

Eliana Walker

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA UTILIZAÇÃO DE
BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Modelagem Matemática

Orientador: Professor Dr. Gideon Villar Leandro

Co-orientador: Professor Dr. Robinson Figueiredo de Camargo

IJUÍ-RS, NOVEMBRO 2009

2009

UNIJUÍ - UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL

DeFEM – DEPARTAMENTO DE FÍSICA, ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA
DeTEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA
COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM
PROPRIEDADES RURAIS

Elaborada por

Eliana Walker

Como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Modelagem matemática

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Vicente Celestino Pires Silveira

Prof. Dr. Pedro Borges

Prof. Dr Gideon Villar Leandro

Ijuí, RS, novembro de 2009

RESUMO

As pesquisas para utilização das fontes renováveis de energia estão merecendo cada vez mais atenção na busca de soluções para os problemas gerados pelo mundo moderno. Entre esses problemas, a crise energética traz preocupações tanto pelo fato de que muitas pessoas, principalmente nas áreas rurais, ainda não são beneficiadas pelos recursos energéticos disponíveis, quanto pela deficiência crescente verificada no atendimento da demanda cada vez maior. Este fenômeno por si só é suficiente para justificar a necessidade de se buscarem novas fontes. A biomassa teve grande destaque nos últimos anos, principalmente por reaproveitar matéria orgânica disponível na natureza ou produzida em locais específicos. Um exemplo concreto é o uso de dejetos de suínos para a produção do biogás. Neste caso, é utilizado um processo biológico para a formação de biogás através de um biodigestor. Para o estudo da viabilidade econômica da instalação de biodigestor contínuo foi desenvolvido um modelo matemático, utilizando-se do ferramental da pesquisa operacional. Os resultados foram obtidos através do software Matlab[®] e Excel e que levam em consideração receitas (a energia produzida pela propriedade, o valor de mercado da energia, ...) e custos (o custo para a construção das instalações dos suínos, o custo da construção das lagoas, ...). Os dados foram processados com variação da taxa mínima de atratividade, o número de suínos, o uso do biofertilizante, o uso do biogás, e a taxa de juros. As variáveis de rentabilidade calculadas são representadas através do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e do período de recuperação do capital. Este estudo mostrou que há aumento na lucratividade quando da utilização do biofertilizante, sendo ainda a atividade lucrativa sem a sua utilização. Assim percebe-se que a atividade da suinocultura acoplada com biodigestores traz bons resultados para a sociedade como diminuição de poluição e proporcionando lucros financeiros e qualidade de vida para os produtores.

Palavras chave: Biodigestor, Suínos, Propriedades Rurais, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The researches for uses of renewable energy are increasingly deserve attention aiming to find solutions to the modern world problems. Among these problems, the energy crisis brings concerns both for the fact that many people, especially in rural areas, are not benefited by the available energy resources, as verified by the deficiency in the growing service demand. This phenomenon alone is enough to justify the need to seek new sources. Biomass had great prominence in recent years, primarily by reusing organic material available in nature or produced in specific locations. A concrete example is the use of pig slurry for the production of biogas. By using pig manure, biogas is produced in a biodigester through a biological process. To study the economic feasibility of installing continuous digester was developed a mathematical model, using the tools employed in operations research. The results were obtained using Matlab ® and Excel software and taking into account revenue (the energy produced by the property, the value of the energy market, ...) and costs (the cost for the construction of pigs facilities, the cost of construction of ponds, ...). The data were processed with a variation of the minimum rate of attractiveness, the number of pigs, the use of biofertilizer, the use of biogas, and the interest rate. The estimated cost variables are represented by the net present value, the internal rate of return and payback period of capital. This study showed that higher profitability is when the use of biofertilizer, is still profitable business without their use. Thus it is observed that the activity of digesters coupled with pigs brings good results for society as reduced pollution and providing financial benefits and quality of life for producers.

