

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS ORIUNDO  
DA ATIVIDADE SUINÍCOLA PARA CONVERSÃO EM ENERGIA ELÉTRICA

por

Eduardo Nesi Bubicz

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2016



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS ORIUNDO  
DA ATIVIDADE SUINÍCOLA PARA CONVERSÃO EM ENERGIA ELÉTRICA

por

Eduardo Nesi Bubicz

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Paulo Smith Schneider

Comissão de Avaliação:

Prof. Cirilo Seppi Bresolin

Prof. Sérgio Viçosa Möller

Prof. Thamy Cristina Hayashi

Porto Alegre, 18 de novembro de 2016.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer as seguintes pessoas que influenciaram esta conquista, direta ou indiretamente:

Ao meu orientador, Paulo Smith Schneider, pela disponibilidade e valorosos conselhos;

Aos meus pais, Paulo e Ana, pelo carinho e suporte. Amo vocês!

Aos meus avós, Lírio, Neiva e Stefania, exemplos de vida;

A toda a minha família, em especial ao núcleo porto-alegrense: Solange, Elaine, Simone, Tsecha, Zé, Berenice, Pedrinho, Nara, Bru, Dani, Carlos e Flávia;

A Nathália, pelo amor, apoio e bons momentos que vivemos;

Ao meu grande amigo Marcelo Heidemann, aka Marcelo Bolatti, pelo companheirismo e bons momentos vividos durante os vários anos dividindo o lendário apartamento de Marina Silva;

Aos engenheiros Cristian, Jefferson, Irani e Sidnei; e ao multi-instrumentista Charlie, pela amizade e por terem me dado as bases de minha vida profissional;

A Alécio Meurer Esser, Iara Machado Esser e Gabriel Machado Esser pela disponibilidade e cordial recepção na granja da família.

Aos meus amigos, espalhados pelos vários rincões deste planeta. Em especial ao núcleo BET, e ao núcleo porto-alegrense, que acompanhou de perto todo o percurso até aqui;

Àqueles que me apoiaram e não encontraram referência aqui, peço desculpa e fica meu obrigado!

“...Por que escalar o Everest?  
- Porque ele está lá.”  
George H. L. Mallory

BUBICZ, E.N. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS ORIUNDO DA ATIVIDADE SUINÍCOLA PARA CONVERSÃO EM ENERGIA ELÉTRICA**. 2016. 24 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma metodologia para análise de viabilidade econômica da utilização de biogás oriundo da atividade suinícola para conversão em energia elétrica. O modelo proposto por Chen e Hashimoto, 1978, é escolhido para estimar a produção de metano. São levantados os custos de implantação de biodigestores de lagoa coberta e motogeradores em função do número de matrizes e da concentração de sólidos voláteis dos dejetos. Os indicadores valor presente líquido (VPL) e payback simples são usados para avaliação financeira. Os resultados mostraram que os sistemas são viáveis apenas para granjas com 400 ou mais matrizes, com concentrações de sólidos voláteis dos dejetos na faixa de 40 a 80 kg/m<sup>3</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** biogás, biodigestor, valorização de dejetos.

BUBICZ, E.N. **ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF THE UTILIZATION OF SWINE ORIGINATED BIOGAS FOR ELETRIC POWER GENERATION**. 2016. 24 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

## **ABSTRACT**

This work presents a methodology to afford an economic feasibility analysis of the utilization of swine originated biogas for eletric power generation. The mathematical model proposed by Chen and Hashimoto, 1978, is choosen to predict methane generation. The costs for building and operating covered lagoon biodigesters and power generators are evaluated, in the light of the number of sows and concentration of volatile solids in the manure. Financial indicators VPL and payback are used for the economic evaluation. The results have shown that the investment is feasible only for farms with 400 sows or more and a influent volatile solid concentration between 40 and 80 kg/m<sup>3</sup>.

**KEYWORDS:** biogas, biodigester, waste valorization.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$y_v$  – Vazão de metano no biodigestor [ $\text{m}^3\text{CH}_4 \text{ m}^{-3}\text{biodigestor dias}^{-1}$ ]

$\mu_m$  – Taxa de crescimento específico máximo dos microrganismos [ $\text{dias}^{-1}$ ]

$B_0$  – Produção específica última de metano [ $\text{m}^3\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}\text{SV}$ ]

$S_0$  – Concentração de sólidos voláteis do afluente [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

$\theta$  – Tempo de retenção hidráulica [dias]

$K$  – Constante cinética [adimensional]

$T$  – Temperatura da biomassa [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$N$  – Número de animais de referência [animais]

$V_d$  – Produção diária de dejetos [ $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ]

$V_{da}$  – Volume diário de dejetos por animal de referência [ $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}.\text{animal}^{-1}$ ]

$H_{fd}$  – Tempo de funcionamento do motogerador [ $\text{h dia}^{-1}$ ]

$P_{dm}$  – Produção volumétrica diária de metano do biodigestor [ $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ ]

$C_m$  – Consumo de metano de gerador [ $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ ]

## ÍNDICE

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVOS.....	1
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
4.REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
4.1Suinocultura e Dejetos.....	2
4.1.1Características e Produção.....	2
4.2Biogás.....	3
4.2.1Características e Formação.....	3
4.2.2Fatores que Influenciam a Geração de Biogás.....	3
4.3Biogás e Suinocultura.....	3
4.3.1Biodigestores: do Dejeito ao Biogás.....	3
4.3.2Fontes de Retorno do Investimento em Biodigestores.....	4
5.MODELO MATEMÁTICO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	4
5.1Modelo de Chen e Hashimoto (MCH).....	5
6.METODOLOGIA.....	6
6.1Levantamento de dados da granja a ser analisada.....	6
6.1.1Modo de Produção e Número de Animais de Referência.....	6
6.1.2Escolha e Dimensionamento do Biodigestor.....	6
6.1.3Estimativa de Produção de Biogás.....	6
6.1.3.1Produção específica última de metano a partir de dejetos suínos.....	6
6.1.3.2Tempo de Retenção Hidráulica (TRH).....	7
6.1.3.3Temperatura de fermentação do substrato.....	7
6.1.3.4Sólidos Voláteis.....	7
6.2Critérios para Seleção dos Motogeradores.....	8
6.3Custos de Implantação dos Equipamentos.....	8
6.3.1Custo de Construção do Biodigestor.....	8
6.3.2Custo de Aquisição e Instalação dos Motogeradores.....	9
6.4Geração de Receitas.....	9
6.4.1Receita com Biofertilizante.....	9
6.4.2Receita com Geração de Energia Elétrica.....	10
6.5Considerações da Análise Financeira.....	10
7.RESULTADOS E ANÁLISE.....	10
8.CONCLUSÕES.....	14



## 1. INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade econômica de grande relevância no Brasil. Segundo dados do IBGE, 2014, naquele ano o país contava com um plantel de aproximadamente 38 milhões de cabeças de suínos e uma produção estimada em 3,2 milhões de toneladas de carne anuais. Estes números, de acordo com a Associação Brasileira de Criadores de Suínos [ABCS, 2014], fazem do Brasil o quarto maior produtor mundial do gênero, ficando atrás apenas de China, União Europeia e Estados Unidos.

