

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANNA PAULA BAÚ RIBEIRO

**Metodologia Técnica e Análise Econômica Para Geração de Energia
Elétrica com Biodigestores**

**JOINVILLE - SC
2014**

METODOLOGIA TÉCNICA E ANÁLISE ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BIODIGESTORES

ANNA PAULA BAÚ RIBEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Sérgio Vidal Garcia Oliveira.

ANNA PAULA BAÚ RIBEIRO

METODOLOGIA TÉCNICA E ANÁLISE ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BIODIGESTORES

Trabalho de graduação apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado de Santa Catarina aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica. Aprovado em 3 de dezembro de 2014.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Prof. Doutor Sérgio Vidal Garcia Oliveira
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Prof. Doutor Joselito Anastácio Heerd
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Prof. Doutor Fernando Buzzulini Prioste
Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville, 3 de dezembro de 2014

Dedico esta conquista aos meus pais, irmã e avós que jamais hesitaram em me apoiar e sempre me incentivaram a conquistar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelos caminhos e oportunidades por Ele proporcionados, pela força e pela fé para a conquista de meus objetivos.

Aos meus pais, minha base e inspiração, pelo esforço para que eu realizasse esse sonho, pela compreensão, dedicação e carinho. A trajetória não seria possível sem o amor dedicado por eles a mim.

A minha irmã, Maria Carolina, pelo carinho e motivação. A alegria e a esperança que ela conseguiu me transmitir em toda essa jornada.

Aos meus avós, minha inspiração e fonte de orgulho, agradeço a paciência e os conselhos sábios que sempre estiveram a minha disposição.

Ao meu primo, Leonardo, pelo fundamental companheirismo e incentivo

Aos tios e primos agradeço o apoio e companheirismo, e também por sempre acreditarem em mim.

Ao meu ponto de apoio Bruna, pelos 5 anos de convivência, toda paciência, carinho, amor e tempo dedicados a mim. Essa conquista não teria sentido se não fosse compartilhada com ela e com a nossa amizade.

A minha amiga Laura, companheira de estudos e de jornada acadêmica, meu muito obrigada pela dedicação, paciência e amizade.

As minhas amigas Rafaela, Gabriele, Ana Cristina, Jéssica e Fernanda, pela eterna amizade e apoio.

Ao meu amigo Rafael, pelo carinho e essencial apoio sempre acreditando em meu potencial.

Ao Gustavo, meu companheiro, pela compreensão, ajuda, amor e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao professor Sergio, pela sua orientação, paciência e dedicação ao meu trabalho. E também por acreditar na minha idéia.

Ao professor Marcos, por todo apoio durante minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos e todos que fizeram parte diretamente ou indiretamente desta conquista.

Agradeço todo amor, carinho e alegria dedicados a mim nesses 6 anos que tornaram possível a conquista do meu sonho.

“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

Ao observar o desenvolvimento do Brasil, está em evidência o crescimento sustentável. O cenário energético do país, ao ser analisado, se mostra com grande necessidade de expansão, trazendo em evidência as fontes de energia renováveis. Um sistema de geração de energia elétrica é considerado sustentável quando utiliza o resíduo de um processo produtivo como matéria prima, sendo utilizado principalmente o bagaço da cana de açúcar e resíduos de animais. Aliando a necessidade da geração de energia limpa com a matriz produtiva do estado de Santa Catarina, tornou-se atrativo o estudo da viabilidade de geração de energia elétrica a partir de resíduos de suínos. Uma planta para geração com este tipo de matéria prima, segundo o estudo, mostra-se de fácil acesso e como um bom empreendimento e de alto retorno, sendo que para sua construção é necessário projeto, local adequado e investimento. Através dos resultados referentes ao trabalho, no estado de Santa Catarina é viável a implantação de biodigestores para a geração de energia elétrica a partir do biogás, pois há grande presença de criadores de suínos com áreas disponíveis para a implantação do sistema, e também com matéria prima suficiente para a subsistência da propriedade e imersão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, além de condições fisicamente favoráveis, o empreendimento também se mostrou atrativo na sua forma econômica por possuir diversos incentivos governamentais para a aplicação do mesmo. Em média um empreendimento de médio a grande porte, visando somente a subsistência leva cerca de 5 anos para se obter o retorno do investimento inicial.

Palavras chave: Energia renovável, sustentabilidade, biodigestor, biogás.

ABSTRACT

Looking at the development and growth of Brazil, it shows in evidence the sustainable growth. Analyzing Brazil's energy scenario, it is clear the need of an expansion in this area. One great opportunity is certainly the renewable energy sources. An electric power generation system is sustainable when you use the residue of a process such as raw materials, being used from the rest of sugar cane and animal waste. Bringing together the need for clean energy generation and the production matrix of the state of Santa Catarina, it has become feasible to invest and study the feasibility of electricity generation from pig waste. The study shows that a plant for electricity generation with this type of raw material can be easily built. It is a good and profitable business if planned in an appropriate location with the adequate investments. Through the results provided from this work, in the state of Santa Catarina is feasible the use of biodigesters to generate electricity from biogas. The reason why one can conclude is because there are a large number of pig farmers with areas available as well as enough raw material to implant this system. This business project is also interesting due to several government incentives to implant the system. Comparing the average of the businesses in this scale aiming at subsistence, it takes five years to break even and start making profits.

Key words: renewable energy, sustainability, biodigester, biogas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano.....	16
Figura 2 - Fases da produção do biogás	19
Figura 3 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Indiano	21
Figura 4 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Indiano	21
Figura 5 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Chinês	22
Figura 6 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Chinês.....	23
Figura 7 - Representação de um biodigestor do modelo Marinha do Brasil	24
Figura 8 - Representação em corte de um biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinhado Brasil.....	24
Figura 9 - Fluxograma de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás	28
Figura 10 - Representação do VPL	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção diária de dejetos de suínos de acordo com o sistema de produção (litros/dia).	29
Tabela 2 - Estimativa dos teores da MS, N _{tot} , P ₂ O ₅ e K ₂ O, nos dejetos de suínos.....	31
Tabela 3 - Estimativa da média de consumo de energia elétrica na propriedade	44
Tabela 4 - Dados para cálculos relacionados ao biofertilizante.....	46
Tabela 5 - Preço dos biofertilizantes.....	46
Tabela 6 - Estudo de viabilidade da instalação da planta completa.....	50
Tabela 7 - Estudo de viabilidade apenas da parte de geração de energia elétrica	51
Tabela A 1 - Dados para cálculos de produção de metano	56
Tabela A 2 - Dados para cálculos de produção de dejetos.....	56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	OBJETIVO GERAL.....	11
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	12
2.	BIOGÁS.....	13
2.1	HISTÓRICO.....	13
2.2	MATÉRIAS PRIMAS.....	14
2.3	COMPOSIÇÃO.....	14
2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DO GÁS	14
2.5	FILTRAGEM.....	16
2.6	PODER CALORÍFICO.....	16
2.7	RISCOS.....	17
2.8	A DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA E O BIOGÁS.....	17
3.	BIODIGESTOR	18
3.1	PARTES DE UM BIODIGESTOR.....	18
3.2	FUNCIONAMENTO	18
3.3	MODELOS.....	20
3.3.1	Modelo Indiano	20
3.3.2	Modelo Chinês	22
3.3.3	Modelo da Marinha Brasileira.....	23
3.4	CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA.....	25
4.	FINANCIAMENTO E INCENTIVOS A FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS	26
5.	METODOLOGIA PARA ANÁLISE TÉCNICA	27
5.1	PLANEJAMENTO DE UMA PLANTA COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO	27
5.1.1	Estimação da quantidade de dejetos.....	29
5.1.2	Análise e correção da qualidade dos dejetos	30
5.1.3	Escolha do tipo de biodigestor a ser implantado	31
5.1.4	Dimensionamento do biodigestor.....	31

5.1.5	Estimação da quantidade de biogás gerada.....	33
5.1.6	Análise da qualidade do biogás	34
5.1.7	Tipo de conversão de energia a ser implantada	34
5.1.8	Estimação da quantidade de energia elétrica a ser gerada	34
5.1.9	Análise dos produtos gerados pela planta.....	35
5.1.10	Destinação da Energia Elétrica	35
5.1.11	Destinação do biofertilizante	36
5.1.12	Possibilidade de Renda com Créditos de Reduções de Emissões.....	36
5.2	AVALIAÇÃO DOS RISCOS DO PROJETO.....	37
5.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	37
5.3.1	Introdução.....	37
5.3.2	Fluxo de Caixa.....	38
5.3.3	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	38
5.3.4	Valor Presente Líquido (VPL).....	38
5.3.5	Taxa Interna de Retorno (TIR)	38
5.3.6	Payback.....	39
5.3.7	Definições de Indicadores de Viabilidade Econômica	39
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	41
6.	ESTUDO DE CASO	42
6.1	RANCHO PELEGO BRANCO– CHAPECÓ -SC.....	42
6.1.1	Projeto.....	42
6.1.2	Estudos.....	42
6.1.3	Conclusão e análise.....	51
6.2	IMERSÃO DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL.....	52
6.2.1	Planta	52
6.2.2	Problemas e Operação	53
6.2.3	Conclusão	53
7.	CONCLUSÃO.....	55
8.	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um conceito cada vez mais utilizado em nosso cotidiano. Visando a melhoria nas condições de saúde e habitação, são implementadas ações a favor da utilização de resíduos de processos produtivos como matéria prima para novas plantas.

As energias renováveis constituem uma grande parcela dos estudos voltados a sustentabilidade, pois têm como sua matéria prima usualmente o bagaço da cana de açúcar e resíduos de animais. A substituição de uma fonte de energia convencional por uma renovável traz consigo muitas vantagens, como: diminuição do uso de recursos naturais, utilização de resíduos antes descartados ao meio ambiente e redução das emissões de CO² na atmosfera.

Ao focarmos no estado de Santa Catarina, torna-se viável o estudo para geração de energia elétrica a partir de resíduos de suínos, sendo o mesmo o maior produtor no Brasil. Desta forma, este trabalho apresenta um estudo sobre a matéria prima a ser utilizada na geração a partir dos biodigestores, o biogás. Também será apresentado um histórico voltado aos tipos de biodigestores e seus distintos tipos e funcionamento. Além das questões voltadas para a geração e tratamento de energia, neste trabalho, há também a abordagem da parte legislativa e dos incentivos para a construção de usinas que utilizam as fontes renováveis de energia.

Quando conhecido o processo, pode-se projetar e otimizar o mesmo. Como forma de conclusão do estudo, será apresentado um estudo de viabilidade técnica e financeira da implantação de biodigestores para a geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos de suínos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho busca reconhecer as oportunidades oferecidas pelo Estado de Santa Catarina, em termos de geração de energia limpa, buscando mostrar para os criadores de suínos e também investidores as oportunidades geradas pelo desenvolvimento sustentável.

1.2 OBJETIVO GERAL

O estudo tem como objetivo geral gerar conhecimento relacionado a metodologia e projeto técnico para a implantação de uma planta de geração de energia elétrica a partir de biodigestores e também a viabilidade econômica, incluindo um cálculo de retorno previsto do investimento.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- (i) Estudo técnico das tecnologias e do funcionamento de biodigestores;
- (ii) Viabilidade técnica do emprego de biodigestores para a geração de energia elétrica;
- (iii) Verificação de legislação e tipos de financiamentos aplicáveis ou disponíveis para o fim que o estudo se destina;
- (iv) Projeto técnico do uso de biodigestores para a geração e comercialização de energia elétrica;
- (v) Viabilidade financeira e retorno de investimentos para o projeto executado.

2. BIOGÁS

Este capítulo irá abordar desde o histórico até a composição da matriz energética para o sistema de geração de energia elétrica a ser estudado por esse trabalho

2.1 HISTÓRICO

A digestão anaeróbia é um conjunto de processos em que microorganismos degradam a matéria orgânica biodegradável na ausência do gás oxigênio. Na Natureza existem vários ambientes favoráveis ao desenvolvimento da digestão anaeróbica, como os pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas. As características apresentadas por esses locais facilitam a ocorrência da geração do biogás. Ao observar a combustão natural desse gás na superfície de regiões pantanosas, o ser humano tomou ciência da possibilidade de produzir gás combustível, partindo de resíduos orgânicos.

A data de descoberta do biogás, ou "gás dos pântanos" é do ano de 1667, mas somente um século mais tarde que Alessandro Volta reconhece a presença de metano no gás dos pântanos. No século XIX, Ulysse Grayon realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, onde foi capaz de obter 100 litros de gás por metro cúbico de matéria, seu professor Louis Pasteur, em 1884, considerou que essa fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação. [2]

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão com finalidade energética foram à Índia e a China, nas décadas de 50 e 60, quando desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores.