Keywords: Biodigester, Pigs, Rural Properties, Economic Feasibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração de energia elétrica - autoprodução	26
Figura 2: Processo de conversão energética da biomassa	31
Figura 3: Biodigestor de produção contínua.....	52
Figura 4: Biodigestor modelo canadense.....	53
Figura 5: Biodigestor modelo chinês.....	53
Figura 6: Biodigestor modelo indiano	54
Figura 7: Valor do VPL considerando número de suínos e o uso ou não do biofertilizante.....	81
Figura 8: Gráfico comparativo do uso total e parcial do biogás considerando variação do número de suínos	83
Figura 9: Cálculo do VPL para diferentes taxas mínimas de atratividade	85
Figura 10: Cálculo da TIR variando a taxa mínima de atratividade e o número de suínos	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição do rebanho suíno Brasileiro	35
Tabela 2: Evolução do rebanho suíno no Rio Grande do Sul.....	35
Tabela 3: Relação de consumo de biogás em equipamentos.....	44
Tabela 4: Parâmetros para construção de cenários	79
Tabela 5: Cenário considerando o uso do biofertilizante ou não para $k=0,06$	80
Tabela 6: Cenário considerando o uso do biofertilizante ou não para $k=0,06$	80
Tabela 7: Cenário considerando o uso do biofertilizante ou não para $k=0,06$	80
Tabela 8: Cenário considerando o uso total ou parcial (70%) do biogás para $k=0,06$	82
Tabela 9: Cenário considerando o uso total ou parcial (70%) do biogás para $k=0,06$	82
Tabela 10: Cenário considerando o uso total ou parcial (70%) do biogás para $k=0,06$..	83
Tabela 11: Cenário considerando o valor total dos juros (vtj) e o valor total das prestações (vtp) para $x=1000, 3000$ e 5000 suínos e taxa de juros de $6,5\%$	84
Tabela 12: Cenário considerando o valor total dos juros (vtj) e o valor total das prestações (vtp) para $x=1000, 3000$ e 5000 suínos e taxa de juros de 12%	84

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Artigo apresentado no COBEM 2009.....	94
Anexo B: Artigo apresentado no CNMAC 2009	101

NOTAÇÃO E SIMBOLOGIA

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
α	Alfa
A_{bio}	Área de instalação do biodigestor
ACSURS	Associação de Criadores de Suínos do Rio Grande do Sul
A_{disp}	Área disponível na propriedade para a instalação do sistema de biodigestão e criação de suínos
A_{inst}	Área ocupada pelas instalações dos suínos
A_{lag}	Área ocupada pelas lagoas
ANNEEL	Agência nacional de energia elétrica
b_j	Quantidade disponível dos recursos
B_{mo}	Biodegradabilidade da matéria orgânica
C	Capital
C2	Fluxo econômico total
C_a	Custo de alimentação por suíno
C_{bio}	Custo do biodigestor
C_{gal}	Custo do galpão
C_{ger}	Custo do gerador
CH_4	Gás metano
C_{lag}	Custo das lagoas
C_{man}	Custo de manutenção
C_{mbio}	Custo de manutenção do biodigestor

C_{mgal}	Custo de manutenção do galpão
C_{mger}	Custo de manutenção do gerador
C_{mlag}	Custo de manutenção das lagoas
CO_2	Dióxido de carbono
C_r	Cromo
CT	Custos totais
C_u	Cobre
C_v	Cara volumétrica aceitável
DBO	Carga orgânica
DQO	Demanda química de oxigênio
E_{bee}	Conversão do biogás em energia elétrica
E_{cb}	Eficiência de conversão no biodigestor
E_p	Energia produzida
E_s	Espaço por suíno
$f(x)$	Função objetivo
FE	Fluxo econômico
FE_j	Fluxo econômico de projeto por período
G_e	Gasto com energia
$g_j(x)$	Funções utilizadas nas restrições do problema
GLP	Gás liquefeito de petróleo
G_s	Ganho por suíno
H_2S	Gás sulfídrico
ha	Hectare
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
I_g	Custo do metro da instalação por cabeça de suíno por metro
II	Investimento inicial
$J(t)$	Juros em função do tempo
k	Taxa mínima de atratividade
Kg	Quilograma
L	Gasto com troca das lonas
L1	Primeira lagoa
m^2	Metro quadrado
m^3/dia	Metro cúbico por dia
m_e	Meses