Apesar da importância da atividade no desenvolvimento econômico do país, a grande matriz brasileira traz consigo um passivo ambiental relevante, caracterizado pelos dejetos dos animais. A atividade suinícola é considerada pelos órgãos ambientais como de alto risco e potencial poluidor [ABCS, 2014].

Dentre os impactos ambientais gerados pelo manejo inadequado de resíduos, destacam-se a poluição das águas superficiais e subterrâneas, a presença de micro-organismos causadores de doenças, a alteração das características químicas, físicas e biológicas do solo, a poluição do ar pela emissão de gases (tendo como principais o  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ), o mau cheiro e a proliferação de insetos [Sardá *et alii*, 2010].

Com o avanço das legislações ambientais, medidas têm sido tomadas para que produtores utilizem sistemas adequados de armazenagem e tratamento de dejetos. Estes sistemas não constituem necessariamente passivos econômicos. Graças ao potencial de aproveitamento energético do gás oriundo da biodigestão dos excrementos, o biogás, há possibilidade de geração de valor.

O biogás é composto fundamentalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Possui poder calorífico variando de 20 a 30 MJ por metro cúbico, podendo chegar a 50 MJ por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura [Santos e Nardi Jr., 2013]. O biodigestor de lagoa coberta é o modelo mais comum de manejo aplicado à geração e canalização do biogás. O posterior aproveitamento energético se dá como energia térmica ou pelo uso para geração de energia elétrica. A energia pode ser utilizada para suprir as próprias necessidades da propriedade e/ou para venda.

Para que haja viabilidade de projetos de aproveitamento energético de resíduos, é necessária avaliação da capacidade de produção e utilização do biogás gerado, bem como do impacto dos custos de instalação e retorno financeiro do investimento.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia para análise de viabilidade econômica do aproveitamento de biogás oriundo da suinocultura para conversão em energia elétrica.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Massé *et alii*, 2011, destacam a importância ambiental da utilização de biodigestores para produção de biogás na criação de animais. Esta prática contribui para a redução da emissão de gases do efeito estufa (que ocorreria na fermentação dos dejetos ao ar livre), e reduz os riscos de eutrofização de veios da água e contaminação por patógenos presentes nos dejetos. Além disso, diminui a necessidade de utilização de fertilizantes químicos devido ao biofertilizante subproduto da biodigestão.

Santos e Nardi Jr., 2013, discorrem sobre os benefícios do uso do biogás que, por ser uma opção energética renovável de ótimo rendimento, proporciona o desenvolvimento econômico e a melhoria do setor energético local.

Blanco *et alii*, 2015, verificaram a eficiência do tratamento de dejetos suínos em biodigestores de lagoa coberta localizados em duas granjas no estado de Yucatan, no México. Os resultados de ambos se mostraram satisfatórios, com redução da demanda química de oxigênio em 90% e 78% e remoção de 71% e 62% dos sólidos totais, respectivamente. Dal

Mago *et alii*, 2010, avaliaram 12 biodigestores localizados em granjas suinícolas no estado de Santa Catarina. O estudo concluiu que a eficiência média de remoção de matéria orgânica nos biodigestores foi de 71% para a demanda química de oxigênio, 66% para os sólidos totais e 74% para sólidos voláteis. Nos biodigestores estudados a vazão média de biogás foi de 5,7 m<sup>3</sup>/h.

Brown *et alii*, 2007 e Yiridoe *et alii*, 2009, realizaram estudos de viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir do biogás da suinocultura no estado de Nova Scotia, no Canadá. Ambos os estudos demonstraram não haver viabilidade para granjas pequenas e médias. Os autores chegaram em resultados financeiros favoráveis somente em suinoculturas com 600 ou mais matrizes.

Salomon e Lora, 2009, realizaram um estudo do potencial de geração anual de eletricidade para diversas biomassas disponíveis no Brasil. Os autores estimaram 3,83 MW/ano de potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa suína. Entre as dificuldades em realizar a utilização de todo este potencial, destacam o alto valor de investimento inicial e a falta de programa governamental sério na área.

Souza *et alii*, 2013, avaliaram o custo da eletricidade, em R\$ kWh<sup>-1</sup>, gerada a partir de biogás de granja suinícola localizada em São Miguel do Iguaçu, no Paraná, com cerca de 4672 cabeças confinadas. Os autores chegaram a um valor de 0,12R\$ kWh<sup>-1</sup>, menor do que os 0,14 R\$ kWh<sup>-1</sup> cobrado pela distribuidora de energia elétrica, o que implica em viabilidade econômica para o investimento.

Cirino e Faria, 2013, realizaram estudo de viabilidade econômica de geração de energia elétrica em granja suinícola localizada na cidade de Viçosa, Minas Gerais. A granja é equipada com biodigestor do tipo lagoa coberta e atua no modelo de ciclo completo, abrigando em torno de 15000 animais. Os autores realizaram estudos com cenários variados e todos apresentaram viabilidade financeira. Quinquilo *et alii*, 2015, realizaram estudo semelhante em granja com cerca de 1500 suínos em regime de engorda localizada em Santa Rosa do Sul, Paraná. O trabalho evidencia que o sistema possui viabilidade econômica a partir de quatro horas diárias de operação do motorizador.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Suinocultura e Dejetos

#### 4.1.1 Características e Produção

A quantidade de dejetos produzida é um dado de extrema importância para o correto dimensionamento dos sistemas de manejo e aproveitamento para conversão em biogás.

Os dejetos são constituídos por fezes, urina, restos de ração, água de lavagem e água de bebedouros. A geração de resíduos é afetada por fatores zootécnicos (tamanho, sexo, raça e atividade), ambientais (temperatura e umidade) e dietéticos (digestibilidade, conteúdo de fibra e proteína) [Dartora *et alii*, 1998]. A Tabela 4.1.1.1, adaptada de FEPAM, 2014, apresenta a quantidade média de produção de dejetos líquidos de acordo com o sistema de criação.

Tabela 4.1.1.1- Produção de dejetos [FEPAM,2014].

Tipo de Produção	Unidade de Medida	Volume Diário de Dejetos por Animal (m <sup>3</sup> /dia/animal)
Ciclo Completo – gestação, lactação, creche, engorda e terminação.	Matrizes	0,0571
Produção de Leitões – 61 dias	Matrizes	0,027
Terminação – 110 dias	Cabeças	0,007

## 4.2 Biogás

### 4.2.1 Características e Formação

O biogás é um composto gasoso oriundo do processo de digestão anaeróbia. Possui poder calorífico variando de 20 a 30 MJ por metro cúbico, podendo chegar a 50 MJ por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura [Santos e Nardi Jr., 2013]. A Tabela 4.2.1.1, apresenta seus principais componentes.

Tabela 4.2.1.1- Composição principal do biogás.

Substância	Quantidade (%)
CH <sub>4</sub>	54-80
CO <sub>2</sub>	20-45
H <sub>2</sub> S	Traços-3
N <sub>2</sub>	Traços-3

A formação de biogás ocorre através do processo de digestão anaeróbia. Neste processo, microrganismos que atuam na ausência de oxigênio atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [Fernandes, 2012].