Com a crise do petróleo na década de 70 foi trazida para o Brasil a tecnologia da digestão anaeróbia. Na região nordeste foi implantado vários programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era grande, porém os benefícios obtidos a partir do biogás e do biofertilizante não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram muito satisfatórios. [5]

Atualmente, esse processo vem se difundindo por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos anaeróbios teve grande crescimento com a crise do petróleo, quando houve a necessidade de alternativas para a sua substituição. Entretanto, as soluções não se mostraram apropriadas às necessidades, aos recursos humanos, financeiros e à cultura.

Devido à falta de preparação e aceitação o impulso recebido no período de crise não chegou a constituir um sólido movimento de substituição dos recursos não renováveis por outras fontes renováveis.

2.2 MATÉRIAS PRIMAS

O biogás é retirado de um substrato devidamente equilibrado com diluição em água, o qual é um meio para instalação e desenvolvimento dos microorganismos necessários para o processo de fermentação.

Cada matéria prima ou fonte de resíduo possui um potencial de geração de biogás. Resíduos altamente fibrosos, como bagaço de cana e casca de arroz, considerados de baixa digestibilidade apresentam um menor potencial para a produção do biogás. Já matérias ricas em amidos, proteínas, celulose e carboidratos, como grãos, gramíneas, restos de abatedouros e fezes, apresentam alto potencial de produção de biogás.

Abaixo são apresentadas as principais matérias para o biogás: (i) Fezes de suínos; (ii) Fezes de bovinos, (iii) Fezes de aves, (iv) Resíduos orgânicos, (v) Resíduos de abatedouros, (vi) Esgoto, (vii) Resíduos de cervejarias e vinícolas, (viii) Soro do queijo. [5]

2.3 COMPOSIÇÃO

A composição típica do biogás possui cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio.

Devido ao fato de o gás metano ser seu principal componente, o biogás é incolor e inodoro. O biogás tem seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura.

Dos gases que compõem o biogás, o gás carbônico e o gás sulfídrico são considerados como o principal problema na viabilização de seu armazenamento e na produção de energia, acarretando problemas de corrosão no sistema de condução do biogás até sua transformação como fonte de energia elétrica ou térmica, necessitando de processos de tratamento.

A filtragem é realizada com o intuito de minimizar o gás sulfídrico, que aparece em uma concentração aproximada de 10g/m³ no biogás. Portanto, o mesmo passa por um filtro purificador para evitar o mau cheiro gerado, mas o principal objetivo é retirar seu efeito corrosivo, onde após o processo deve aparecer com uma concentração abaixo de 1,5g/m³. [7]

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DO GÁS

Como já citado, o biogás pode ser gerado em diversos ambientes e com distintas matérias primas, abaixo se resumem os principais parâmetros da digestão anaeróbia que influenciam à geração de biogás:

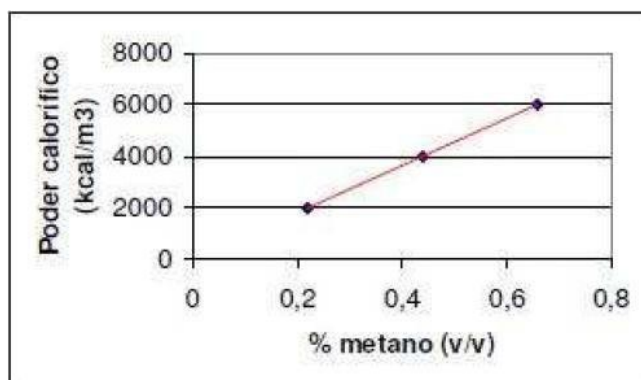
- Impermeabilidade ao ar: As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias. A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio irá produzir apenas dióxido de carbono (CO₂).
- Natureza do substrato: Os substratos nutritivos são os responsáveis por prover as fontes de alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular e os necessários às atividades enzimáticas, particularmente os oligo-elementos, como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês. Porém em fortes concentrações, esses elementos têm um efeito inibidor sobre o processo de fermentação.
- Composição dos resíduos: Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos.
- A principal fonte de nitrogênio está nas dejeções humanas e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono. A produção de biogás não é bem sucedida, se apenas uma fonte de material for utilizada.
- Teor de água: O teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total.
- Temperatura: A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10 °C essa atividade é muito reduzida e acima de 65 °C as enzimas são destruídas pelo calor. Portanto, a faixa ideal para a produção de biogás é de 32 °C a 37 °C (bactérias mesofílicas) e de 50 °C a 60 °C (bactérias termofílicas).
- PH: A concentração em íons OH⁻ no meio exterior tem uma grande influência sobre o crescimento dos microrganismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases sucessivas: a primeira se caracteriza por uma diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e a segunda por um aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade. A redução do pH é devida à ação das bactérias acidogênicas, as quais liberam rapidamente ácidos graxos voláteis. As bactérias metanogênicas, que têm taxas de crescimento mais fracas que as primeiras, se instalam progressivamente e induzem a elevação do pH através da catálise do ácido acético. No caso de tratamento anaeróbio em biodigestores de processos contínuos, o pH permanece neutro.

2.5 FILTRAGEM

O biogás produzido pelas reações químicas precisa ser tratado e purificado a fim de eliminar a característica corrosiva dada pela presença de gás sulfídrico e água, dessa forma o gás aumenta seu poder calorífico e rendimento térmico.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente uma vez que, presentes na combustão absorvem parte da energia gerada. Na medida em que se eleva a concentração de impurezas, o poder calorífico do biogás torna-se menor. A Figura 1 - *Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano* mostra a relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano presente nele.

Figura 1 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano



Fonte: ALVES, 2000

2.6 PODER CALORÍFICO

Podemos definir o poder calorífico de um gás pela quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa ou volume, essa característica também é conhecida como poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica.

Quando se determina a composição de um combustível, verifica-se que o mesmo é geralmente composto por carbono, hidrogênio e oxigênio. Quando há a combustão de um gás, há a formação de água como produto dessa reação devido à presença de hidrogênio, essa água pode estar no estado líquido, gasoso ou ainda em ambos. Caso a água formada na combustão se condense é obtido o poder calorífico do combustível superior (PCS), mas se a água estiver no estado gasoso é obtido o poder calorífico inferior (PCI), em consequência disso o biogás também terá ambos os poderes caloríficos. De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode

variar entre 4,95 a 7,92 kWh/m³ para o poder calorífico inferior e superior, respectivamente, após o devido tratamento o biogás pode atingir um poder calorífico próximo a 10.000 kcal/m³.

2.7 RISCOS

O gás metano queima com uma chama luminosa quando puro, mas para o biogás a chama não é tão luminosa. O biogás não é tóxico, mas atua sobre o organismo humano diluindo o oxigênio e como consequência, pode provocar a morte por asfixia.

O biogás é mais denso que o ar, possuindo uma relação de densidade de 0,55. Portanto, possui tendência de ficar mais próximo ao solo, facilitando sua inalação.

2.8 A DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA E O BIOGÁS

No novo cenário mundial há uma tendência no sentido de buscar auto-suficiência energética combinada a uma composição diversificada da oferta interna de energia. A diversificação da matriz energética é tida como estratégica, com o objetivo de evitar que haja uma concentrada dependência em relação a poucas fontes de energia. A Crise do petróleo na década de 1970, o racionamento de energia elétrica em 2001, e mais recentemente a crise que envolveu o Brasil e a Bolívia em 2008 são exemplos que ilustram esta preocupação com as fontes de energia, tendo sido talvez a crise do petróleo a maior sofrida pelo Brasil, já que havia e há grande dependência do petróleo na atual organização estatal brasileira.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), ano base 2009, o Ministério das Minas e Energia (MME) (2010) revelou que o Brasil possuía aproximadamente 47% de sua Oferta Interna de Energia como sendo renovável, devendo ser comparado com a média mundial, que é menor que 15% e com a média dos países desenvolvidos, que não ultrapassam 6%. Todavia a predominância desta energia é proveniente apenas das hidroelétricas, da lenha e do carvão vegetal, e do bagaço da cana. Desta forma, mesmo com grande capacidade de geração de energia a partir da decomposição de material orgânico, seja em aterros sanitários no meio urbano, seja a partir de dejetos agrícolas no meio rural, este potencial está sendo lamentavelmente subaproveitado.

A opção de utilização do biogás se insere nesse contexto, na necessidade de uma alternativa às fontes de energia convencionais, e a Termodinâmica, compreendidas como a ciência da energia e da entropia, pode, certamente, contribuir para a desejada diversificação da energia.

3. BIODIGESTOR

O biogás para poder ser utilizado como fonte energética deve ser gerada em condições satisfatórias para seu uso adequado. O biodigestor é a estrutura responsável por criar esse ambiente, uma câmara na qual ocorre a digestão anaeróbia, que tem como resultado a formação de biofertilizantes e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono, o biogás.

3.1 PARTES DE UM BIODIGESTOR

Para abordar o funcionamento do biodigestor, antes é necessário o conhecimento das partes do mesmo. O sistema que permite o mais eficiente funcionamento do biodigestor é constituído pelos seguintes componentes:

- Tanque de entrada ou lagoa de sedimentação: local onde são depositados os dejetos;
- Tubo de carga: conduto através do qual se faz a introdução do resíduo no digestor;
- Digestor: tanque fechado onde se processa a fermentação da matéria orgânica;
- Septo: parede que divide e direciona o fluxo do resíduo dentro do digestor;
- Gasômetro: câmara em que se acumula o biogás gerado pela digestão anaeróbia;
- Tudo de descarga: conduto pelo qual é expelido o resíduo líquido depois de fermentado;
- Leito de secagem: tanque onde é recolhido o resíduo líquido depois de fermentado;
- Leito de secagem: tanque onde é recolhido o resíduo líquido, que após a perda do excesso de água se transforma no biofertilizante;
- Saída do biogás: tubulação instalada na parte superior do gasômetro para conduzir o biogás até o ponto de consumo.

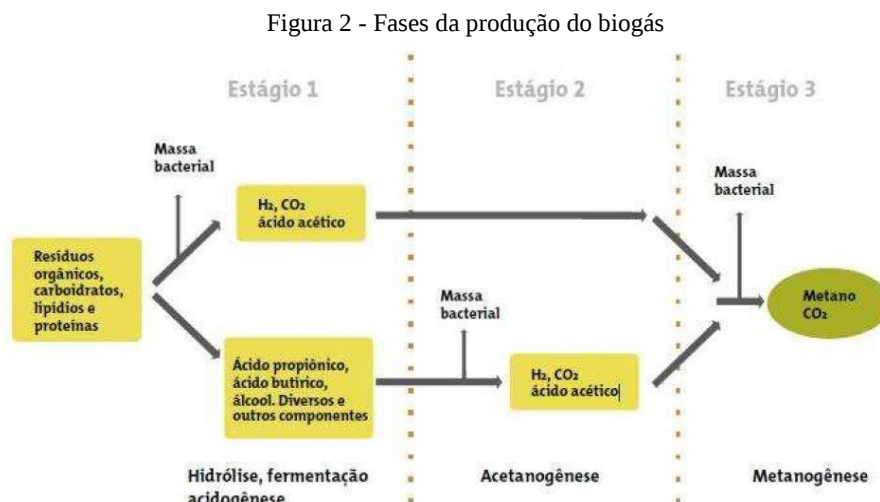
3.2 FUNCIONAMENTO

No tanque de entrada, ou lagoa de sedimentação, o esterco é exposto a uma pré-fermentação aeróbia, ou seja, a digestão do resíduo na presença do ar, no qual somente proliferam bactérias aeróbias. Neste processo a maior parte do oxigênio dissolvido na mistura é liberado para o meio ou consumido pelas bactérias aeróbias, viabilizando assim, o posterior desenvolvimento das bactérias anaeróbias. (Prati, 2010)

Pelo tubo de carga, o resíduo é introduzido no digestor em que será submetido a uma digestão anaeróbia para a produção do biogás. Como já citado a digestão anaeróbia é uma reação bioquímica realizada por bactérias na ausência de oxigênio e com bastante umidade. Essas bactérias são encontradas, naturalmente, no estômago e nos intestinos dos animais. O grupo de bactérias mais

importante no processo são as bactérias metanogênicas, e são elas que formam o gás metano. (MORAES, 1980)

Esse processo é realizado basicamente em três estágios, como exposto na Figura:



Fonte: (SOSA;CHAO; RIO, 2004)

No primeiro, a matéria orgânica é convertida em moléculas menores pela ação de bactérias hidrolíticas e fermentativas. As primeiras transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos graxos, pela ação de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase. As bactérias fermentativas transformam esses produtos em ácidos solúveis (ácido propiônico e butírico), alcoóis e outros compostos.

