. Elaborado pelo MME - Ministério de Minas e Energia e pela EPE - Empresa de pesquisa Energética. Brasil, 2018.

CARVALHO, L. de A; NOVAES, L. P; MATINS. C. E; ZOCCAL, R; MOREIRA, P; RIBEIRO A. C. C. L.; LIMA, V. M. B. Sistema de Produção de Leite (Cerrado) - Embrapa - Gado do leite, Goiás, 2002. Disponível em : < <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/introducao.html>> . Acessado em 24 de maio de 2019.

COELHO, S. T. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um Grupo Gerador de 18 kW.** Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília, 31 de maio a 02 de junho de 2006.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Disponível em: < <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/09.html>>. Acessado em 02 de Abril de 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica, 2018. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ELETRICA>>. Acessado em 2 de Abril de 2019.

GOOGLE EARTH. Acessado em 25 de Junho de 2019.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de Energia Através de Biogás Proveniente de Esterco Bovino: Estudo de Caso na Fazenda Aterrado.** Projeto (Curso Técnico). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

KARLSSON, T; KONRAD, O; LUMI, M; SCHMEIER, N. P; MARDER, M; CASARIL, C. E; KOCH, F. F; PEDROSO, A. G. **Manual Básico do Biogás**, 1ª Edição, Lajeado , 2014.

MARTINELLI JUNIOR, L. C. Máquinas Térmicas II, 2002. Panambi. 135p.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais.** Curso Sobre Tratamento de Resíduos Agroindustriais, Fundação Estadual de Meio Ambiente, Maio de 2005.

NETO, J. R. M. A.; SANTOS, G. M.; ARROYO, R. J. O.; SOUSA, V. O.; FERREIRA, A. M. Sustentabilidade da pequena propriedade leiteira. 2013. Acervo online FAA/CESVA. Disponível em: <http://faa.edu.br/revistas/docs/RID/2013/RID_2013_27.pdf>. Acessado em: 26 de Maio de 2019.

NOYCE, World Biogas Association, 1st International Biogas Conference, 2019. Disponível em:< <http://www.worldbiogasassociation.org/what-does-the-future-hold-for-biogas-in-china/>>. Acessado em 20 de Junho de 2019.

OLIVER, A. de P.M; SOUZA NETO, A de A.; QUADROS, D. G. de, VALLADADRES, R. E. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Salvador – BA: Instituto Winrock - Brasil, 2008. 23p.

PACIULLO, D.S.C.; HEINEMANN, A.B.; MACEDO, R.O.,2005.Sistema de produção de leite baseados no uso de pastagens. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás, v.1, n.1, p.88-106, ago.

Resenha Energética Brasileira 2018. Publicado em: 2018. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energ%C3%A9tica%202018%20-MME.pdf>> Acessado em: 04 de Abril de 2019.

RIBEIRO, D da S. **Determinação das Dimensões de um Biodigestor em Função da Proporção Gás/Fase Líquida**. Revista Holos, Rio Grande do Norte, 2011. Disponível em:< <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/269/418>>. Acessado em 25 de Junho de 2019.

SILVA, A. M; SILVA, J. C. de S; SILVA, L. K. M; OLIVEIRA, A. R. N; MOURA, D. M. F. **Conjuntura da pecuária leiteira no Brasil**. Revista eletrônica Nutri-Time, Vol. 14, Nº 01, jan/fev de 2017. Disponível em:< <https://www.nutritime.com.br/>>. Acesso em 26 de Maio de 2019.

SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, setembro de 2016.

TESTON, D. C. **A Produção de Energia a Partir de Esterco Bovino como Solução Ambiental para Impactos Gerados por Sistemas Intensivos de Produção Animal**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios). Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

TORRES, A; PEDROSA, J. A. **Fundamentos de Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais**. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248&class=02>>. Acessado em 29 de Abril de 2019.

TRIGÁS. Indústria e Comércio LTDA. Disponível em: <http://www.trigas.com.br/?page_id=25>. Acessado em 29 de Junho de 2019.

WANG, G. et al. Depart of Food Science and Technology, University of Georgia, USA. **Applied Environmental Microbiology**, v.62, n.7, p.2567-2570, 1996.

Ministry of New and Renewable Energy, Biogas Technology Development Division, Government of India. Disponível em:<<https://mnre.gov.in/biogas>>. Acessado em 25 de Junho de 2019.