### 4.2.2 Fatores que Influenciam a Geração de Biogás

De acordo com Nishimura, 2009 e Fernandes, 2012, os fatores que mais influenciam o processo de biodigestão anaeróbia são:

**Temperatura:** afeta a atividade metabólica das bactérias anaeróbias. Existem 3 faixas de temperatura associadas ao crescimento bacteriano, a psicrófila (10-20°C), a mesófila (20-45°) e a termófila (45-60°C). O ideal para produção de biogás situa-se entre as faixas mesófila e termófila.

**pH:** interfere no metabolismo e equilíbrio entre as populações de microrganismos e consequentemente no processo de formação de biogás. A faixa ideal se encontra entre 6 e 8 (ph neutro).

**Nutrientes:** Além de uma fonte de carbono orgânico, os microrganismos requerem nitrogênio, potássio, fósforo e enxofre. Uma relação carbono/nitrogênio (C/N) inferior a 8 inibe a atividade bacteriana devido à formação excessiva de amônia. Esta relação em dejetos suínos é próxima a 15.

**Concentração de Sólidos Voláteis:** Os sólidos voláteis (SV) são os compostos orgânicos efetivamente fermentados para produzir o biogás. Se a concentração for baixa, o potencial de geração de biogás é reduzido. Se houver concentração em excesso, pode ocorrer inibição das bactérias por excesso de substrato.

**Tempo de Retenção Hidráulica:** é o tempo que o substrato deve ficar no biodigestor a fim de ser completamente digerido pelo processo anaeróbio. No caso de dejetos suínos este tempo varia de 20 a 50 dias. [FATMA, 2014]

**Presença de Substâncias Tóxicas:** A entrada de antibióticos, inseticidas, desinfetantes e outros produtos no biodigestor compromete a manutenção das bactérias, inibindo assim a produção de biogás.

## 4.3 Biogás e Suinocultura

### 4.3.1 Biodigestores: do Dejeito ao Biogás

Os biodigestores são equipamentos utilizados a fim de promover a fermentação anaeróbia dos dejetos, com coleta e canalização do biogás gerado. O modelo mais comum no Brasil é o de lagoa coberta, devido a seu menor custo e facilidade de operação e manutenção

quando comparado a outros modelos, conforme descrito por Fernandes, 2012 e Kunz *et alii*, 2005. A configuração deste biodigestor é composta pela lagoa de entrada (ou sedimentação) para separação de sólidos grosseiros, pela lagoa do biodigestor em si, onde ocorre a digestão anaeróbia e por fim, pela lagoa secundária, onde o biofertilizante é armazenado até que seja aplicado em pastagens ou lavouras. A Figura 4.3.1.1 apresenta um esquema do biodigestor de lagoa coberta.

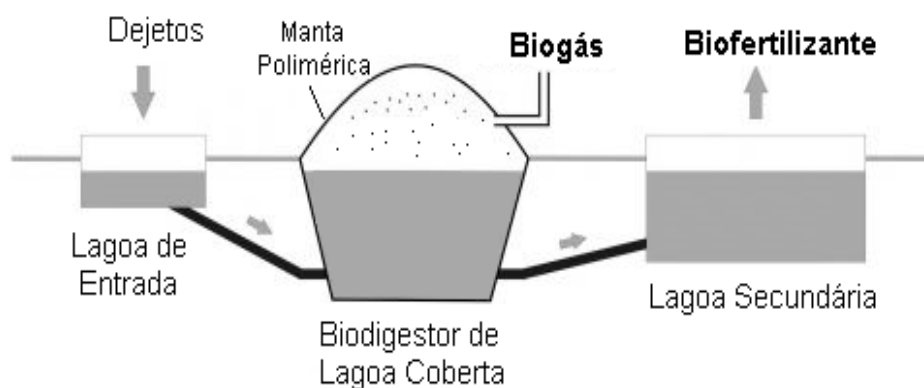


Figura 4.3.1.1: Esquema de um biodigestor de lagoa coberta  
[Adaptado de Novus, 2016].

No biodigestor de lagoa coberta, uma manta polimérica é colocada sobre o reservatório, com o objetivo de reter o biogás. Sobre o solo é utilizada uma geomembrana polimérica a fim de evitar infiltrações e contaminações. Entre as desvantagens, pode-se citar que necessita de maior área para instalação quando comparado a outros biodigestores.

#### 4.3.2 Fontes de Retorno do Investimento em Biodigestores

O biogás produzido a partir dos dejetos tem uma gama variada de aplicações, dependendo da necessidade e disponibilidade de cada produtor. Dentre os usos possíveis, destaca-se o uso como energia térmica, o tratamento e utilização como biometano e a conversão em energia elétrica.

No processo de conversão em energia elétrica, o biogás produzido é utilizado como fonte de energia primária para motogeradores (adaptados para receber biogás como combustível), e nestes, ocorre a conversão. Esta energia pode suprir a demanda da propriedade suinícola, e em caso de excedente de produção, o mesmo pode ser injetado na rede e utilizado como crédito energético.

O subproduto da biodigestão, o biofertilizante, também é responsável por gerar receita. Ele é composto, além de água, por nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades adequadas para adubação de pastagens e plantações. O biofertilizante substitui os fertilizantes comerciais e pode ser utilizado na propriedade da granja, se forem desenvolvidas atividades agrícolas, ou revendido para outros produtores. A economia proveniente deste subproduto é relevante e contabilizada nos estudos de viabilidade.

## 5. MODELO MATEMÁTICO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

A análise financeira de um investimento em biodigestores e motogeradores exige que se estime a quantidade de biogás possível de ser gerada e utilizada. É realizada uma revisão literária a fim de se obter um modelo matemático que quantifique a produção de forma acurada e de fácil aplicação.

Yu *et alii*, 2013 e Husain, 1998, realizaram uma revisão dos modelos matemáticos aplicados à digestão anaeróbia. Dentre os modelos citados, opta-se pelo modelo de Chen e Hashimoto, 1978, pelas seguintes razões:

- Necessidade de apenas 4 parâmetros de entrada (discutidos na seção 5.1);
- Modelo estudado e verificado pelos próprios autores para utilização em suinocultura (Chen, 1983, Hashimoto, 1983 e Hashimoto, 1984);
- Modelo já utilizado em trabalhos voltados especificamente a atividade suinícola brasileira, tais quais: Nishimura, 2009, Oliveira, 2005 e Kunz e Oliveira, 2006.

### 5.1 Modelo de Chen e Hashimoto (MCH)

Chen e Hashimoto, 1978, estudaram a cinética da formação de metano através da fermentação anaeróbia e apresentaram um modelo matemático para determinação da taxa volumétrica de geração de metano,  $y_v$ , em  $m^3CH_4/m^3biodigestor/dia$ , baseado na cinética enzimática, levando em conta o consumo de substrato e a taxa de crescimento dos microrganismos envolvidos:

$$y_v = \frac{B_0 S_0}{\theta} \left( 1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \right) \quad (5.1.1)$$

onde  $\mu_m$  é a taxa de crescimento específico máximo dos microrganismos em  $dias^{-1}$ ,  $B_0$  é a produção específica última de metano em  $m^3CH_4/kg$  Sólidos Voláteis,  $S_0$  é a concentração de sólidos voláteis do afluente em  $kg/m^3$ ,  $\theta$  é o tempo de retenção hidráulica em dias e  $K$  é a constante cinética relativa ao microrganismo e ao substrato, adimensional. Chen, 1983, validou o modelo utilizando dejetos suínos, a partir de dados experimentais próprios e de outros pesquisadores. O desvio padrão encontrado foi de  $\pm 0,092$ .