No segundo estágio, as bactérias acetogênicas transformam os produtos obtidos na primeira etapa em ácido acético (CH_3COOH), hidrogênio e dióxido de carbono. Essas bactérias são facultativas, ou seja, elas podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. O oxigênio do material orgânico não aproveitado no processo aeróbio do sistema é utilizado para efetuar essas transformações.

O metano é formado na última etapa da produção do biogás. As bactérias metanogênicas, que formam o metano, transformam o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético (CH_3COOH) em metano e dióxido de carbono. O biogás liberado pelas bactérias anaeróbias é acumulado no gasômetro. Após um período da carga inicial, a produção de gás estará estabilizada e então se procede à recarga periódica do biodigestor.

3.3 MODELOS

3.3.1 Modelo Indiano

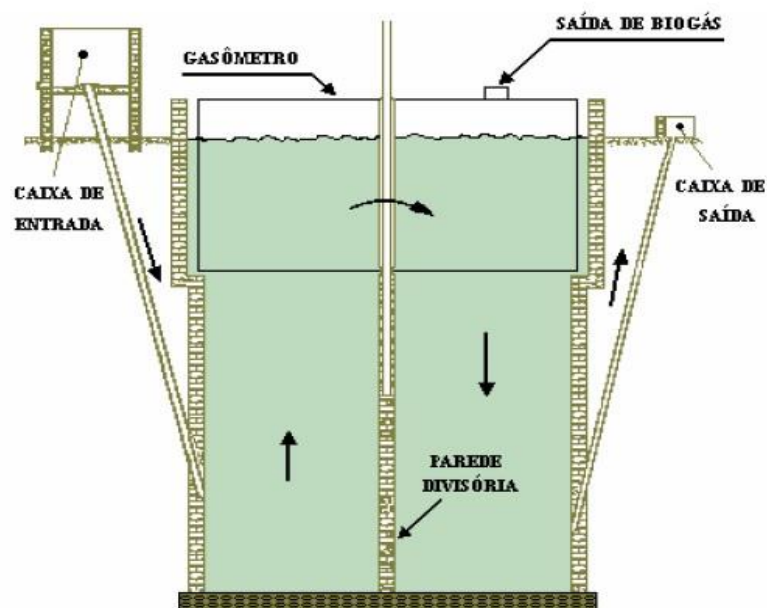
O biodigestor do modelo indiano caracteriza-se por possuir o gasômetro em forma de uma campânula, a qual pode estar imersa sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, existe ainda uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.

O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, mantendo a pressão em seu interior constante. O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção de gás.

O resíduo utilizado no biodigestor Indiano deve apresentar uma concentração de sólidos totais não superiores a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O abastecimento deve ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no seu fornecimento.

Do ponto de vista construtivo, apresenta-se de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, e também à distância da propriedade onde o resíduo se forma pode dificultar e encarecer o transporte ao biodigestor, inviabilizando a implantação deste modelo. A Figura 3 mostra a vista frontal em corte do biodigestor modelo Indiano. A Figura 4 representa o biodigestor tridimensionalmente, em corte, mostrando todo seu interior.

Figura 3 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Indiano



Fonte: BENINCASA; ORTLANI; LUCASJUNIOR, 1990

Figura 4 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Indiano



Fonte: DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI;TAVARES, 2002

3.3.2 Modelo Chinês

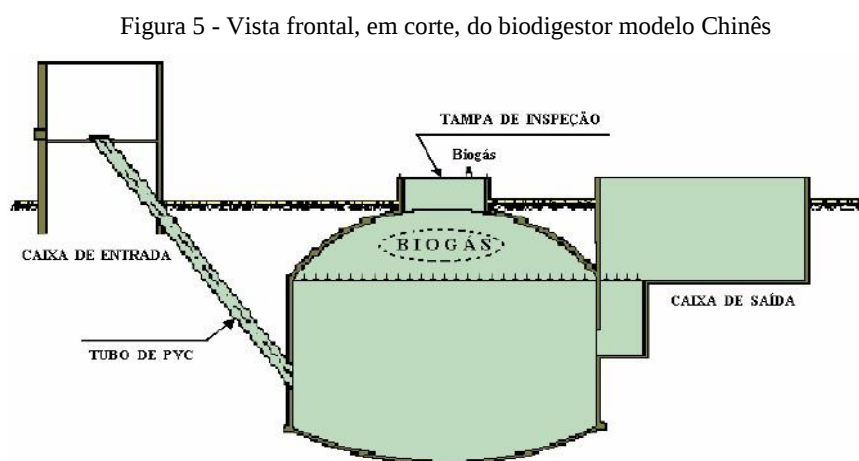
O biodigestor modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, possui teto impermeável, devido ao fato do biogás ser armazenado no mesmo. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e quando há descompressão o fluxo assume o sentido contrário.

Devido a base estrutural do modelo Chinês ser em alvenaria, o uso de gasômetro em chapa de aço é dispensado, reduzindo os custos. Entretanto podem ocorrer problemas com vazamento de biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada.

Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Com base nessa característica o modelo Chinês não deve ser utilizado para instalações de grande porte.

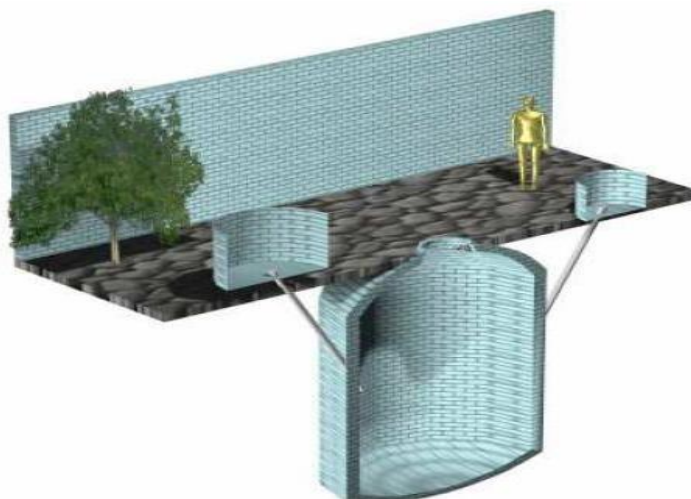
Semelhante ao modelo Indiano, o substrato deve ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

A Figura 5 mostra a vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Chinês. Na Figura 6, a representação tridimensional mostra todo o interior do biodigestor.



Fonte: DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI;TAVARES, 2002

Figura 6 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Chinês



Fonte: DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI;TAVARES, 2002

3.3.3 Modelo da Marinha Brasileira ou Canadense

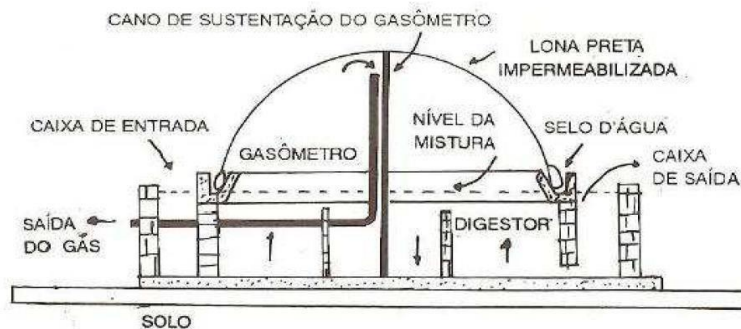
No Brasil o estudo sobre biodigestores iniciou na década de 70, quando o Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil (IPQM) desenvolveu o modelo conhecido como Biodigestor da Marinha do Brasil.

Este modelo apresenta uma base quadrangular, com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável. É um modelo mais raso e longo, o que lhe garante uma maior produtividade de gás por massa fermentada. Sua utilização encontra maior barreira no que diz respeito ao espaço físico disponível para a instalação. Por ter uma profundidade pequena, necessita de uma grande área superficial para que consiga armazenar uma grande quantidade de resíduos.

Esse modelo é o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de armazenar grande quantidade de resíduos passíveis a sobre fermentação anaeróbica, produzindo assim uma grande quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que podem ser utilizados como biofertilizantes.

Atualmente esse modelo de biodigestor é o mais difundido no Brasil devido ao aperfeiçoamento da manta impermeável que passou a ser confeccionada em Policloreto de Vinila (PVC), o que confere um menor custo e maior facilidade de instalação quando comparado com modelos antigos, como o Indiano e o Chinês, além de apresentar maior resistência à corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfídrico presente na mistura gasosa. Outra vantagem é que o mesmo pode ser utilizado em pequenos como em grandes projetos.

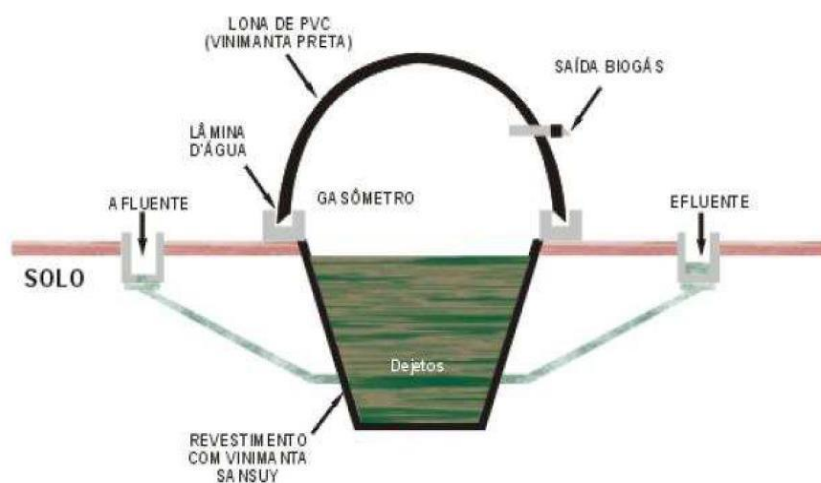
Figura 7 - Representação de um biodigestor do modelo Marinha do Brasil



Fonte : BARRERA, 2003

O modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil possui uma variação onde é feita somente a construção de um reservatório sem paredes divisórias, simplificando sua execução, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Representação em corte de um biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinhado Brasil



Fonte : O BIODIGESTOR

Para este modelo também é recomendada a construção abaixo do nível do solo para evitar bruscas variações de temperatura que possam ocorrer, além de aproveitar o calor da terra e o calor absorvido pela manta preta exposta ao sol, já que 90% do aquecimento do biodigestor é obtido com raios solares incidentes na lona preta, o que acaba garantindo uma melhor temperatura de funcionamento e consequentemente uma maior produção de biogás com maior concentração de metano.

Devido à utilização da manta como gásômetro, que confere uma baixa pressão à mistura gasosa, a máxima distância do ponto de consumo não deve ser superior a 50 metros, sendo que se for necessária uma maior pressão é recomendado o uso de um compressor. O biogás só apresenta

risco de explosão se misturado com oxigênio dentro do biodigestor. Essa situação acontece no início da operação quando ocorre o recebimento das primeiras cargas de dejetos. Para evitar esse problema é recomendada a liberação da primeira produção de biogás, evitando assim sua queimar consequentemente uma possível explosão. No início da operação os registros de saída do biogás devem estar fechados até que a manta que retém o biogás esteja completamente inflada. Em seguida libera-se todo o biogás contido até a manta retornar a sua posição inicial, após fecha-se os registros de saídas para que novamente a manta se infle, a partir deste momento o biodigestor pode ser usado normalmente. Mesmo que exista vazamento no biodigestor, o ar não entrará no biodigestor, pois a pressão interna da manta é maior que a pressão atmosférica, mas assim que o vazamento seja detectado o mesmo deve ser reparado para evitar quaisquer futuros problemas.

3.4 CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

Conhecida a estrutura e o processo de obtenção do biogás, a conversão energética em energia elétrica pode ser realizada de diversas formas devido aos atuais avanços tecnológicos. As tecnologias mais utilizadas são as micro turbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto. Devido aos custos elevados e o baixo tempo de vida útil ao operar com biogás, as micro turbinas não são muito utilizadas.