M_g	Magnésio
MW	Megawatt
N	Nitrogênio
N_{acl}	Cloreto de sódio
N_{cabpc}	Número de cabeças de suínos
N_f	Número de funcionários
NH_3	Amônia
N_i	Níquel
P_i	Gasto com pintura das instalações
P	Fósforo
P_c	Valor da energia por Kw
PCH	Pequenas centrais hidrelétricas
PERT/COM	Tópico da pesquisa operacional
PL	Programação linear
PRK	Período de recuperação do capital
PVC	Cloreto de polivinila
Q	Vazão do afluente
r	Taxa de juros por período
$R_{biofertilizante}$	Receita do biofertilizante
$R_{biogás}$	Receita do biogás
RDF	Combustível derivado de refugo
RL	Receita líquida
RT	Receita total
$R_{vendasui}$	Receita da venda dos suínos
S_f	Salário dos funcionários
S_o	DBO do afluente
SO_2	Enxofre
T	Total de horas analisado
t	Tempo em anos
TB	Tamanho do biodigestor
T_i	Tamanho das instalações
TIR	Taxa interna de retorno
TRH	Tempo de retenção hidráulica

trhl	Tempo de retenção hidráulica aumentada
V	Volume total das lagoas
V1	Volume da lagoa 1
V2	Volume da lagoa 2
V _d	Volume de dejetos produzido por suíno
V _{dd}	Volume de dejetos por dia
VPL	Valor presente líquido
VTJ	Valor total dos juros
VTP	Valor total das prestações
x	Número de suínos
x _j	Variável de decisão

SUMÁRIO

1	Considerações iniciais	14
2	Desenvolvimento sustentável e energias renováveis.....	17
2.1	Energia solar	19
2.2	Energia eólica	21
2.3	Pequenas centrais hidrelétricas.....	21
2.4	Energia da Biomassa.....	22
3	Obtenção de energia da biomassa de dejetos de suínos.....	24
3.1	Biomassa	24
3.1.1	Utilização da biomassa	24
3.1.2	Propriedades rurais e a biomassa	28
3.1.3	Aproveitamento da biomassa.....	30
3.2	Suinocultura	34
3.2.1	Suinocultura e o ambiente.....	36
3.3	Biogás	41
3.3.1	Características do biogás.....	44
3.3.2	Utilização do biogás.....	45
3.3.3	Formação do biogás	46
3.4	Biodigestor.....	49
3.4.1	Tipos de biodigestor.....	52
3.4.1.1	Biodigestor modelo canadense	52
3.4.1.2	Biodigestor modelo chinês.....	53
3.4.1.3	Biodigestor modelo indiano.....	53
3.4.1	Biofertilizante	54

4 Ferramental utilizado no modelo matemático	56
4.1 Modelo matemático	56
4.2 Pesquisa operacional	57
4.3 Modelagem matemática	58
4.4 Programação linear	60
4.4.1 Programação linear inteira	61
4.5 Análise econômica	62
5 Descrição do modelo matemático proposto	64
5.1 Modelo proposto	64
5.2 Restrições do modelo	66
5.2.1 Restrição a respeito do tipo de variáveis	66
5.2.2 Restrição a respeito da geração de energia	67
5.2.3 Restrição a respeito do custo de manutenção	67
5.2.4 Restrição a respeito da área utilizada	68
5.2.5 Restrição a respeito do capital inicial investido	69
5.3 Análise de rentabilidade	70
5.4 Dimensionamento das instalações dos suínos	73
5.5 Dimensionamento das lagoas	73
5.6 Dimensionamento do biodigestor	74
5.7 Determinação do volume do biogás produzido por dia	76
9 Resultados e discussões	78
10 Considerações finais	87
11 Referências bibliográficas	89
12 Anexos	93

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A energia elétrica é indispensável para a evolução do modo de vida do ser humano, possibilitando alternativas de atendimento às suas necessidades e para a adaptação ao ambiente em que vive. Devido à escassez ou à dificuldade de obtenção de um dado recurso energético, o ser humano está sempre em busca de outros meios para obter a energia elétrica que necessita. A evolução do mundo, após o uso da energia elétrica foi surpreendente, de tal forma que essa energia passou a ser um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico para muitos países e regiões.