Hashimoto *et alii*, 1981 apud Hashimoto, 1984, propuseram uma equação empírica para a taxa de crescimento específico dos microrganismos,  $\mu_m$ , em  $dias^{-1}$ :

$$\mu_m = 0,013 T - 0,129 \quad (5.1.2)$$

onde  $T$  é a temperatura de fermentação do substrato em  $^{\circ}C$ , para uma faixa de  $20^{\circ}C$  a  $60^{\circ}C$ .

Chen, 1983, utilizou dados experimentais obtidos por outros autores com dejetos suínos a fim de propor uma equação empírica para a constante cinética,  $K$ , adimensional, do MCH, descrita por:

$$K = 0,6 + 0,0006 e^{0,1185 S_0} \quad (5.1.3)$$

Em resumo, de posse da concentração de sólidos voláteis,  $S_0$ , da temperatura estimada de trabalho do biodigestor,  $T$ , do tempo de retenção hidráulica de projeto,  $\theta$  e da produção específica de metano,  $B_0$ , é possível realizar uma estimativa da produção de metano do biodigestor.

O MCH é construído com base nas seguintes hipóteses e limitações:

- Sistema perfeitamente misturado e sem recirculação de sólidos;
- Regime permanente;
- Taxa de crescimento específico dos microrganismos constante (não leva em conta a energia de manutenção das células);
- Prevê falha por *wash-out* (ocorre quando as bactérias não conseguem crescer a uma taxa maior do que a taxa que elas estão sendo removidas);
- Não prevê falha por inibição de amônia ou ácidos orgânicos de forma direta, porém leva em conta a concentração do substrato através do parâmetro  $K$ .

## 6. METODOLOGIA

Para realizar a análise de investimento o seguinte procedimento é adotado:

- Levantamento de dados da granja a ser analisada, seção 6.1;
  - Modo de produção e número de animais de referência, seção 6.1.1;
  - Dimensionamento do biodigestor, seção 6.1.2;
  - Estimativa de produção de biogás, seção 6.1.3;
- Seleção do motorizador, seção 6.2;
- Levantamento dos custos de implantação dos equipamentos, seção 6.3;
- Estimativa das receitas geradas pelo investimento, seção 6.4;
- Estudo de viabilidade econômica, seção 6.5.

### 6.1 Levantamento de dados da granja a ser analisada

#### 6.1.1 Modo de Produção e Número de Animais de Referência

O sistema de produção da granja afeta na geração diária de dejetos, conforme apresentado na seção 4.1.1. De posse do número de animais de referência e da Tabela 4.1.1.1, a produção diária de dejetos,  $Vd$ , em  $m^3 \cdot dia^{-1}$ , é calculada por:

$$Vd = N Vda \quad (6.1.1.1)$$

em que  $N$  é o número de animais de referência, em matrizes ou cabeças e  $Vda$  é o volume diário de dejetos por animal de referência em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot animal^{-1}$ .

Para os estudos realizados é considerado sistema de produção em ciclo completo, no qual as matrizes são os animais de referência e a produção diária de dejetos é de  $0,0571 m^3 \cdot dia^{-1} \cdot animal^{-1}$ .

#### 6.1.2 Escolha e Dimensionamento do Biodigestor

O critério adotado para escolha do biodigestor pode ser observado na seção 4.3.1.

Conforme recomendações de FATMA, 2014 e Prati, 2010, o dimensionamento da lagoa de entrada, da lagoa do biodigestor e da lagoa secundária é realizado por meio do seguinte equacionamento, onde  $V_i$  é volume da lagoa  $i$  analisada em  $m^3$ :

$$V_i = Vd \theta_i \quad (6.1.2.1)$$

onde  $\theta_i$  = Tempo de retenção hidráulica (TRH) da lagoa analisada em dias.

O TRH da lagoa de entrada é definido como sendo de 1 dia, devido ao fato de esta ser apenas uma lagoa de passagem.

FATMA, 2014, sugere tempos de retenção hidráulica do biodigestor de 20 a 50 dias, a fim de garantir a redução da carga orgânica a níveis legalmente aceitáveis para utilização como biofertilizante. É adotado o valor intermediário de 35 dias como consideração de projeto.

Para a lagoa secundária é definido um TRH de 10 dias como margem de segurança para que o produtor utilize o biofertilizante.

#### 6.1.3 Estimativa de Produção de Biogás

Conforme apresentado no capítulo 5.1, o MCH é utilizado para prever a produção de biogás dos casos analisados. Os valores dos parâmetros de entrada utilizados são descritos a seguir.

##### 6.1.3.1 Produção específica última de metano a partir de dejetos suínos

Estudo experimental realizado por Hashimoto, 1984, utilizando dados próprios e de outros autores, apontou um valor médio de  $B_0$  igual a  $0,48 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ , com um desvio padrão de  $\pm 0,02$ , considerando a alimentação dos suínos a base de milho. A partir destas observações se adota o valor de  $0,48 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$  como referência para a presente análise.

#### 6.1.3.2 Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)

TRH adotado para o biodigestor de 35 dias, conforme apresentado no item 6.1.2.

#### 6.1.3.3 Temperatura de fermentação do substrato

Kunz *et alii*, 2005, desenvolveram um estudo em biodigestor de lagoa coberta localizado na cidade de Concórdia-SC. Durante o período de 29/03/2004 a 10/10/2005 foram realizadas medições da temperatura da biomassa em intervalos de 2 a 3 semanas. O estudo mostra que a temperatura no biodigestor variou de cerca de  $28^\circ\text{C}$  no verão para cerca de  $20^\circ\text{C}$  no inverno. O estudo revela também que, durante as estações do ano, a temperatura da biomassa não sofre grandes flutuações. Este comportamento se deve ao fato dos biodigestores de lagoa coberta serem escavados no solo e revestidos com membrana polimérica, o que proporciona boa inércia térmica.

Com base no observado, adota-se como critério conservador para a análise uma temperatura de fermentação de  $20^\circ\text{C}$ , considerada constante ao longo do período fiscal.

#### 6.1.3.4 Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis, como apresentado na seção 4.2.2, são a fração do dejetos que efetivamente pode ser fermentada e convertida em biogás. A concentração de sólidos voláteis nos dejetos depende principalmente da dieta dos suínos, do sistema de manejo adotado, dos vazamentos de água em bebedouros e da infiltração de águas pluviais nas canaletas de condução. Conforme observado por Oliveira, 2005, em propriedades com elevado desperdício de água e uso frequente de lâmina d'água para remoção de dejetos, a concentração de sólidos voláteis se apresenta na faixa de  $10 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Este valor é adotado como parâmetro inferior deste estudo.

De posse do MCH, mantendo-se os parâmetros de entrada descritos nos itens 6.1.3.1, 6.1.3.2, 6.1.3.3 e variando-se a concentração de sólidos voláteis de  $10 \text{ kg}/\text{m}^3$  até  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$ , obtém-se o comportamento de geração de metano mostrado na Figura 6.1.3.4.1.