Na análise para as condições de uso para motores de combustão interna de ciclo Otto, os mesmos necessitam de pequenas modificações para poderem utilizar o biogás como combustível. Porém, os motores de ciclo Otto não são os mais indicados para geração de eletricidade, para este uso o mais apropriado é o motor de ciclo Diesel, pela sua maior robustez e menor custo para uma mesma potência, comparada ao de ciclo Otto. A introdução de biogás em motores de ciclo Diesel pode ser obtida mediante duas tecnologias: a utilização e a conversão bicomcombustível diesel/gás:

- Na utilização, grandes modificações nos motores são necessárias. Todo o sistema de injeção de Diesel é retirado e, em seu lugar, instala-se um sistema de carburação do gás ao ar de admissão e o sistema elétrico com velas para a ignição, que passa a ser feita por centelha. Também são necessárias modificações nos cabeçotes dos motores para a adequação de sua taxa de compressão, já que motores do ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel. Não são raras perdas de potência e eficiência de um motor ottolizado.
- Na operação bicomcombustível (diesel e biogás) em motores de ciclo Diesel, o gás é introduzido juntamente com o ar na fase de admissão, e a ignição é efetuada por uma pequena injeção-piloto de diesel para proporcionar a ignição por compressão, dando início à combustão do gás que é admitido no cilindro pelo coletor de admissão. Esse sistema apresenta a vantagem de não exigir modificações no motor.

4. FINANCIAMENTO E INCENTIVOS A FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS

A tarifa de energia elétrica tem aumentado na última década, principalmente devido aos crescentes custos marginais de geração, aos encargos e impostos. Um encargo deste caso no cálculo da tarifa de eletricidade, a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC). A CCC é um fundo setorial administrado pela Eletrobrás, que tem como finalidade reembolsar os custos de geração de eletricidade, incluindo encargos, impostos e investimentos. No passado foi utilizado para fomentar o sistema interligado, mas atualmente é utilizado somente no sistema isolado. Em 2009, a CCC subsidiou R\$ 344,79 por mWh gerado no sistema isolado; já em 2010, a CCC gerou R\$ 3,6 bilhões em subsídios.

A fonte de energia mais comumente utilizada pelo sistema isolado são os combustíveis fósseis, isso significa que a CCC está subsidiando a produção de energia por meio de fontes não-renováveis e prejudiciais para o meio ambiente. Porém, há um mecanismo previsto na CCC de subvencionar (a fundo perdido) fontes renováveis nos sistemas isolados, logo a mesma pode ser utilizada para subsidiar sistemas isolados de produção de eletricidade por fontes renováveis alternativas.

Outro encargo do setor elétrico é a Reserva Global de Reversão (RGR), criado em 1957, cujas finalidades foram sendo alteradas ao longo do tempo. A RGR prevê a concessão de financiamentos para empreendimentos que utilizam as fontes eólica, solar, biomassa e PCH. Além disso, a RGR prevê o financiamento de atividades de pesquisa e planejamento da expansão do sistema energético, de expansão dos serviços de distribuição para áreas urbanas e rurais de baixa renda e de combate ao desperdício e promoção do uso eficiente de energia elétrica.

Além dos incentivos citados acima, o BNDES possui uma linha de crédito para empreendimentos de geração de energia por fontes renováveis alternativas, além dos recursos destinados pelo banco ao Proinfa. O valor máximo financiável é de 80% do total do investimento, com taxas de juros de 4% ao ano, e os prazos de pagamento costumam variar de 10 a 14 anos. Outro incentivo a esses empreendimentos é a agilidade da concessão da outorga do empreendimento.

5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE TÉCNICA

Para a realização do projeto de uma planta para geração de energia elétrica a partir do biogás gerado pelo acúmulo de resíduos de suínos em biodigestores, precisamos criar um processo e a partir deste criar uma análise de viabilidade técnica e financeira para o mesmo.

Nesse capítulo serão abordados todos os fatores relevantes para a elaboração do projeto da planta, desde a produção de dejetos até a geração de energia elétrica. Também serão citados os dados contribuintes para a análise de viabilidade técnica e financeira.

A metodologia empregada para o estudo do projeto segue a mesma apresentada Eng^o Agrícola Paulo Armando V. de Oliveira, PhD e Pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, no livro “Biodigestor”.

5.1 PLANEJAMENTO DE UMA PLANTA COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO

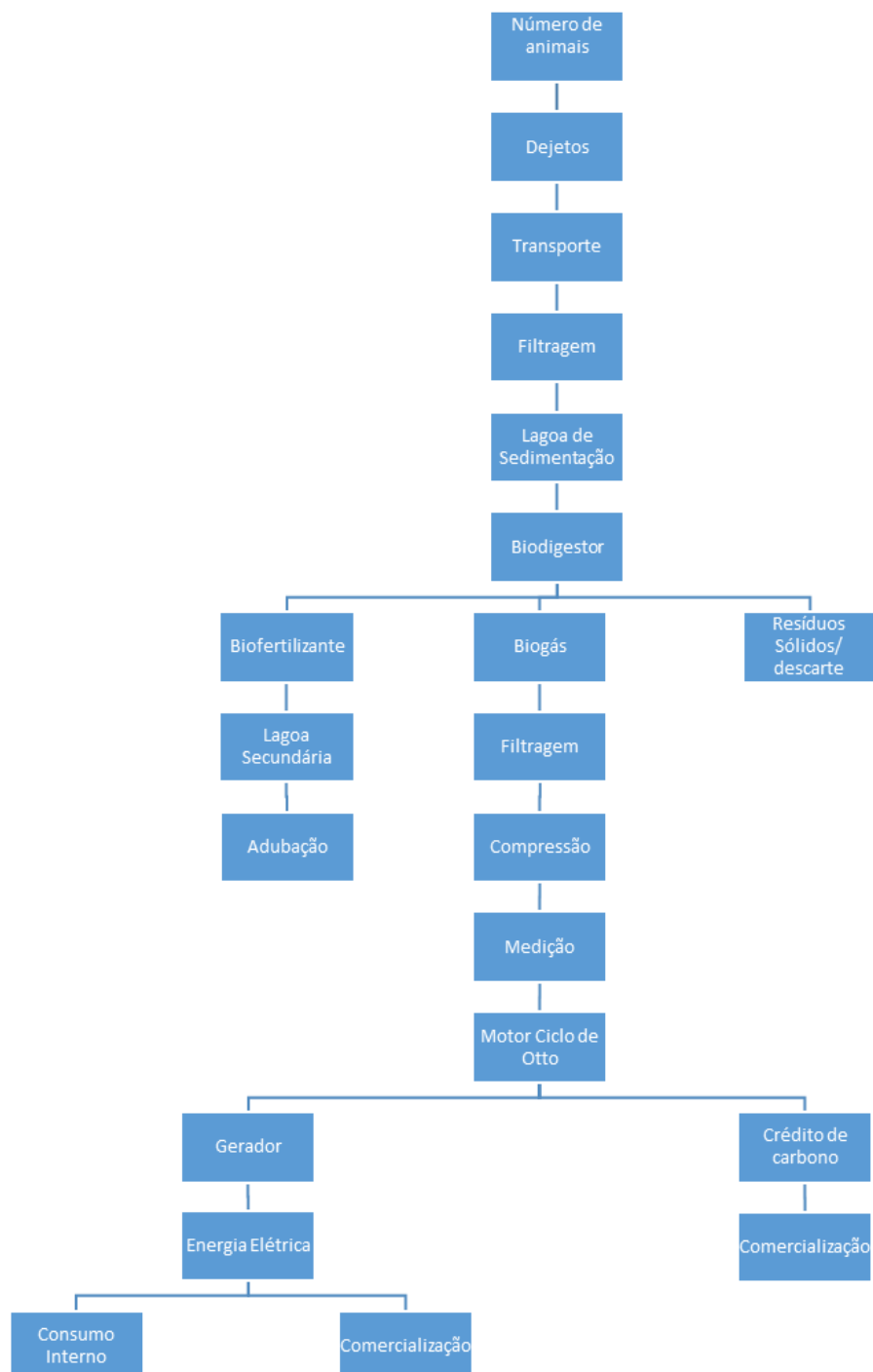
Para que o processo de dimensionamento de uma planta de geração de energia elétrica a partir do biogás seja eficaz, primeiramente devem ser analisados os procedimentos básicos para a eficiência da planta, são os seguintes:

- Estimativa da quantidade de dejetos;
- Análise e correção da qualidade dos dejetos;
- Escolha do biodigestor a ser implantado;
- Dimensionamento do biodigestor;
- Estimativa da quantidade de biogás gerada;
- Análise da qualidade do biogás produzido;
- Tipo de conversão de energia a ser implantado;
- Estimativa da quantidade de energia elétrica gerada;
- Análise do destino da energia elétrica produzida;
- Análise do destino do biofertilizante;

Para iniciar o conhecimento do processo de geração de energia elétrica a partir de resíduos, será apresentado um fluxograma onde estão destacadas todas as variáveis do processo. Foram consideradas como variáveis todos os pontos que podem alterar o projeto ou o custo do mesmo.

Na Figura 9 está o passo a passo para a implantação do sistema em uma granja de suinocultura.

Figura 9 - Fluxograma de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás



Fonte: o autor.

5.1.1 Estimação da quantidade de dejetos

Em um sistema de biodigestor alimentado somente pelos resíduos de suínos, ao se estimar a quantidade de dejetos produzidos em um ano deve-se analisar a quantidade de animais da granja, a mortalidade dos mesmos, tempo de confinamento e também é necessária a informação relacionada a quantidade de dejetos gerados por cada animal em um dia conforme a Tabela 1 prédefinida pela Embrapa.

Tabela 1 - Produção diária de dejetos de suínos de acordo com o sistema de produção (litros/dia)

Tipos de Sistema de produção	Produção Diária de Dejetos (Litros/Dia)
Ciclo Completo (CC)	85,0
Unidade de Produção de Leitões (UPL)	45,0
Unidade de Crescimento e Terminação (UCT)	7,0

Fonte: Oliveira, 1993; Bipers Embrapa/Emater RS, 1998.

Dessa forma, temos a Equação (1) que relaciona as informações citadas acima com o objetivo de calcular um valor para a quantidade de dejetos produzida por ano:

$$D_{pa} = N_a * (1 - M_o) * D_{da} * N_{dc} * F_c \quad (1)$$

Para o ciclo de terminação encontra-se o número de dias de confinamento no ano através do número de dias de confinamento por lote e o número de lotes anuais.

$$N_{dc} = N_{dl} * L_a \quad (2)$$

Já para o sistema de produção de ciclo completo ou de produção de leitões usa-se 365 dias por ano.

Onde:

D_{pa} : Dejetos produzidos por ano (m³)

N_a : Número de animais por lote

M_o : Mortalidade (%)

D_{da} : Dejetos produzidos por dia por animais (m^3)

N_{dc} : Número de dias de confinamento no ano (dias)

N_{dl} : Número de dias de alojamento por lote (dias)

L_a : Número de lotes anuais

F_c : Fator de correção para incertezas

5.1.2 Análise e correção da qualidade dos dejetos

Para que o empreendimento seja viável, devemos buscar a sua maior eficiência. Um dos maiores fatores contribuintes para a eficácia do processo é a qualidade dos dejetos, por isso deve-se analisar a composição dos mesmos buscando reduzir o impacto da matéria prima na geração do biogás. A análise pertinente a todos os pontos que buscam otimizar os resíduos será feita abaixo

Filtragem: Nos dejetos providos da granja estão presentes inúmeros tipos de materiais que podem prejudicar a produção de biogás. Para filtrar estes materiais indesejados é necessário realizar filtrações através de peneiras, sendo estas dimensionadas de acordo com a necessidade observada na análise dos dejetos. Também se faz necessário o uso de uma lagoa de sedimentação, a qual é dimensionada para que os dejetos providos da granja permaneçam na lagoa pelo período de um dia. Neste intervalo de tempo os resíduos de maior densidade como a areia, restos metálicos e o cimento devem sedimentar, evitando assim o seu acúmulo dentro do biodigestor.

Concentração: Outro fator a ser considerado é a diluição dos dejetos, através do desperdício de água utilizado na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nos bebedouros, entrada de água da chuva nos sistemas de manejo dos dejetos e no caso da suinocultura pelo uso de lamina d'água nos sistemas de produção.

O grau de diluição pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os Sólidos Voláteis (SV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam entre 70% a 75% dos Sólidos Totais, para o caso dos dejetos dos suínos. Os SV são os responsáveis diretos pela produção de biogás (La Farge, 1995; CCE, 2000).

Tabela 2 - Estimativa dos teores da MS, Ntot., P2O5 e K2O, nos dejetos de suínos

Densidade (kg/m ³)	Matéria Seca MS – (%)	Ntot (kg/m ³)	P2O5 (kg/m ³)	K2O (kg/m ³)
1008	1,24	1,60	1,14	1,00
1012	2,14	2,21	1,75	1,25
1016	3,04	2,83	2,37	1,50
1020	3,93	3,44	2,99	1,75
1024	4,83	4,06	3,60	2,00
1028	5,73	4,67	4,22	2,25
1032	6,63	5,28	4,84	2,50
1040	8,42	6,51	6,07	3,00

Fonte: SCHERER, 1996.