Se, por um lado, a energia elétrica ocupa papel fundamental na vida moderna, dinamizando o desenvolvimento da sociedade em todos os setores econômicos (primário, secundário e terciário), por outro, os programas de expansão, levando energia aos lugares mais longínquos, proporcionou uma grande melhora na qualidade de vida no meio rural.

A crise energética provocada pelo aumento vertiginoso da demanda de energia, passou a desafiar os pesquisadores a encontrar fontes alternativas que pudessem suprir satisfatoriamente a defasagem. Entre os resultados destacam-se as fontes chamadas de energias renováveis, tais como a energia solar, a energia eólica, a biomassa, entre outras. Dentre essas, a biomassa teve grande destaque nos últimos anos, principalmente por reaproveitar matéria orgânica disponível na natureza ou produzida em locais específicos. Um exemplo concreto é o uso de dejetos de suínos para a produção do biogás. Há projeções, com base em levantamentos feitos em vários países, mencionando que a construção de biodigestores poderá promover com sucesso a auto-sustentabilidade de propriedades rurais e de pequenos condomínios residenciais no futuro.

A utilização da suinocultura como fonte de renda tem sido cada vez mais explorada, pois os dejetos que antes eram vistos somente como poluidores do ambiente, hoje vêm sendo utilizadas como fonte de energia limpa através de um equipamento chamado biodigestor. Souza et al. (2004), determinou o custo e viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do biogás em uma propriedade rural utilizando como equipamentos de conversão de biogás em eletricidade um motor de combustão acoplado a um gerador elétrico, as variáveis econômicas utilizadas nos cálculos foram; o fator de recuperação de capital, tempo de retorno. Zachow (2000) faz uma revisão bibliográfica a respeito da produção do biogás dissertando sobre o que é e como se forma o biogás, os sistemas de digestão, a história do biogás e suas características. Bipers (1998) trata os principais assuntos relacionados ao emprego de dejetos suínos como fertilizante orgânico, tratamento e o uso de leito de cama como alternativa para o manejo de dejetos suínos. Coldebella (2006), avalia a viabilidade econômica do uso do biogás proveniente das atividades de bovinocultura de leite e suinocultura em propriedades rurais. O estudo foi baseado em duas propriedades no município de Toledo-PR, uma com as atividades voltadas para bovinocultura de leite com 130 cabeças em regime de confinamento e outra com as atividades voltadas a suinocultura trabalhando com uma unidade produtora de leitões com um plantel de 1000 matrizes. Para o cálculo da viabilidade econômica, o autor considera a energia elétrica produzida e o uso de biofertilizante. Lindemeyer (2008) em seu trabalho faz uma análise econômica do uso do biogás como fonte de energia elétrica em uma propriedade produtora de suínos localizada em Concórdia-SC, e para obter resultados utiliza o programa Excel. O autor considera os investimentos e as receitas obtidas no projeto para o cálculo da viabilidade econômica.

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo matemático para o estudo da viabilidade econômica da utilização de biogás para a produção de energia elétrica em propriedades rurais que trabalham com criação de suínos em terminação. O modelo desenvolvido foi baseado nas teorias de programação linear considerando que a função objetivo seja dada pelo Valor Presente Líquido. Os resultados foram obtidos através do software Matlab[®] e Excel, para a validação do modelo foram realizadas simulações com dados encontrados na literatura, assim como foi feito um estudo de caso que utiliza dados coletados em uma propriedade no município de Ibirubá.

O trabalho é estruturado em etapas apresentando, no primeiro capítulo, uma revisão bibliográfica, no segundo capítulo discorre sobre o desenvolvimento sustentável e aborda as principais fontes de energias alternativas: a energia solar a energia eólica, a energia produzida

por pequenas centrais hidrelétricas e a energia produzida pela biomassa. No capítulo 3 aborda-se a biomassa, mas precisamente a respeito da obtenção de energia obtida com auxílio de um biodigestor contínuo utilizando como biomassa os dejetos de suínos, material que recebe muitas críticas pela poluição que causa quando não tratado. Assim, mostra-se uma alternativa de aproveitar esses restos e diminuir a poluição causada por eles.

Em seguida o capítulo 4 apresenta o ferramental matemático utilizado para a construção do modelo matemático e o capítulo 5 o descreve. Juntamente com o modelo matemático também é descrita o método para determinar as dimensões dos equipamentos necessários para esta atividade.