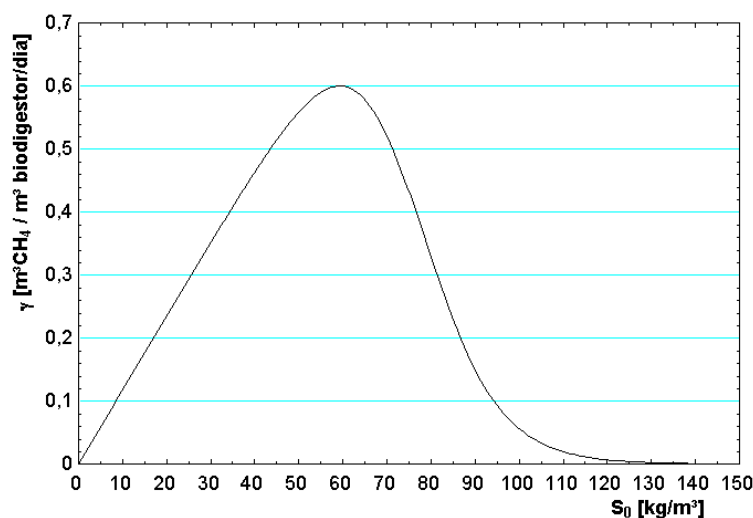


Figura 6.1.3.4.1- Produção de metano em função da concentração de sólidos voláteis.

A partir da análise do gráfico é possível concluir que o pico de geração de metano ocorre em concentrações de 60 kg/m<sup>3</sup> de sólidos voláteis. A queda de produção, que ocorre para concentrações acima de 60 kg/m<sup>3</sup>, é explicada pela inibição das bactérias por excesso de substrato, efeito que se acentua até o cessar da atividade metanogênica, no entorno de 120 kg/m<sup>3</sup>.

As vistas do disposto acima, o estudo financeiro é realizado variando-se a concentração de sólidos voláteis, de 10 a 100 kg/m<sup>3</sup>, em intervalos espaçados de 10.

## 6.2 Critérios para Seleção dos Motogeradores

A escolha do moto gerador é feita a partir do valor calculado de vazão diária de metano produzida pela granja. Para calcular *Hfd*, que corresponde a quantidade de horas por dia que o moto gerador ficará em funcionamento, a seguinte fórmula é utilizada:

$$Hfd = Pdm / Cm \quad (6.2.1)$$

em que *Pdm* é a produção volumétrica diária de metano do biodigestor, em m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> e *Cm* é o consumo de metano do gerador em m<sup>3</sup>/h.

Para o cálculo e seleção, as seguintes considerações são feitas:

Os dados fornecidos pelo fabricante para o consumo de combustível do motor são em termos de vazão de biogás. A fim de permitir uma comparação direta com a saída do MCH, o consumo é convertido para valores de vazão de metano, considerando-se uma composição de 60% de metano no biogás.

A escolha do moto gerador é feita de modo que a sua operação diária não ultrapasse 9 horas. Dessa forma, evita-se a necessidade de turnos noturnos para inspeção do equipamento. Evita-se também, a necessidade de contratação de novos funcionários, pois é possível instruir um empregado já existente para inspecionar o gerador em intervalos regulares de tempo.

Devido a definição de temperatura de fermentação a 20°C e supondo uma granja instalada ao nível do mar, a vazão de metano na saída do biodigestor é considerada em condições normais (Nm<sup>3</sup>).

A Tabela 6.2.1 apresenta os dados dos grupos geradores orçados junto a empresa ER-BR, em outubro de 2016.

Tabela 6.2.1- Modelo, potência e vazão consumida pelos moto geradores [ER-BR, 2016].

Modelo	Potência Efetiva	Consumo Biogás	Consumo Metano
MWM 30 kVA	20 kW	13 Nm <sup>3</sup> /h	8 Nm <sup>3</sup> /h
MWM 50 kVA	32 kW	25 Nm <sup>3</sup> /h	15 Nm <sup>3</sup> /h
MWM 80 kVA	55 kW	41 Nm <sup>3</sup> /h	25 Nm <sup>3</sup> /h
MWM 120 kVA	77 kW	56 Nm <sup>3</sup> /h	34 Nm <sup>3</sup> /h
SCANIA 250 kVA	160 kW	80 Nm <sup>3</sup> /h	48 Nm <sup>3</sup> /h
SCANIA 330 kVA	211 kW	108 Nm <sup>3</sup> /h	65 Nm <sup>3</sup> /h
SCANIA 420 kVA	260 kW	118 Nm <sup>3</sup> /h	71 Nm <sup>3</sup> /h

## 6.3 Custos de Implantação dos Equipamentos

### 6.3.1 Custo de Construção do Biodigestor

Os custos com a construção e operacionalização dos biodigestores de lagoa coberta é baseado em Prati, 2010. Os valores são corrigidos devido a inflação através do índice IGP-M, considerando o período de janeiro de 2010 a outubro de 2016. A Tabela 6.3.1.1 apresenta os valores apreciados.



Tabela 6.3.1.1- Custos de implantação do biodigestor [Adaptado de Prati, 2010].

Unidade	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
Lagoa de Entrada	122,00
Biodigestor	244,00
Lagoa Secundária	7,32

### 6.3.2 Custo de Aquisição e Instalação dos Moto geradores

Os custos referentes a aquisição e operacionalização dos grupos geradores de energia elétrica são apresentados conforme orçamento realizado junto a empresa ER-BR em novembro de 2016. No orçamento estão inclusos os seguintes itens: motogeradores, filtros de gás sulfídrico e painel de proteção elétrica. Também estão inclusos os valores de comissionamento (start-up) e do projeto para inclusão na modalidade de geração distribuída (GD). A Tabela 6.3.2.1 apresenta estes dados.

Tabela 6.3.2.1- Custos relativos aos motogeradores [ER-BR, 2016].

Grupo Gerador		Filtro H <sub>2</sub> S – 1500 p.p.m.	Start-up	Painel Proteção	Projeto GD	Total
Modelo	Preço (R\$)	Preço (R\$)	Preço (R\$)	Preço (R\$)	Preço (R\$)	Preço (R\$)
MWM 30 kVA	116.527,00	11.700,00	8.700,00	53.700,00	25.000,00	215.627,00
MWM 50 kVA	119.517,00	11.700,00	8.700,00	53.700,00	25.000,00	218.617,00
MWM 80 kVA	142.997,00	17.700,00	8.700,00	53.700,00	25.000,00	248.097,00
MWM 120 kVA	165.527,00	17.700,00	10.700,00	53.700,00	25.000,00	272.627,00
SCANIA 250 kVA	350.147,00	25.700,00	12.700,00	63.700,00	25.000,00	477.247,00
SCANIA 330 kVA	425.757,00	25.700,00	12.700,00	63.700,00	25.000,00	552.857,00
SCANIA 420 kVA	537.700,00	25.700,00	12.700,00	63.700,00	25.000,00	664.800,00

## 6.4 Geração de Receitas

### 6.4.1 Receita com Biofertilizante

A Tabela 6.4.1.1 apresenta a concentração dos nutrientes utilizados para adubação que estão presentes no biofertilizante, de acordo com Vendrame, 2015. O valor comercial destes nutrientes também é apresentado na Tabela 6.4.1.1, com base no trabalho de Refosco, 2011, e corrigido pela inflação através do índice IGP-M para o período de janeiro de 2011 a outubro de 2016.