5.1.3 Escolha do tipo de biodigestor a ser implantado

O objetivo em questão é a geração de energia, dessa forma é necessário um fluxo de biogás diário capaz de tornar viável o processo. Sendo a escolha do modelo de biodigestor baseada no fluxo de dejetos fornecidos pela fonte, torna-se inviável a utilização dos modelos de biodigestores Indiano e Chinês pois estes tipos são indicados para um pequeno fluxo de dejetos e sua aplicação para um alto fluxo implicaria um custo de instalação inviável.

Dessa forma, em busca de maior eficiência combinada com a viabilidade financeira o modelo Canadense se torna o mais apropriado para este tipo de aplicação, pelo seu custo de implantação e de manutenção, além de sua durabilidade.

5.1.4 Dimensionamento do biodigestor

Antes de dimensionar o biodigestor, devemos ter o conhecimento da área disponível para a implantação da planta. A mesma requer um espaço físico considerável para a instalação de todo o sistema.

Abaixo serão descritos os dimensionamentos das lagoas, citadas no fluxograma da Figura 9, que consistem no dimensionamento do biodigestor.

Lagoa de sedimentação: A lagoa de sedimentação deve reter os dejetos de um dia, como citado no item 3.2.1.1. Para o cálculo do volume da lagoa é utilizada a fórmula abaixo:

$$V_{ls} = T_{rh} * D_{pa} / 365 \quad (3)$$

Onde:

V_{ls} : Volume da Lagoa de sedimentação (m³)

T_{rh} : Tempo de retenção hídrico da lagoa de sedimentação (dias)

Para este cálculo será desconsiderada a mortalidade dos animais, pois este não terá influência significativa no valor final.

Lagoa anaeróbia: Para o dimensionamento da lagoa anaeróbica deve-se levar em consideração o tempo de retenção hídrico que será utilizado na planta e o volume diário de dejetos gerados, portanto:

$$V_{bd} = T_{rh} * D_{pa} / 365 \quad (4)$$

Onde:

V_{bd} : Volume da lagoa anaeróbia do biodigestor (m³)

A lagoa anaeróbica do biodigestor não deve ser muito profunda, pois quanto maior a área de exposição ao sol maior será a energia térmica absorvida e, portanto maior o aquecimento da lagoa, aumentando assim sua capacidade produtiva.

Lagoa secundária: O dimensionamento leva em conta os mesmos fatores utilizados para o dimensionamento da lagoa anaeróbica, portanto:

$$V_{lse} = T_{rh} * \frac{D_{pa}}{365} \quad (5)$$

Onde:

V_{lse} : Volume da lagoa secundária (m³)

5.1.5 Estimação da quantidade de biogás gerada

A maioria dos biodigestores implantados no Brasil são do Modelo Canadense. A produção de biogás a partir deste modelo pode ser estimada em função da alimentação diária de Sólidos Voláteis (SV), como a planta terá destinação exclusiva para resíduos de suínos, a produção de biogás será específica e de 0,45 m³/kg de SV, para temperaturas da biomassa variando entre 30°C e 35°C (La Farge, 1995; CCE, 2000).

Segundo os estudos e análises realizadas por Oliveira (2005, p.73) na área de construções rurais/engenharia de meio ambiente, o biodigestor tem sua maior produção com um tempo de retenção hídrica (TRH) de 22 dias, uma temperatura de operação de 35°C e uma concentração de 55 a 65 kg de sólidos voláteis por m³ de dejetos afluentes no biodigestor.

Portanto:

$$\begin{aligned} V_{bg} &= V_{sv} * B_{sv} \\ V_{sv} &= D_{pd} * V_{st} * P_{sv} \\ D_{pd} &= \frac{D_{pa}}{365} \end{aligned} \quad (6)$$

Onde:

V_{sv} : Sólidos voláteis presentes nos dejetos (kg)

D_{pd} : Dejetos produzidos diariamente (m³)

V_{st} : Sólidos totais presentes nos dejetos (kg/m³)

P_{sv} : Porcentagem de sólidos voláteis presentes nos sólidos totais (%)

B_{sv} : Biogás gerado por kg de Sólidos voláteis (m³/kg)

5.1.6 Análise da qualidade do biogás

A análise do biogás gerado pelo biodigestor é de fundamental importância para a possível geração de energia utilizando, este como fonte de energia, a partir desta análise será possível à avaliação da necessidade de filtragem do gás, esta filtragem pode ser realizada como citado no item 2.5.

5.1.7 Tipo de conversão de energia a ser implantada

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. (COELHO, p. 2)

Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. Há de se mencionar, também, o uso da queima direta do biogás em caldeiras para a geração e o surgimento de tecnologias remanescentes, porém não comerciais atualmente, como a da célula combustível. As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo "Ciclo - Otto" ainda são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética. (COELHO, p. 3)

A conversão de energia deve ser analisada a cada caso, sendo que esta normalmente será pelo ciclo de Otto, como citado no item 3.4, utilizando motores "ottolizados" ou motores a gasolina convertidos para biogás.

5.1.8 Estimativa da quantidade de energia elétrica a ser gerada

A estimativa de energia elétrica produzida pela planta deve ser estimada para que seja realizado o estudo de viabilidade econômica da planta, esta estimativa pode ser feita de várias formas, dentre elas estão a estimativa pela conversão de energia e a estimativa pelo rendimento do grupo motor gerador.

a) Estimativa por rendimento do grupo motor gerador

$$P_{ge} = R_{ed} * V_{bg} * F_c \quad (7)$$

Onde:

P_{ge} : Potencial de geração de energia elétrica gerada no ano (kWh)

R_{ed} : Rendimento do grupo gerador (kWh/m³ de biogás)

b) Estimativa por conversão de energia

$$P_{ge} = V_{bg} * P_{cb} * R_{mt} * R_{ge} * F_c / C_{kw} \quad (8)$$

Onde:

P_{cb} : Poder calorífico do biogás (kcal)

R_{mt} : Rendimento do motor (%)

R_{ge} : Rendimento do gerador (%)

C_{kw} : Conversão de kcal para kWh

5.1.9 Análise dos produtos gerados pela planta

A planta terá como produtos que poderão gerar renda a Energia Elétrica, o biofertilizante e também há a possibilidade da renda a partir dos créditos de reduções de emissões de carbono. Abaixo serão abordadas as possibilidades para cada um dos produtos da planta.

5.1.10 Destinação da Energia Elétrica

O destino dado à energia elétrica produzida pela planta é determinante, pois através deste dado que será feita a avaliação precisa de receitas, economia e despesas fornecidas pela planta.

Para as plantas que tem como o objetivo de venda de energia elétrica para a concessionária de energia elétrica, será necessária a instalação de equipamentos de proteção e sincronismo entre a

rede da concessionária e o grupo gerador, o que pode elevar o custo da planta a um patamar que torne a mesma inviável economicamente. Desta forma torna-se o consumo interno a melhor opção para a energia elétrica gerada, visto que além do custo deste equipamento temos também a diferença entre o valor da compra e venda da energia elétrica, o qual irá influenciar nos cálculos de viabilidade.

5.1.11 Destinação do biofertilizante

O biofertilizante gerado pelo biodigestor pode ser utilizado para a adubação da própria propriedade na produção de grãos e gramíneas possibilitando o aumento de produção de outro empreendimento. Também pode ser utilizado, após desidratado, para dar volume à composição de rações animais.

5.1.12 Possibilidade de Renda com Créditos de Reduções de Emissões

No tratamento anaeróbio há um potencial de emissão de gases de efeito estufa, causados principalmente pela geração de gás metano. Como determinado pelo protocolo de Kyoto, cada tonelada de gás carbônico deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais. Os países desenvolvidos ao estabelecerem cotas em seus territórios para redução de dióxido de carbono impulsionarão as empresas a escolherem entre adotar ações próprias de redução/resgate de emissões ou comprar RCEs no mercado internacional, usando-os para cumprir suas obrigações.

Os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), também criado pelo protocolo de Kyoto, somente estarão aptos a fornecerem Certificados de Emissão Reduzida, se a redução for efetivamente certificada por órgãos competentes, o que significa que os projetos de MDL deverão ser submetidos a um processo de aferição e verificação de critérios técnicos rigorosos por meio de procedimentos estabelecidos na COP-7 (Conferência Internacional das Partes nº 7). Explicativo das fases do projeto de validação do RCE e prazo médio de execução (Lopes, 2009):

- 1 – Elaboração da metodologia
- 2 – Aprovação da metodologia
- 3 – Elaboração do documento de concepção de projeto (PDD)
- 4 – Comentários das partes interessadas
- 5 – Aprovação pela autoridade nacional designada

- 6 – Validação do projeto
- 7 – Registro do projeto
- 8 – Monitoramento do projeto
- 9 – Verificação e certificação

Após a execução dos passos apresentados acima é possível a obtenção de uma nova receita, através da comercialização das reduções de emissões.

5.2 AVALIAÇÃO DOS RISCOS DO PROJETO

Ao construir uma planta, ou criar um procedimento, riscos são criados. A geração de energia elétrica a partir do biogás também traz consigo alguns riscos, sendo estes citados abaixo:

- Operação e manutenção dos equipamentos de forma inadequada, levando ao sucateamento de forma acelerada;
- Preços de equipamentos incompatíveis com os orçamentos dos projetos;
- Licenciamento ambiental para instalação e operação do biodigestor, gasodutos e central geradora a biogás;
- Preços de equipamentos incompatíveis com os orçamentos dos projetos;
- Recursos financeiros não suficientes para o desenvolvimento global do projeto;
- Materiais, equipamentos e acessórios indisponíveis no mercado.

5.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

5.3.1 Introdução

Como em todo empreendimento, é necessária a análise prévia dos investimentos necessários. Com a ajuda da Engenharia Econômica, podemos conhecer técnicas especiais para a análise de investimentos. Alguns conceitos utilizados na matemática financeira serão abordados neste tópico, para que uma análise de viabilidade econômica para a implantação de plantas de geração de energia elétrica a partir de resíduos de suínos.

5.3.2 Fluxo de Caixa

A base de todas as técnicas de análise de investimentos é o fluxo de caixa. O fluxo de caixa se trata de uma representação gráfica de entradas e saídas de recursos monetários ao longo de um determinado período, ou seja, uma demonstração visual de receitas e despesas distribuídas pela linha do tempo futuro (MADEIRA, 2008).

O fluxo de caixa tem grande importância, pois facilita aos administradores tomarem decisões importantes de investimentos com base em uma visão futura dos recursos financeiros de uma empresa (MADEIRA, 2008).

5.3.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

É um custo de oportunidade de capital, que varia de investidor para investidor, representado sob a forma de taxa de juros onde se pode considerar um investimento atrativo quando este, no mínimo, render o equivalente a esta taxa de juros (PAMPLONA, 2006).

5.3.4 Valor Presente Líquido (VPL)

É um método de análise de investimentos onde se compara na data de início do projeto, todas as receitas e despesas esperadas e projetadas no fluxo de caixa utilizando a taxa mínima de atratividade imposta pelo investidor (PAMPLONA, 2006, 2005).

Um investimento é considerado economicamente atrativo neste método quando o valor presente líquido for positivo, significando assim que o valor presente nas entradas de caixa é maior que o valor presente nas saídas de caixa. Quanto maior for o valor presente, mais atrativo é considerado o investimento.

5.3.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa de juros onde o valor presente de todos os fluxos de entrada é igual ao valor presente de todos os fluxos de saída, ou seja, a TIR é a taxa que torna nulo o VPL de um investimento. A taxa interna de retorno deve ser comparada a taxa mínima de atratividade para verificar a rentabilidade do investimento. Para que um investimento seja

considerado atrativo neste método é preciso que a TIR seja maior que a TMA (PAMPLONA, 2006, 2005).

5.3.6 Payback

Payback ou método do tempo de recuperação do investimento é o método mais simples e popular para análise de um investimento. Este método consiste simplesmente em quantificar, através do fluxo de caixa, o período necessário para recuperar o investimento feito inicialmente, ou seja, o momento em que o lucro líquido alcançado ao longo do tempo determinado se torna igual ao investimento inicial (PAMPLONA, 2006).

5.3.7 Definições de Indicadores de Viabilidade Econômica

Taxa Mínima de Atratividade (TMA): valor mínimo que a rentabilidade de um dado empreendimento deve alcançar para que este projeto seja viável do ponto de vista do empreendedor. Projetos que apresentem indicadores de viabilidade positivos, mas que não forneçam esta taxa mínima de retorno não são considerados aplicações interessantes.