O capítulo 6 descreve os resultados obtidos com a aplicação do modelo. E, em última instância, são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.1 Energia elétrica

A energia, nas suas mais diversas formas, é absolutamente necessária à sobrevivência da humanidade. E, mais do que sobreviver, o homem buscou sempre evoluir, encontrando fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e que atendessem mais satisfatoriamente às suas necessidades. Dessa forma, o esgotamento, a carência ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser substituídas pelo surgimento de outro(s). Em termos de auxílio energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico das nações.

Há apenas 200 anos, o homem utilizava o sol como recurso energético quase exclusivo. A madeira era usada, de modo geral, para aquecimento e os animais, para o transporte. A fotossíntese é a responsável para proporcionar direta ou indiretamente estas espécies de energia. Neste processo, as plantas podem utilizar parte da energia do sol para converter dióxido de carbono e água em substâncias combustíveis e alimento. Além da energia derivada do sol também temos a que se origina do vento e a da água. Suas aplicações mais conhecidas são os moinhos de vento e rodas d'água.

Nos dias atuais, a energia elétrica já chega a quase todo território do planeta, proporcionando desenvolvimento de regiões antes desabitadas.

Mesmo com os avanços tecnológicos e melhoramentos trazidos pela energia elétrica, cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a esse recurso; dos dois terços restantes, uma parcela considerável ainda é atendida de forma muito precária. No Brasil, a situação não é tão crítica, mas ainda muito preocupante. Apesar da fartura de recursos energéticos e da grande extensão territorial do país, há uma grande diversidade regional e um grande número de pessoas e atividades econômicas em regiões com problemas de suprimento energético. Como revelado pelo último censo demográfico, mais de 80% da população brasileira vive na zona urbana. A grande maioria desse contingente está na periferia dos grandes centros urbanos, onde as condições de infra estrutura são deficitárias.

A influência da questão energética na busca de um modelo de desenvolvimento da sustentabilidade pode ser identificada por diversos motivos, dentre os quais, nas considerações de Reis (2006), se ressaltam:

➤ O suprimento competente e universal da energia é considerado condição básica para o desenvolvimento econômico, independentemente do conceito que se utilize para desenvolvimento. Nesse contexto, o acesso de cada ser humano a uma quantidade mínima de bens energéticos adequada aos atendimentos de suas necessidades básicas deve ser considerado como um requisito da sustentabilidade. Esse requisito tem sido enfatizado em todas as ações e discussões relacionadas com desenvolvimento sustentável desde a Conferência de Estocolmo em 1972. Portanto, é natural que a questão energética, no âmbito de um cenário que também incorpora outros setores de infra-estrutura, tais como transporte, águas, saneamento e telecomunicações, deva fazer parte da preocupação estratégica de qualquer país.

➤ Vários desastres ecológicos e humanos das últimas décadas têm relação íntima com atividades associadas à energia, ressaltando a necessidade e importância de um enfoque adequado e sério da inserção ambiental do setor energético na busca do desenvolvimento.

Cabe ainda ressaltar a necessidade de uma abordagem holística e com tratamento integrado dos aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos para que o setor energético se torne sustentável. A implantação de um planejamento energético de longo prazo, assentado na matriz energética é, assim, um passo fundamental até mesmo para permitir o estabelecimento de políticas energéticas e estratégias consistentes a longo prazo.

Essas estratégias poderão nortear a evolução do setor energético ao longo do tempo e permitir, se convenientemente monitoradas, os ajustes necessários associados a modificações no cenário global ou a emergências. Isto, sem dúvida, é um desafio, principalmente num contexto em que as políticas governamentais não privilegiam o planejamento estratégico a longo prazo. Atuar para modificar esse estado é fundamental para a construção de um modelo sustentável de desenvolvimento.

Os impactos da elevação do custo de energia fazem-se sentir com maior intensidade no setor rural de mais baixa renda, em geral, menos capitalizado e com menores condições de arcar com essa elevação de custos, tanto no que diz respeito ao consumo doméstico quanto para as atividades de produção.