Tabela 6.4.1.1- Receitas com biofertilizante [Adaptado de Vendrame,2015 e Refosco, 2011].

Nutriente	Concentração (kg/m <sup>3</sup> )	Preço (R\$/kg)
Nitrogênio (N)	1,305	2,05
Fósforo (P)	0,083	2,56
Potássio (K)	2,100	1,75

#### 6.4.2 Receita com Geração de Energia Elétrica

Para avaliar a receita com energia elétrica, a quantidade fornecida pelos geradores, em kW.h, é multiplicada pelo valor de R\$ 0,353220/kWh cobrado pela Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul, CEEE, para clientes rurais do grupo B, vigente em novembro de 2016. É adotado como critério o valor da tarifa em regime de bandeira amarela dos reservatórios. Para fins de simplificação são desconsiderados os impostos e o custo de disponibilidade.

O cálculo considera que o produtor aderiu ao sistema de compensação de energia elétrica (também conhecido como programa de geração distribuída), e que toda a sua produção é utilizada no abatimento do valor da fatura da distribuidora. Caso a geração seja maior que o consumo da unidade produtora, o sistema de compensação de energia permite, desde que previsto na implantação do projeto, a utilização dos créditos em autoconsumo remoto (propriedades do mesmo dono localizadas em endereço diferente) ou em geração compartilhada (consórcio ou cooperativa de consumidores que podem usufruir dos créditos gerados).

#### 6.5 Considerações da Análise Financeira

As seguintes premissas são adotadas para a análise financeira:

- Taxa mínima de atratividade (TMA): 10,0% a.a. Baseada na taxa média de retorno de aplicações no tesouro direto.
- Valor financiável: 100,0%. Com juros de 8,5 % a.a., de acordo com o programa “Agricultura de Baixa Emissão de Carbono” do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).
- Vida útil dos equipamentos: 10 anos. Valor baseado nos dados de Montoro *et alii*, 2014.
- Período de pagamento do financiamento: 10 anos, a fim de que o pagamento do empréstimo não ultrapasse a vida útil considerada dos equipamentos.
- Depreciação: 10,0% a.a. Depreciação linear, considerando equipamentos desprovidos de valor ao fim de sua vida útil.
- Custos com operação e manutenção: 4,0% a.a. do valor total do investimento. Baseado em Pratti, 2010 e Quinquiollo *et alii*, 2015.
- Utilização dos indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback* simples para análise de viabilidade. A taxa de desconto do VPL considerada é de 10% a.a.

## 7. RESULTADOS E ANÁLISE

A metodologia apresentada no capítulo 6 é utilizada para realização do estudo de análise de investimento. Os estudos são conduzidos em granjas de ciclo completo, variando o número de matrizes de 100 a 500, em intervalos de 100.

Os custos calculados para implantação dos biodigestores são mostrados na Tabela 7.1:

Tabela 7.1- Custos com implantação do sistema de biodigestão.

Número de Matrizes	Custo Lagoa Entrada (R\$)	Custo Biodigestor (R\$)	Custo Lagoa Secundária (R\$)	Custo Total Biodigestão (R\$)
100	732,00	48.800,00	424,60	49.957,00
200	1.464,00	97.600,00	841,80	99.906,00
300	2.196,00	146.400,00	1.259,00	149.856,00
400	2.806,00	195.200,00	1.676,30	199.683,00
500	3.538,00	244.000,00	2.093,50	249.632,00

A produção diária de metano em função da concentração de sólidos voláteis ( $S_0$ ) é apresentada na Figura 7.1. A  $S_0$  impacta na geração de metano conforme discutido na seção 6.1.3.4

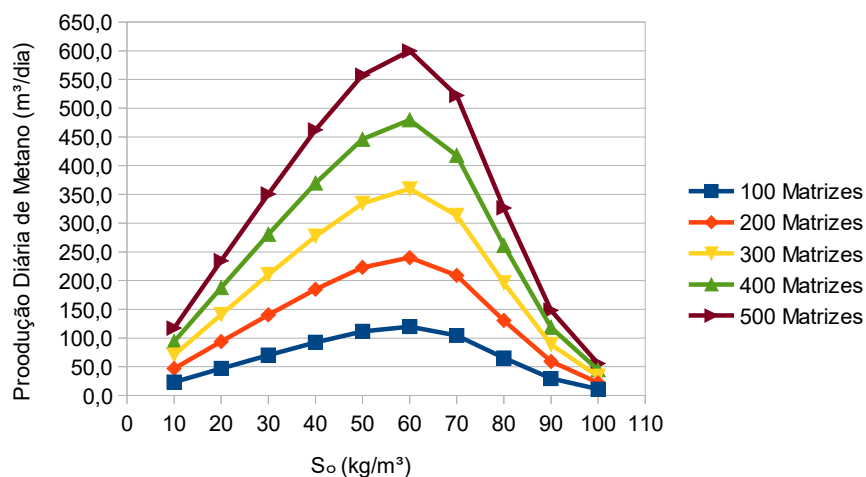


Figura 7.1- Vazão diária de metano em função da concentração de sólidos voláteis e do número de matrizes.

A partir das vazões diárias calculadas é possível selecionar os motogeradores. Os custos de implantação (incluindo os custos de comissionamento e projetos elétricos) são apresentados na Figura 7.2.

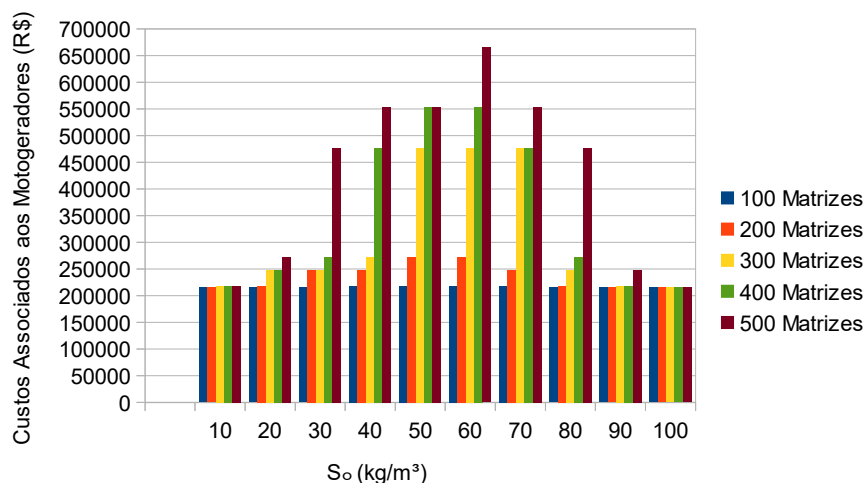


Figura 7.2- Custos relacionados aos motogeradores em função da concentração de sólidos voláteis e número de matrizes.

Da análise dos custos é possível notar que a maior parcela dos gastos reside na aquisição dos grupos motogeradores. Alternativas para diluição deste custo podem ser propostas por meio de cooperativas, onde interessados no excedente elétrico entrariam com uma participação na compra. O frigorífico que adquire os animais da granja, por exemplo, poderia ser um parceiro na implantação do sistema.