Valor Presente dado um Valor Futuro (VP):

$$VP = \frac{F}{(1 + r)^n} \quad (9)$$

Onde:

F : valor futuro;

r : taxa de juros;

n : período.

Valor Presente Líquido (VPL): valor que o balanço de um projeto teria se todos seus custos e benefícios fossem trazidos para o momento inicial, ou seja, se fosse calculado o valor presente de cada uma das parcelas que compõem o fluxo de caixa deste projeto ao longo de sua vida útil. Podemos equacionar o VPL da seguinte maneira:

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + r)^n} \quad (10)$$

Onde:

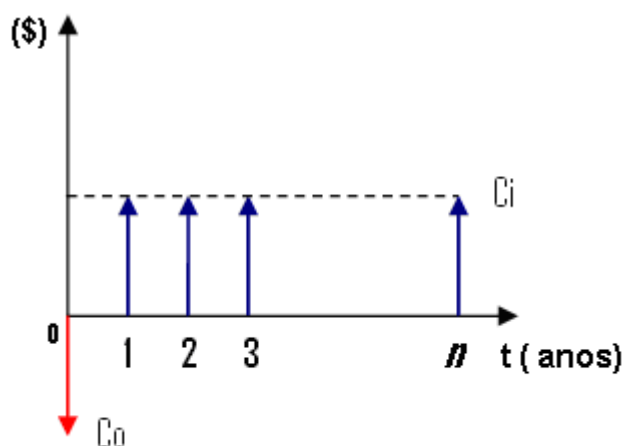
C_0 : montante a ser aplicado na data zero;

C_i : fluxo de caixa na data i ;

n : n° de período em anos.

É feita a suposição de que o fluxo de caixa inicial, C_0 , é negativo, porque representa um investimento (ROSS, 1995).

Figura 10 - Representação do VPL



Fonte: Ross, 1995

Taxa Interna de Retorno (TIR): é a taxa intrínseca de juros que teoricamente tornaria nulo o valor presente líquido de um dado investimento. Esse indicador é comparado à taxa mínima de atratividade para determinar a viabilidade do projeto.

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (11)$$

Tempo de Retorno (TR): é o valor que expressa em quanto tempo ter-se-ia de volta o valor investido no projeto. Pode ser descontado, quando se considera a taxa de juros, ou não-descontado, quando não considera o efeito da taxa de juros. O método não-descontado, apesar de possuir uma série de restrições à sua utilização, é um dos métodos mais difundidos.

$$TR = \frac{CIVT}{BEN} \quad (12)$$

Onde:

TR: tempo de retorno simples;

CIVT: custo de investimento;

BEN: benefício.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A partir dos conceitos descritos no capítulo podemos avaliar a viabilidade, tanto técnica como financeira, para a implantação de biodigestores para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de suínos.

Quando conhecidos os conceitos e os processos para o funcionamento da planta, é possível a realização de um projeto eficiente e de menor custo.

6. ESTUDO DE CASO

Para a aplicação dos métodos estudados, foram estudadas duas situações. A primeira situação irá abordar a geração de energia elétrica em propriedades rurais com o objetivo de consumo próprio e a segunda situação será abordada

6.1 RANCHO PELEGO BRANCO– CHAPECÓ -SC

6.1.1 Projeto

O rancho Pelego Branco possui a criação de suínos e disponibilizou seus dados para que a análise e o projeto fossem feitos, em busca da viabilidade para instalação de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por um biodigestor para tratamento de dejetos providos da suinocultura.

No projeto serão utilizados as construções de:

- 8 granjas para suinocultura, com capacidade de alojamento para 250 animais por granja em cada lote, sendo que a granja irá trabalhar apenas com o ciclo de terminação.
- sistema de distribuição do biofertilizante gerado pelo biodigestor, sendo este uma irrigação de pastagem com capacidade para 60 animais.
- Instalação de um grupo motor gerador de 100kVA (80kW) para atendimento de toda a propriedade. E fornecimento de biogás para aquecimento das duas granjas de produção de frangos de corte.

6.1.2 Estudos

Segundos os passos apresentados no item 5.1 e tabelas do anexo 1, pode-se definir:

a) Quantidade de dejetos produzidos pela granja ao longo do ano

$$\begin{aligned}
 D_{pa} &= N_a * (1 - M_o) * D_{da} * N_{dc} * F_c \\
 N_{dc} &= N_{dl} * L_a = 120 * 2,9 = 348 \\
 D_{pa} &= 2000 * (1 - 0,03) * 0,010 * 348 * 0,94 = 6346 \text{ m}^3
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Onde: (especificações de entrada)

D_{pa} : Dejetos produzidos por ano (m^3) = 6.346

N_a : Número de animais por lote = 2.000

M_o : Mortalidade (%) = 3

D_{da} : Dejetos produzidos por dia por animais (m^3) = 0,010

N_{dc} : Número de dias de confinamento no ano (dias) = 348

N_{dl} : Número de dias de alojamento por lote (dias) = 120

L_a : Número de lotes anuais = 2,9

F_c : Fator de correção = 0,94

b) Estimar a quantidade de biogás a ser gerada

A partir das equações citadas no item 5.1.5, temos as equações:

$$V_{bg} = V_{sv} * B_{sv} = 670 * 0,45 = 301 \tag{14}$$

$$D_{pd} = \frac{D_{pa}}{365} = \frac{6346}{365} = 17,40 \tag{15}$$

$$V_{sv} = D_{pd} * V_{st} * P_{sv} = 17,40 * 55 * 70\% = 670 \text{ m}^3$$

c) Consumo de energia elétrica da propriedade ao longo do ano

Para poder determinar qual será a necessidade de energia a ser produzida pela planta para alimentar a propriedade, deve ser feita a análise das contas de energia elétrica da mesma, assim obtemos o consumo médio mensal da propriedade, sendo que este está exposto na tabela abaixo.

Tabela 3 - Estimativa da média de consumo de energia elétrica na propriedade

Local	Consumo
Granjas de avicultura de corte	1.800 kWh/mês
Granjas de suinocultura de corte	450 kWh/mês
Sede	850 kWh/mês
Casa de funcionários	250 kWh/mês
Consumo total médio mensal	10.400 kWh/mês
Consumo total médio anual	124.800 kWh/mês

Fonte: o autor.

d) Consumo de biogás

Para estimar o consumo de biogás será utilizado o método de conversão de energia exposto no item 3.4. Primeiro será calculado o potencial de geração de energia elétrica da planta e posteriormente analisado a porcentagem que será utilizada e apresentado a margem de folga do projeto.

$$P_{ge} = V_{bg} * P_{cb} * R_{mt} * R_{ge} * F_c / C_{kw} \quad (16)$$

$$P_{ge} = 109.865 * 6.500 * 0,30 * 0,90 * 0,94 / 859 = 210MWh$$

Como o consumo interno anual é de aproximadamente 125 MWh, apenas 60% do potencial de produção será utilizado para o sistema elétrico, a propriedade terá um excedente de geração de energia elétrica de 85.000 Mh, ou aproximadamente 45.000 m³ de biogás, que podem ser utilizados para o sistema de aquecimento das granjas de frango de corte como solicitado pelo proprietário do rancho.

e) Custo e dimensionamento das lagoas e do biodigestor

Cálculo do volume da lagoa de sedimentação:

$$V_{ls} = N_a * D_{da} = 2.000 * 10 / 1.000 = 20 m^3 \quad (17)$$

O custo de instalação da lagoa de sedimentação é estimado em R\$ 75,00 por m³ da lagoa, portanto temos:

$$C_{ls} = 75 * V_{ls} = 75 * 20 = R\$ 1.500,00 \quad (18)$$

Cálculo do volume do biodigestor:

$$V_{bd} = T_{rh} / 1.000 * D_{da} * (1 - M_o) * N_a \quad (19)$$

$$V_{bd} = 22 * 10 / 1.000 * (1 - 0,03) * 2.000 = 426,8 m^3$$

O custo de instalação do biodigestor é estimado em R\$ 150,00 por m³ da lagoa anaeróbia, portanto temos:

$$C_{bd} = 150 * V_{bd} = 150 * 426,8 = R\$ 64.020,00 \quad (20)$$

Cálculo do volume da lagoa secundária:

$$V_{lse} = T_{rh} / 1.000 * D_{da} * (1 - M_o) * N_a \quad (21)$$

$$V_{lse} = 7 * 10 / 1.000 * (1 - 0,03) * 2.000 = 136 m^3$$

O custo de instalação da lagoa secundária é estimado em R\$ 4,50 por m³ de lagoa, portanto temos:

$$C_{lse} = 4,50 * V_{lse} = 4,50 * 136 = R\$ 612,00 \quad (22)$$

O custo de instalação de um gerador, próprio para a geração de energia elétrica a partir do biogás, com potência de 100kVA (80kW) é de aproximadamente R\$ 95.000,000, conforme proposta do anexo. Soma-se ainda o custo de infraestrutura básica para a planta como um todo no valor de R\$ 15.000,00.

Portanto o custo de implantação completa é de R\$ 176.632,00.

f) Economia com energia elétrica

Usando o da tarifa da energia elétrica de R\$ 0,23684, conforme a resolução homologatória nº 1.770, de 05 de agosto de 2014, para o fornecimento convencional rural.

$$E_{ee} = E_{ca} * C_{ee} = 124.800 * 0,23684 = R\$ 29.557,63 \quad (23)$$

g) Economia com o biofertilizante

O biofertilizante gerado pelo biodigestor fornece uma economia na adubação para as culturas da propriedade, esta está demonstrada nos cálculos abaixo:

Tabela 4 - Dados para cálculos relacionados ao biofertilizante

Cálculo do biofertilizante	
Biofertilizante aproveitado	70%
Biofertilizante dos suínos	
Nitrogênio (N)	0,00191 t/m³ de efluente
Fósforo (P2O5)	0,00145 t/m³ de efluente
Potássio (K2O)	0,00080 t/m³ de efluente

Fonte: ITAIPU, 2009

Tabela 5 - Preço dos biofertilizantes

Preço dos fertilizantes	
Uréia (45% de N)	1200 R\$/t
Superfosfato simples (18% de P2O5)	550 R\$/t
Cloreto de potássio (60% de K2O)	1150 R\$/t

Fonte: o autor.

$$\begin{aligned}
 Nit &= C_oN * D_{pa} * B_{ap} = 0,00191 * 6.346 * 0,7 = 8,48t \\
 Fos &= C_oP * D_{pa} * B_{ap} = 0,00145 * 6.346 * 0,7 = 6,44t \\
 Pok &= C_oK * D_{pa} * B_{ap} = 0,0008 * 6.346 * 0,7 = 3,51t
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Onde:

Nit: Quantidade de nitrogênio presente no biofertilizante (t/ano) = 2,66

C_oN: Concentração de nitrogênio no biofertilizante (t/m³) = 0,00191

B_{ap}: Biofertilizante aproveitado (%) = 0,7

Fos: Quantidade de superfosfato simples presente no biofertilizante (t/ano) = 6,44

C_oP: Concentração de superfosfato simples no biofertilizante (t/m³) = 0,00145

Pok: Quantidade de cloreto de potássio presente no biofertilizante (t/ano) = 3,51

C_oK: Concentração de cloreto de potássio no biofertilizante (t/m³) = 0,0008

Economia com fertilizantes:

$$\begin{aligned}
 Nitrogênio (N) &= 8,48 * \frac{1200}{0,45} = R\$ 22.613,33 \\
 Fósforo (P2O5) &= 6,44 * \frac{550}{0,45} = R\$ 19.677,78 \\
 Potássio (K2O) &= 3,51 * \frac{1150}{0,60} = R\$ 6727,50
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Portanto a economia com o biofertilizante é de R\$ 49.018,61 por ano.

h) Possível receita com venda de créditos de carbono

O objetivo da venda de créditos de carbono é a redução das emissões de dióxido de carbono. É possível estabelecer um cálculo estimando a redução de dióxido de carbono a partir da quantidade em toneladas de metano que deixou de ser emitida na atmosfera, a base do cálculo é o volume de biogás produzido ao longo de um ano.