O grande desafio é buscar uma forma de acesso à energia elétrica para todos os lares e as fontes de energias renováveis podem ser uma opção para solucionar tal problema. A energia solar, a eólica e a biomassa, entre outras, são algumas dessas alternativas.

2.2 Energia Solar

Na história da humanidade, o sol sempre foi reconhecido como a fonte primária da vida e a ele muitas civilizações reverenciaram como divindade.

Não se deve entender, no entanto, que a energia solar esteja total e exclusivamente disponível para o homem e para suas necessidades; boa parte dessa energia é responsável pela manutenção de processos naturais e vitais. Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar, como ensina o Atlas de Energia Elétrica do Brasil.

A energia solar pode ser utilizada de forma direta ou indireta. As energias de biomassa, eólica, maremotriz, o fenômeno da fotossíntese, o crescimento dos seres vivos e mesmo as fonte não renováveis são, em última análise, uma forma indireta de utilização de energia solar.

A abundância e a disponibilidade da energia solar em todo o globo terrestre constituem seguramente o fator predominante que faz residir nela uma promissora esperança na solução de um grande número de problemas provocados pela crise energética do início dos anos 70. E, por ser uma forma de energia limpa e susceptível a inúmeras aplicações, constitui um fabuloso potencial energético renovável e inesgotável na escala humana.

A captação e aproveitamento da energia solar requerem instalações complexas e custosas, ao menos para potências elevadas, principalmente porque ela não se apresenta de forma concentrada. Além disso, no local da instalação, esta energia está disponível de forma descontínua, sujeita a alternâncias periódicas (dia-noite, verão-inverno) e casuais (céu claro-nebuloso), exigindo o provimento de dispositivos de acumulação, com ulteriores complicações e elevando os custos da instalação.

As considerações econômicas, portanto, ainda não são favoráveis a um rápido desenvolvimento do uso da energia solar uma vez que os elevados custos iniciais de instalação e as dificuldades associadas à disponibilidade descontínua continuam a dificultar sua utilização. Por outro lado, porém, a energia solar é uma fonte absolutamente pura, não dá origem a fumaça, nem deixa resíduos de espécie alguma – como o lixo radioativo que representa a incógnita mais grave impedindo a difusão das centrais nucleares - e tampouco é fonte de descargas de gênero algum. Sob este ponto de vista, o aproveitamento da energia solar constitui a solução ideal para a proteção do meio ambiente.

É preciso ainda ressaltar que os tipos de materiais usados na construção dos equipamentos solares – tais como chapas e tubos de cobre, vidro plano transparente, material isolante, vedantes, etc., largamente empregados na indústria e em uma infinidade de outras aplicações de mercado – são os principais responsáveis pelos custos elevados. Isto mostra claramente a necessidade de um desenvolvimento mais adequado da ciência e da tecnologia solar, que possam simplificar o processo e desenvolver materiais de uso específico. Esta é uma caminhada necessária quando se pensa na utilização da energia solar em massa, quer seja em aplicações residenciais, quer nas necessidades industriais ou outras possíveis finalidades.

2.3 Energia Eólica

O vento é outra fonte de energia primária inesgotável cuja exploração representa impactos ambientais muito reduzidos. A utilização de aerogeradores, instalados estrategicamente em regiões geográficas com recursos comprovados, faz parte da tecnologia usada para gerar eletricidade de forma renovável, aproveitando a energia cinética contida no vento.

Historicamente, têm-se notícias sobre o aproveitamento da energia dos ventos desde a antiguidade. Os egípcios acreditavam serem os primeiros a empregar a força dos ventos. Já por volta de 2800 a. C., eles iniciaram o uso de velas para complementar a força dos escravos para impulsionar os navios. A necessidade de bombear grandes quantidades de água, como aconteceu nos Países Baixos, propiciou o desenvolvimento dos “moinhos de vento”.

Bezerra (1982) anota que a energia eólica existe como resultado dos movimentos das massas de ar decorrentes da ação da luz solar, gerando um fluxo detentor de considerável energia, que chamamos de vento. A energia eólica, como força geradora de força propulsora para movimentação dos mais variados engenhos idealizados pelo homem, tem sido empregada desde os primórdios da civilização. Em tempos mais recentes os cata-ventos ou mais propriamente as máquinas eólicas, constituem uma paisagem comum na zona rural. Estes fatos bem demonstram que existem alternativas outras que podem contribuir para reduzir um grande número de efeitos decorrentes da crise energética.