As receitas com biofertilizantes são consideradas independentes dos sólidos voláteis e estão listadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2- Receitas obtidas com utilização do biofertilizante.

Matrizes	Receita com Biofertilizante (R\$/ano)
100	13490,30
200	26980,70
300	40471,00
400	53961,40
500	67451,70

As receitas provenientes da economia com energia elétrica são apresentadas em função dos sólidos voláteis, na Figura 7.3.

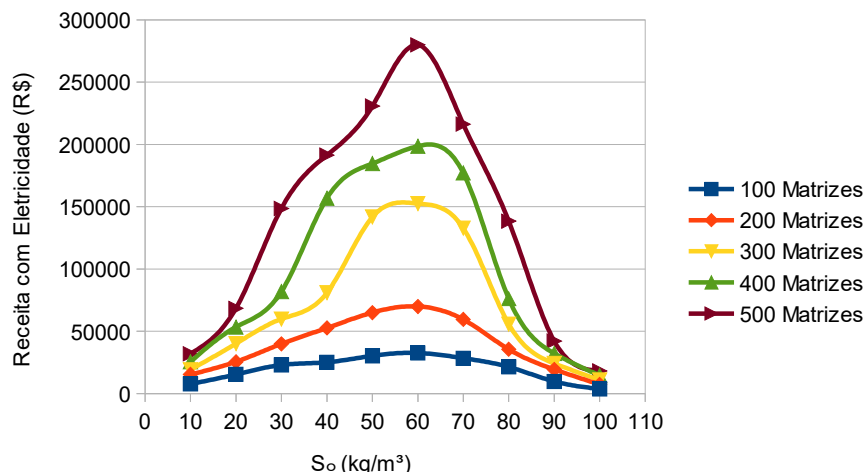


Figura 7.3- Economia com energia elétrica em função da concentração de sólidos voláteis e número de matrizes.

É possível notar na Figura 7.3 um salto na receita com energia elétrica para granjas com 300 matrizes ou mais e concentrações de sólidos voláteis entre 30 e 70 kg/m<sup>3</sup>. Este fato é explicado pela maior produção diária de metano para granjas nesta faixa, conforme observado na Figura 7.1, o que permite a utilização de geradores com maior potência. Porém, cabe ressaltar que a maior potência do equipamento implica em um valor de investimento inicial maior, o que gera impacto na análise financeira.

A partir das despesas e receitas calculadas, considerando financiamento total do projeto e pagamento de acordo com o descrito no item 6.5, a Figura 7.4 apresenta os resultados encontrados para o valor presente líquido (VPL) em função da concentração de sólidos voláteis.

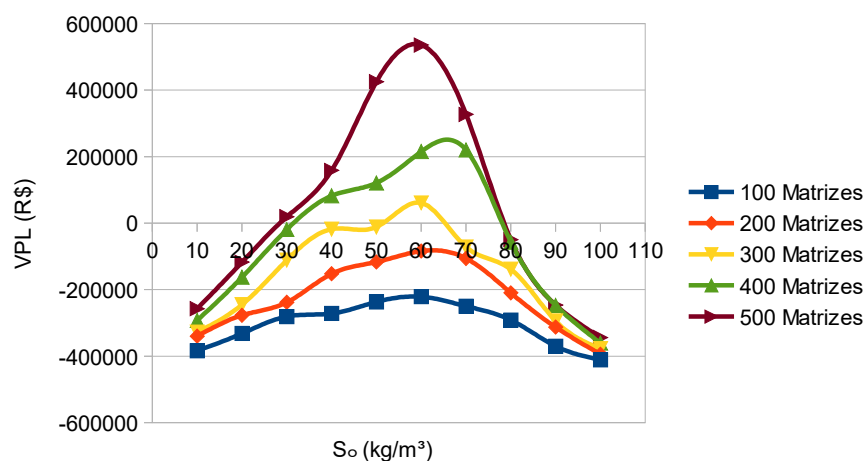


Figura 7.4- VPL em função da concentração de sólidos voláteis e do número de matrizes.

A Figura 7.4 mostra que para granjas com 400 ou mais matrizes o VPL é positivo em concentrações de sólidos voláteis entre 30 e 80 kg/m<sup>3</sup>. A Figura 7.5 traz os valores, em anos, de payback simples calculados para estes parâmetros.

Para granjas com 300 matrizes o VPL só retornou resultado positivo com concentração ótima de 60 kg/m<sup>3</sup> de SV. Por ser um espectro pequeno, a referida granja não é incluída nos cálculos de payback.

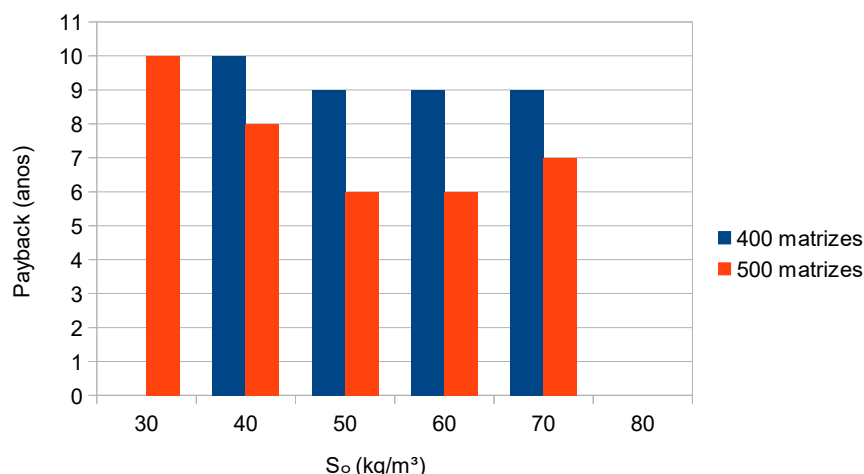


Figura 7.5- Payback em função da concentração de sólidos voláteis e do número de matrizes.

Os valores de payback nulos apresentados na Figura 7.5 indicam que o projeto não retornou o valor de investimento inicial durante a vida útil dos equipamentos (10 anos).

## 8. CONCLUSÕES

Para produtores em ciclo completo com um número de matrizes menor que 400, o investimento em biodigestão e aproveitamento do biogás para conversão em energia elétrica é inviável financeiramente. Este resultado leva a uma reflexão a respeito do interesse do Estado em diversificar sua matriz energética. Todo biogás gerado por fermentação natural e lançado a atmosfera pode ser entendido como energia renovável sendo desperdiçada. A viabilidade para tais investimentos pode partir de políticas públicas, com incentivos fiscais ao produtor que aderir ao sistema.

A viabilidade financeira só é possível para granjas de ciclo completo com no mínimo 400 matrizes e concentrações de sólidos voláteis entre 40 e 80 kg/m<sup>3</sup>. Este resultado se apresenta mais favorável do que o calculado por Brown *et alii*, 2007 e Yiridoe *et alii*, 2009, onde os autores chegaram a um número de 600 matrizes como mínimo para viabilidade. Os autores porém, usaram um valor tabelado para geração de biogás, não levando em conta variações nas concentrações de sólidos voláteis. Em uma situação de investimento real, testes laboratoriais devem ser conduzidos a fim de determinar a faixa de operação de sólidos voláteis da propriedade estudada. Uma solução possível de ser avaliada para correção de sólidos voláteis é a mistura de outros substratos orgânicos aos dejetos.