O preço das reduções certificadas de emissões (RCEs) para entrega em agosto de 2014 é de € 6,27 (INSTITUTO CARBONO BRASIL). A cotação do Real em relação ao Euro é no dia 27/10/2014 de 3,1865 (UOL).

$$\begin{aligned}
 V_{ba} &= V_{bg} * dias = 301 * 365 = 109.865 m^3 \\
 V_{ch4} &= V_{ba} * C_{ch4} = 109.865 * 0,65 = 71.400 m^3 \\
 T_{ch4} &= D_{ch4} * V_{ba} = 71.400 * 0,00067 = 48 t \\
 E_{co} &= T_{ch4} * 21 = 48 * 21 = 1.010 t \\
 R_{cc} &= V_{te} * E_{co} * C_{ot} = 1.010 * 6,27 * 3,1865 = R\$ 20.180,00
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Onde:

V_{ba} : Volume de biogás gerado por ano (m^3) = 109.865

D_{ch4} : Densidade do metano (t/m^3) $0,00067 t/m^3 = 0,00067$

T_{ch4} : Toneladas de CH₄ (t) = 48

C_{ch4} : Porcentagem de CH₄ no biogás = 0,65

V_{ch4} : Volume de CH₄ no biogás (m^3) = 71.400

E_{co} : Equivalente em toneladas de CO₂ (t) = 1.010

V_{te} : Valor da tonelada do equivalente de CO₂ (€) = 6,27

R_{cc} : Receita com créditos de carbono (R\$) = 20.180

C_{ot} : Cotação Real Euro (R\$/€) = 3,1865

Portanto, caso validada a homologação para venda de créditos de carbono é possível obter uma receita anual de R\$ 20.180,00 anuais com a comercialização de

créditos de carbono.

i) Receita total anual

Energia elétrica = R\$ 29.557,63

Biofertilizante = R\$ 49.018,61

Créditos de carbono = R\$ 20.180,00

Receita total = R\$ 98.756,24

j) Viabilidade

Os agronegócios atualmente são incentivados por um programa de incentivo chamado PRODUSA, que estimula à produção a agropecuária sustentável. O programa atende produtores rurais, tanto pessoas físicas como jurídicas, e suas cooperativas. Quando o beneficiado é uma cooperativa, o repasse aos cooperados segundo Circular Seagri nº 08/2011 possui uma taxa de juros de 6,75% a.a., podendo contemplar até 100% do investimento necessário com um limite máximo de R\$ 300.000,000. As condições incluem 36 meses de carência e prazo de pagamento de 96 meses.

Ao se tratar da receita com crédito de carbono, para que seja possível que o valor seja incluso na receita total do empreendimento são exigidas uma série de aprovações que teriam um custo elevado, por esse motivo tal valor não será incluso na viabilidade, pois a viabilidade deve mostrar uma estimativa real e não hipotética, dessa forma não podemos incluir valores que necessitam de certificação de órgãos terceiros como entrada na receita do empreendimento.

A Tabela 6 mostra as parcelas anuais, as receitas anuais com uma correção anual de 5,3% na eletricidade conforme as projeções do Copom (BRASIL, 2014) e o saldo no caixa ao final de cada ano.

Tabela 6 - Estudo de viabilidade da instalação da planta completa

Valor financiado (R\$)		176.132,00	Receita com energia elétrica no ano inicial (R\$)		29.557,63
Taxa de Juros a.a. (%)		6,75	Receita com biofertilizante (R\$)		49.018,61
Custos de operação e manutenção anuais 4% do investimento (R\$)		7.045,28	Receita total (R\$)		78.576,24
Parcela Fixa	Juros anuais	Parcela total	Receita líquida total	Saldo acumulado	Saldo % do investimento
	11.888,91	11.888,91	44.366,72	32.477,81	18,44
	11.888,91	11.888,91	45.156,78	65.745,68	37,33
	11.888,91	11.888,91	45.975,27	99.832,04	56,68
35.226,40	11.888,91	47.115,31	46.823,24	99.539,97	56,51
35.226,40	9.511,13	44.737,53	47.701,73	102.504,17	58,2
35.226,40	7.133,35	42.359,75	48.611,84	108.756,27	61,75
35.226,40	4.755,56	39.981,96	49.554,73	118.329,03	67,18
35.226,40	2.377,78	37.604,18	50.531,55	131.256,40	74,52

Fonte: o autor.

A Tabela 7 mostra apenas o estudo de viabilidade da parte de geração de energia elétrica, ou seja, as despesas com instalação de um grupo motor gerador a biogás e a infraestrutura eletromecânica necessária para seu funcionamento. A economia anual apresenta uma correção de 5,3% no custo da tarifa de energia elétrica conforme as projeções do Copom (BRASIL, 2010).

Tabela 7 - Estudo de viabilidade apenas da parte de geração de energia elétrica

Valor financiado (R\$)		110.000,00			
Taxa de Juros a.a. (%)	6,75	Receita com energia elétrica no ano inicial		29.557,63	
Custos de operação e manutenção anuais 4% do investimento (R\$)	4.400,00	Receita total (R\$)		29.557,63	
Parcela Fixa	Juros anuais	Parcela total	Receita líquida total	Saldo acumulado	Saldo % do investimento
	7.425,00	7.425,00	17.546,00	10.121,00	9,20
	7.425,00	7.425,00	18.336,06	21.032,06	19,12
	7.425,00	7.425,00	19.154,55	32.761,61	29,78
22.000,00	7.425,00	29.425,00	20.002,52	23.339,13	21,22
22.000,00	5.940,00	27.940,00	20.881,01	16.280,14	14,80
22.000,00	4.455,00	26.455,00	21.791,12	11.616,26	10,56
22.000,00	2.970,00	24.970,00	22.734,01	9.380,27	8,53
22.000,00	1.485,00	23.485,00	23.710,83	9.606,10	8,73

Fonte : o autor.

6.1.3 Conclusão e análise

A partir da análise realizada na parte técnica e econômica, juntamente com o conhecimento dos indicadores que determinam o sucesso de um empreendimento do ponto de vista financeiro, podemos concluir a viabilidade da instalação do sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por resíduos de suínos quando tratados em um biodigestor apropriado, mesmo quando a propriedade não utiliza todo o potencial para a geração de energia elétrica, ainda podendo ter receita com outros fatores como a produção de biofertilizantes ou a utilização do biogás para aquecimento dos animais criados na propriedade.

6.2 IMERSÃO DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

A resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 estabelece condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Apesar do incentivo e da regulamentação ainda há um déficit de investimento e informações perante as concessionárias para a imersão da energia gerada pela microgeração e minigeração.

Devido a falta de registros para o processo no Estado de Santa Catarina, serão apresentados dados sobre a primeira planta com geração de energia a partir de fontes renováveis do Paraná, a Granja Colombari recentemente implantada na cidade de São Miguel do Iguaçu.

6.2.1 **Planta**

A primeira unidade de demonstração da Plataforma Itaipu de Energias Renováveis foi instalada na Granja Colombari, em São Miguel do Iguaçu. Ali, os dejetos da criação de suínos são utilizados para fornecer eletricidade para essa propriedade que, além de estar suprimindo suas necessidades energéticas, produz excedente para alimentar a rede pública, administrada pela Companhia Paranaense de Energia (Copel).

Em janeiro de 2008, uma importante fase do projeto foi vencida com o comissionamento (aceitação) da energia excedente pela Copel. Em fevereiro de 2009, a Colombari passou a vender o excedente de energia para a Copel. Isso significa que a Granja, que tem um plantel de 3.000 cabeças de suínos, passou a atuar como unidade geradora. Para isso, a Copel desenvolveu um painel especial, que permite que a eletricidade faça o caminho inverso, ou seja, da granja para a rede pública, com total segurança para as duas partes.

Atualmente, a concessionária paranaense conduz testes no local e tem se reunido com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para estabelecer parâmetros para a implantação definitiva da Geração Distribuída no país.

Esse estudo também visa a criação de uma política tarifária para esse modo de geração que é, por definição, a produção de energia próxima à unidade consumidora.

6.2.2 Problemas e Operação

Uma das dificuldades enfrentadas pelo produtor era obter uma maior durabilidade do motor empregado na geração de energia elétrica, já que em alguns casos a durabilidade do motor foi de aproximadamente 400 horas de trabalho. Porém esta foi vencida através de melhorias na tubulação que conduzia o biogás do biodigestor ao motor e adoção de uma caixa para tirar a umidade do biogás. Outra dificuldade foram os estudos para a conexão à rede e proteção elétrica do gerador.

Segundo informado pelo produtor, em sua propriedade não é possível realizar a geração de energia elétrica durante 24 horas dia em função da necessidade de se manter um funcionário de plantão no período da noite para atender a possíveis problemas que podem ocorrer no grupo gerador, como queda do sincronismo com a rede da companhia elétrica. Desta forma o grupo gerador trabalha entre as 07h00 da manhã e às 19h00 totalizando 12 horas de geração por dia não trabalhando aos domingos.

Houve substituição de equipamentos no período anterior à implantação do sistema de geração de energia em paralelo à rede, conforme relatado pelo proprietário.

Houve a troca do motor utilizado no gerador em função do desgaste nas peças, porém, este problema foi solucionado com a substituição da tubulação que conduz o biogás do biodigestor ao motor que teve seu diâmetro aumentado. Antes o diâmetro da tubulação 71 era de 50 mm e agora é de 100 mm e houve também a implantação de um filtro desumidificador nesta tubulação desenvolvido pelo próprio produtor.

A geração de energia elétrica com o biogás foi uma das alternativas para o aumento da demanda de energia elétrica da propriedade em função da ampliação da fábrica de ração.

Atualmente não há cogeração de energia térmica, porém com o projeto de ampliação da unidade geradora poderá haver a cogeração de energia térmica que poderá ser empregada para o aquecimento da biomassa presente no biodigestor como também a água quente fornecida neste processo poderá ser empregada na limpeza das instalações.

6.2.3 Conclusão

A produção de energia elétrica contribuiu para a diminuição dos custos de produção da propriedade em função da diminuição da necessidade de aquisição de energia elétrica na propriedade proveniente da COPEL, transformando isto em um fato relevante para o aumento da rentabilidade da suinocultura na propriedade.

Nesta unidade os benefícios ambientais se resumem na melhoria da qualidade de vida existente na propriedade em função da diminuição dos odores provenientes das lagoas onde os

dejetos eram tratados. Outro impacto positivo neste tratamento foi o aumento da capacidade produtiva da pastagem onde são criados bovinos de corte onde é possível conseguir maiores capacidades de suporte desta pastagem quando comparadas ao manejo tradicional de pastagens

7. CONCLUSÃO

A geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores ou por outro meio gerador é viável tecnicamente e economicamente principalmente para o consumo próprio, desde que sejam aplicadas técnicas para correção dos resíduos e do biogás. Podendo assim acrescentar um aumento significativo na produção de energia elétrica, melhorando a forma de distribuição de energia e também acrescentando receita aos produtores. Já para o fornecimento ao sistema integrado de energia deve ser feito um estudo mais aprofundado de viabilidade, visto que, as despesas com proteção e sincronismo podem inviabilizar o projeto.

Focando na produção de suínos, a utilização desta tecnologia pode gerar uma renda extra e continua mesmo antes da comercialização do produto principal, além de promover um ciclo de produção dentro da propriedade com a utilização do biofertilizante, aumentando assim o potencial produtivo como um todo.

Levando em conta os ganhos ambientais, o biodigestor é um excelente método de tratamento de resíduos, propiciando um desenvolvimento sustentável e contínuo, desde que o mesmo seja dimensionado de forma correta e eficiente, além de também apresentar um potencial de receita com créditos de carbono após a sua validação perante aos órgãos competentes.

Como sugestão para trabalhos futuros deve-se englobar as questões de requisitos elétricos para sincronismo e proteção com o sistema integrado, nível de tensão de geração e demais instalações elétricas.

ANEXO 1

Tabela A 1 - Dados para cálculos de produção de metano

Parâmetros para a produção de metano	
Potencial de produção de CH ₄ para os suínos	0,35 m ³ CH ₄ /kg de SV
Potencial de produção de CH ₄ para bovinos	0,18 m ³ CH ₄ /kg de SV
Modelo de fator de correção para ter em contas as incertezas do modelo	0,94
Fator de conversão anual de CH ₄ para a lagoa anaeróbia na baseline	78%
Fator de conversão anual de CH ₄ para o biodigestor	10%
Dados do metano	
Densidade do metano	0,00067 t/m ³
Potencial de aquecimento global do metano	21
Dados do biodigestor	
Redução nos sólidos voláteis do biodigestor	80%
Dados do biogás	
Teor de metano no biogás	66%

Fonte: ITAIPU, 2009.