Como continuação do trabalho sugere-se:

- Estudo de viabilidade com utilização do biogás para outros fins, como conversão em energia térmica, por exemplo;
- Realizar estudos de sensibilidade das variáveis e levantar a análise financeira levando em conta diferentes temperaturas ao longo das estações do ano;
- Estudar a mistura de outros substratos aos dejetos e o impacto na geração de biogás e na viabilidade econômica e,
- Realizar a análise financeira considerando vários produtores com biodigestores em suas propriedades canalizando biogás para uma única central de conversão em energia elétrica (condomínios agroenergéticos).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de criadores de Suínos, ABCS; “**Produção de Suínos: Teoria e Prática**”; ABCS, 1ª edição, 2014.

Blanco, D.; Suárez, J.; Jiménez, J.; González, F.; Álvarez, L.M.; Cabeza, E.; Verde, J.; **“Eficiencia del Tratamiento de Residuales Porcinos em Digestores de Laguna Tapada”**, Pastos y Forrajes, vol. 38, p. 441-447, 2015.

Brown, B.B.; Yiridoe, E.K.; Gordon, R.; **“Impact of Single Versus Multiple Policy Options on the Economic Feasibility of Biogas Energy Production: Swine and Dairy Operations in Nova Scotia”**, Energy Policy, vol. 35, p. 4597-4610, 2007.

Chen, Y.R., Hashimoto, A.G.; **“Kinetics of Methane Fermentation”**, Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conservation, Anais, 1978.

Chen, Y.R.; **“Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig Manure and its Design Implications”**, Agricultural Wastes, vol. 8, p. 65-81, 1983.

Cirino, J.F.; de Faria, L.V.P.; **“Biodigestor para Geração de Energia Elétrica a partir da Suinocultura: Análise de Viabilidade para um Sítio em Coimbra – MG”**, Revista de Ciências Humanas, vol. 13, p. 421-440, 2013.

Dartora, V.; Perdomo, C.C.; Tumelero, I.V.; **“Manejo de Dejetos Suínos”**, Boletim Informativo de Pesquisa – Embrapa Suínos e Aves e Extensão, vol. 11, 1998.

Dal Mago, A.; Araújo, I.S.; Belli Filho, P.; de Oliveira, P.A.V.; **“Caracterização do Biogás e do Afluente em Biodigestores da Atividade Suinícola em Santa Catarina”**, X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, 2010.

ER-BR, Orçamento realizado por meio de mensagem eletrônica, outubro de 2016.

Fernandes, D.M.; **“Biomassa e Biogás na Suinocultura”**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul, **“Critérios Técnicos para o Licenciamento Ambiental de Novos Empreendimentos Destinados à Suinocultura”**, FEPAM, 2014.

FATMA, Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina, **“Instrução Normativa Nº 11”**, FATMA, 2014.

Hashimoto, A.G.; **“Methane from Swine Manure: Effect of Temperature and Influent Substrate Concentration on Kinetic Parameter (K)”**, Agricultural Wastes, vol. 9, p. 299-308, 1984.

Hashimoto, A.G.; **“Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Fermentation of Swine Manure”**, Agricultural Wastes, vol. 6, p. 175-191, 1983.

Husain, A.; **“Mathematical Models of The Kinetics of Anaerobic Digestion – A Selected Review”**, Biomass and Bioenergy, vol. 14, p. 561-571, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, **“Séries Históricas e Estatísticas”**, <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PPM01&t=efetivo-rebanhos-tipo-rebanho>, acessado em outubro de 2016.

Kunz, A., de Oliveira, P.A.V.; Higarashi, M.M.; **“Biodigestor para o Tratamento de Dejetos de Suínos: Influência da Temperatura Ambiente”**, Comunicado Técnico, vol. 416, p. 1-5, 2005.

Kunz, A.; de Oliveira, P.A.V.; **“Aproveitamento de Dejetos de Animais para Geração de Biogás”**, Revista da Política Agrícola, vol. 3, p. 28-35, 2006.

Massé, D.I.; Talbot, G.; Gilbert, Y.; **“On Farm Biogas Production: A Method to Reduce GHG Emissions and Develop More Sustainable Livestock Operations”**, Animal Feed Science and Technology, vol. 166-167, p. 436-445, 2011.

Montoro, S.B.; Lucas Jr., J.de L.; Santos, D.F.L.; **“Sustentabilidade Energética e Ambiental: Viabilidade Econômica da Implantação de Biodigestores Anaeróbios para Tratamento de Dejetos Bovinos”**, XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Anais, 2014.

Nishimura, R.; **“Análise de Balanço Energético de Sistema de Produção de Biogás em Granja de Suínos: Implementação de Aplicativo Computacional”**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.

Novus, **“Notas Técnicas: Biodigestores e Créditos de Carbono”**, <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=053663&SecaID=273506>, acessado em novembro de 2016.

Oliveira, P.A.V.; **“Projeto de Biodigestor e Estimativa da Produção de Biogás em Sistema de Produção”**, Comunicado Técnico, vol. 417, p. 1-8, 2005.

Prati, L.; **“Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás Gerado por Biodigestores”**, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010.

Quinquilo, P.F.; Giza, F.J.; Kolling, E.M.; Filippini, G.; **“Análise de Custos de Implantação de um Motogerador Movido a Biogás – Estudo de Caso”**, XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Anais, 2015.

Refosco, D.; **“Utilização de Resíduos da Suinocultura para Produção de Energia Através do Biogás e Fertilizantes Orgânicos. Estudo de Caso: Granja Marmentini – Dois Vizinhos – PR.”**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Engenharia do Paraná, 2011.

Salomon, K.R.; Lora, E.E.S.; **“Estimate of the Electric Energy Generating Potential for Different Sources of Biogas in Brazil”**, Biomass and Bioenergy, vol. 33, p. 1101-1107, 2009.

Santos, E.L.B.; de Nardi Jr., G.; **“Produção de Biogás a partir de Dejetos de Origem Animal”**, Tekhne e Logos, vol. 4, p. 80-90, 2013.

Sardá, L.G.; Higarashi, M.M.; Muller, S.; Oliveira, P.A.; Comin, J.J.; **“Redução da Emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S Através da Compostagem de Dejetos Suínos”**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, p. 1008-1013, 2010.



Souza, S.N.M.; Werncke, I.; Marques, C.A.; Baricatti, R.A.; Santos, R.F.; Nogueira, C.E.C.; Bassegio, D.; **“Electric Energy Micro-Production in a Rural Property Using Biogas as Primary Source”**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 28, p. 385-391, 2013.

Vendrame, M.G.; **“Produção Descentralizada de Biogás: Experiências com Arranjos em Condomínios Rurais”**, Biogás Energias Renováveis, 2015.

Yiridoe, E.K.; Gordon, R.; Brown, B.B.; **“Nonmarket Cobenefits and Economic Feasibility of On-Farm Biogas Energy Production”**, Energy Policy, vol. 37, p. 1170-1179, 2009.

Yu, L.; Wensel, P.C.; Ma, J.; Chen, S.; **“Mathematical Modeling in Anaerobic Digestion (AD)”**, Bioremediation & Biodegradation, vol. S4, p. 1-12, 2013.