Tabela A 2 - Dados para cálculos de produção de dejetos

Parâmetros empregados nos cálculos	
Suinocultura	
Produção diária de dejetos pelos suínos	7 a 12 l/cab/dia
Número de lotes anuais	2,9
Mortalidade tolerada	3%
Dimensões do biodigestor	
Tempo de retenção hídrica na caixa de sedimentação	1 dia
Custo de referência da caixa de sedimentação	75 R\$/m ³ instalado
Tempo de retenção hídrica no biodigestor	22 a 30 dias
Custo de referência no biodigestor	150 R\$/m ³ instalado
Tempo de retenção hídrica na lagoa secundária	120 dias
Custo de referência da lagoa secundária	4,5 R\$/m ³ instalado

Fonte: ITAIPU, 2009.

ANEXO 2



Toledo, 24 de novembro de 2014.

A/C

Anna Paula – Engevix

Proposta para Aquisição de 01 Grupo Gerador GGB 100 KVA com painel de transferência manual

1- Modelo GGB 100 KVA BIOGÁS

Potência 100 kVA Stand BY / 75 kVA Contínuo

Controle de Rotação Eletrônico com controle por sensor eletromagnético

Chassi com perfil U dobrado

Dimensões Altura /Largura/Comprimento 1200mm X 1000mm X 2200mm

Peso (Kg) 1 000 Kg

1.1 GERADOR

Marca WEG

Acoplamento Tipo rígido com flange

Grau de proteção IP-21

Numero de pólos 4

Rotação 1800 RPM

Frequência 60 Hz

1.2 MOTOR

MWM X-12 6 cil.

Combustível **BIOGÁS**

Instalação:

- A casa de máquinas e a tubulação de Biogás não fazem parte deste orçamento
- O biogás deverá apresentar concentração mínima de 60% de metano.

Garantia:

- Seis Meses de garantia contra defeitos de fabricação ou 1000 horas de funcionamento a contar da partida.
- A garantia não cobre defeitos ocasionados pela operação acima dos limites nominais de funcionamento ou falta de manutenção recomendada.
- Estão excluídos da garantia os materiais de desgaste natural, como: correias, juntas, filtros, óleo, fusíveis, bobinas e retentores.

TOTAL R\$ 95.000,00

Pagamento: 50% na confirmação do pedido e 50% na entrega

Validade da Proposta: 10 dias.

Prazo de entrega: 45 dias da data do fechamento.

Frete: Por conta da contratada

Atenciosamente

Eng. Juliano de Souza



ANEXO 3

MODELO DE NEGÓCIO

Visando a implementação do projeto proposto, foi realizado um estudo sobre o mercado e também sobre a estrutura necessária para a criação de um negócio especializado em energias renováveis.

1.1 CANVAS

O Business Model Canvas é uma ferramenta de gerenciamento estratégico, que permite desenvolver e esboçar modelos de negócio novos ou existentes. É um mapa visual pré-formatado contendo nove blocos do modelo de negócios. O Business Model Canvas foi inicialmente proposto por Alexander Osterwalder baseado no seu trabalho anterior sobre Business Model Ontology.

A ferramenta é basicamente um mapa dos principais itens que constituem uma empresa, pode ser também uma receita de estratégia, que deve estar sempre sendo revisado cada quadrante ao longo do tempo para saber se cada um está sendo bem atendido ou se é necessário fazer alteração em algum deles para se conseguir um melhor resultado. O mapa é um resumo dos pontos chave de um plano de negócio, mas não deixa de excluir um plano de negócio em si, é uma ferramenta menos formal que pode ser utilizada com mais frequência no dia a dia.

- *Infraestrutura*

Atividades-chave: As atividades mais importantes para executar a proposição de valor da empresa. Exemplo: a Bic teve que criar uma eficiente *supply chain* para reduzir os custos.

Recursos-chave: Os recursos que são necessários para criar valor para o cliente. São considerados ativos da empresa e são necessários para manter e dar suporte ao negócio. Esses recursos podem ser humanos, financeiros, físicos ou intelectuais.

Rede de parceiros: As alianças de negócios que complementam os outros aspectos do modelo de negócio.

- *Oferta*

Proposição de Valor: Os produtos e serviços oferecidos pelo negócio. Citando Osterwalder (2004, p. 88), uma proposição de valor "é uma visão geral dos produtos e serviços que, juntos, representam valor para um segmento de clientes específico. Descreve a forma como a empresa se diferencia dos seus concorrentes e é a razão pela qual os clientes compram de uma certa empresa e não de outra."

- *Clientes*

Segmentos de clientes: o público-alvo para os produtos e serviços de uma empresa.

Canais: O meio pelo qual uma empresa fornece produtos e serviços aos clientes. Isso inclui a estratégia de marketing e de distribuição de uma empresa.

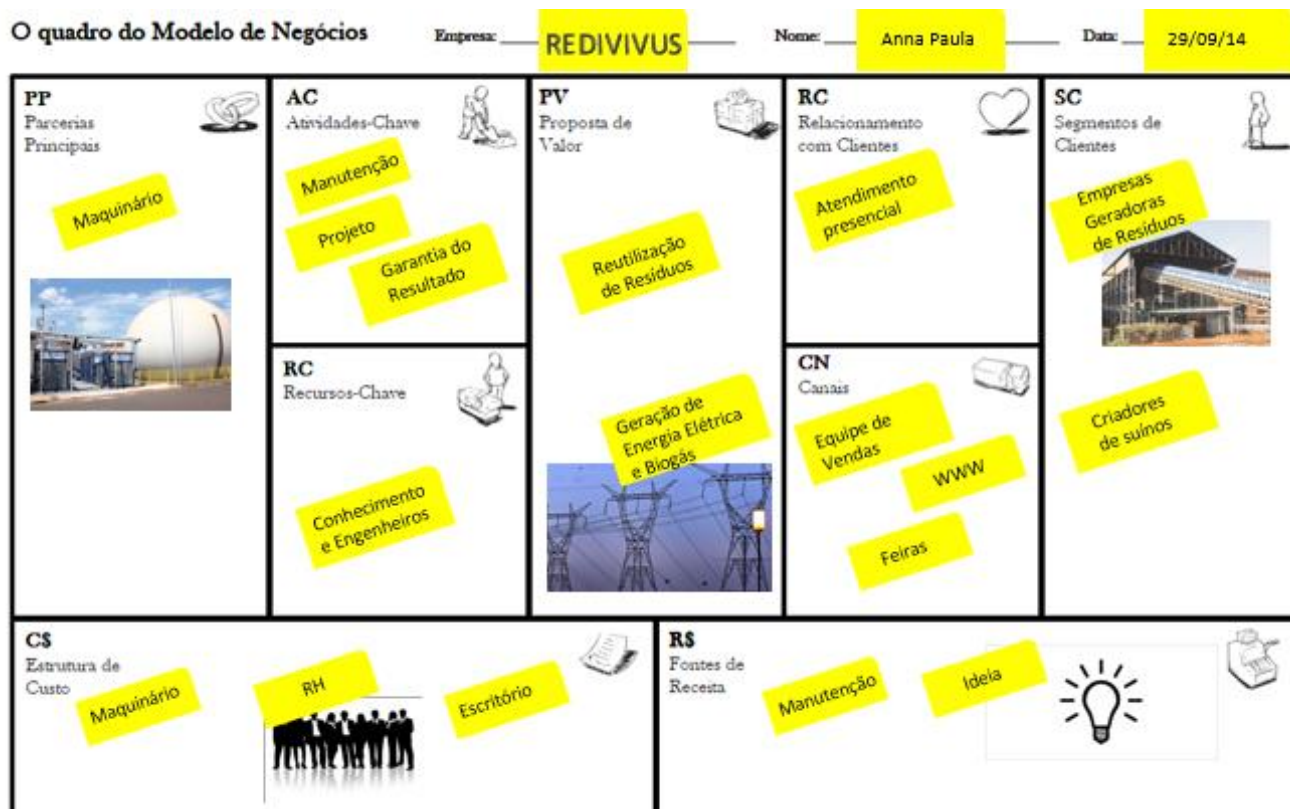
Relacionamento com o Cliente: A empresa estabelece ligações entre si e os seus diferentes segmentos de clientes. O processo de gestão de relacionamento com o cliente é chamado de customer relationship management (CRM).

- *Finanças*

Estrutura de custos: As consequências monetárias dos meios utilizados no modelo de negócios.

Fluxos de receita: A forma como a empresa ganha dinheiro através de uma variedade de fluxos de receitas. Rendimentos de uma empresa.

Em anexo, imagem do quadro Canvas para o modelo de negócio sugerido pelo trabalho.



8. REFERÊNCIAS

Alves, J.W.S. – Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos, 2000.

Barrera, P. – Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural, 2003.

Benincasa, M.; Ortlani, A. F.; Lucas Junior, J. – Biodigestores Convencionais, 1990.

BIPRS, Dartora, V.; Perdomo, C.C.; Tumeleiro, I.L. Manejo dos dejetos de suínos, Boletim Técnico Informativo de Pesquisa, Embrapa Suínos e Aves / EMATER-RS. Impresso EMATER-RS, Porto Alegre, 1998. 41 p.

Boletim Enfoque – Biodigestor “PE”, fonte alternativa energética e de biofertilizantes, Recife, 1999.

Classen, P.A.M; Lier, J.B.; Stamrs, A.J.M. – Utilization of biomass for supply of energy, 1999.

Coelho, S.T.; Silva, O.C; Varkulya, A.Jr.; Avellar, L.H.N.; Ferling, F.F. – Estado da arte do biogás, 2001.

Craveiro, A. M. – Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão – Digestão anaeróbica e aspectos teóricos e práticos, 1982.

Deganutti, R.; Palhaci, M. C. J. P.; Rossi, M.; Tavares, R. – Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada, 2002.

Finocchio Junior, J. – Project Model Canvas – Gerenciamento de Projetos Sem Burocracia, 2012.

Horta, L.A. Nogueira. Biodigestão A Alternativa Energética. São Paulo: Nobel, 1986.93

Moraes, M. J. – Manual de instruções para o usuário do biogás, 1980.

Monteiro, C. - Microturbinas, 2004.

Nogueira, L.A.H. – Biodigestão, a alternativa energética. Editora Nobel, São Paulo, 1986.

O biodigestor – Disponível em www.iengep.com.br.

Obert, E. F. “Motores de Combustão Interna, Porto Alegre - RS: Globo, 1971.

Oliveira, R. D. – Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos de abatedouro e as possibilidades de mercado de carbono, 2006.

Oliveria, L. R. P. – Biodigestor, 2005.

Percora, V. – Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso, 2011

Prati, L. – Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás gerado por Biodigestores, 2010.

Parchen, C. A. P. – Manual do Biogás, 1979.

Pereira, R. H., “Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicomcombustível Diesel/Gás Natural”, In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador – BA, 2005.

Resolução Número 482, disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>

Ross, C.C.; Drake, T.J. – The handbook of biogas utilization, U.S. Department of Energy Southeastern Regional Biomass Energy Program Tennessee Valley Authority, 1996.

Salomon, K. R. (2007), Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade. Itajubá. 219 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

Santos, P. – Guia técnico de biogás. Portugal: Centro para a conservação de Energia, 2000.

Schechtman, R; Cecchi, S. C. - Projeto ambiental das hidrelétricas na Amazônia – Impactos, 1994.

SERVICE ENERGY. Disponível: <http://www.serviceenergy.com.br/apostila.pdf>.

Silva, N. A. – Manual técnico, construção e operação de biodigestor modelo chinês, 1983.

Sisinno, C. L. S.; Oliveia, R. M. - Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar, 2000.

Solar Turbines – Caterpillar Company. Disponível: <http://mysolar.cat.com>.

Sosa, R.; Chao, R.; Río, del J. – Aspectos Bioquímicos y Tecnológicos del Tratamiento de Residuales Agrícolas con Producción de Biogás, 2004.

Souza, J. S. I.; Peixoto, A. M.; Toledo, F. F. – Enciclopédia Agrícola Brasileira, 1995.

Souza, S. N. M.; Pereira, W. C.; Nogueira, C. E. C. - A. A. Pavan & A. Sordi, “Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura”, Acta

Scientiarum, v.26, n. 2, p. 127-133, 2004. 78

Tolmasquim, M. T. - Fontes renováveis de energia no Brasil, 2003.

UOL - <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio.jhtm>, pesquisa em 27/10/2014.

Villen, R.A.; Lima, U.A; Aqurone, E; Borzani, W.; Schimidell, W. – Tratamento biológico de efluentes, 2001.

Villela, Iraídes Aparecida de Castro, SILVEIRA, José Luz - Aspectos técnicos da produção de biogás em um laticínio, 2005

Wereko-Brobby, C. Y., Hagen, E.B. – Biomass conversion and technology, 2000.

Willumsen, H. C. - Energy recovery from land fill gas in Denmark and worldwide, 2001.

World Bank - Handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and Caribbean, 2003.