Dois sistemas podem ser utilizados para converter a energia eólica em energia útil: o moinho-de-vento - de construção mais simples - para produzir energia mecânica; e o aerogerador - usado para a produção de eletricidade – que atrai muito interesse para o futuro.

2.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas

De acordo com a resolução nº 394, de 04-12-1998 da ANEEL - Agência Nacional de Energia elétrica, PCH (Pequena Central Hidrelétrica) é toda usina hidrelétrica de pequeno

porte cuja capacidade instalada seja superior a 1 MW e inferior a 30 MW. Além disso, a área do reservatório deve ser inferior a 3 km². Uma PCH típica normalmente opera a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água. Com isso, em ocasiões de estiagem, a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade.

Entretanto, as PCH's se prestam à geração descentralizada e são instalações que resultam em impactos ambientais pouco significativos. Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio porte com desníveis significativos em seu percurso, capazes de gerar potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas.

As pequenas centrais hidrelétricas, em geral, apresentam grande flexibilidade operativa. A partida, sincronismo com outras atividades geradoras ou com o sistema elétrico de potência e o despacho de carga são tarefas relativamente simples que podem ser executadas com tranquilidade por uma equipe de operação ou pela seqüência de eventos de um sistema automatizado.

Por outro lado, Schweig (2008) afirma que as PCH's oferecem economia em matéria de investimentos relacionados à transmissão, redução de perdas de transmissão e auxilia a estabilidade do sistema elétrico local, estando próximo ao local de consumo. Essas usinas representam do ponto de vista social, um importante fator de desenvolvimento, pois aumentam a oferta de energia barata, suprimindo a necessidade de comunidades próximas e, até mesmo, integrando novos consumidores, principalmente os de baixa renda, residentes em regiões mais distantes do sistema elétrico nacional.

2.5 Energia da Biomassa

A tecnologia de utilização da biomassa para fins energéticos, no século passado, teve um desenvolvimento bastante significativo principalmente na Europa.

ANEEL (2008), define Biomassa como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Dependendo da origem, pode ser classificada em: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos.

No Brasil o uso mais importante da biomassa está relacionado com o desenvolvimento da frota de veículos a álcool (de cana-de-açúcar), que veio a criar uma alternativa mais promissora e ambientalmente mais adequada que os derivados de petróleo. Razões associadas a *lobbies* econômicos e a não-consideração adequada dos custos ambientais colocaram, no entanto, essa tecnologia em compasso de espera.

O estado de São Paulo é grande produtor de biomassa proveniente da cana-de-açúcar. Exporta álcool para todo Brasil, sendo a indústria sucroalcooleira, em alguns casos, auto-suficiente em energia, utilizando o bagaço da cana de açúcar na produção de energia elétrica. Na região Amazônica, o óleo vegetal extraído de várias plantas é largamente utilizado em caldeiras e motores de combustão interna, para geração de energia elétrica para atender as comunidades isoladas. Muitos estados brasileiros também se destacam na produção de outros resíduos (biomassa) de grande potencial energético: no Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Maranhão e Pará, resíduos provenientes da casca de arroz; nos estados do Pará e Bahia, o óleo de dendê; no Ceará e Piauí a casca da castanha de caju; na Bahia, Ceará e Pará, a casca do coco-da-bahia; no Mato Grosso a madeira, entre outros.

Tanto no mercado internacional quanto no interno, a biomassa é hoje considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Ela é potencialmente uma rica fonte de geração de energia elétrica e de biocombustíveis - como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina. Definitivamente, a biomassa constitui-se em uma das fontes de produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos.

3. OBTENÇÃO DE ENERGIA DA BIOMASSA DE DEJETOS DE SUÍNOS

3.1 Biomassa

No entender de Rosillo (2005), a biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente mais consciente. Embora seja uma fonte de energia primitiva, seu amplo potencial ainda precisa ser explorado. Depois de um longo período de negligência, o interesse pela biomassa como fonte de energia renasce e os novos avanços tecnológicos demonstram que ela pode tornar-se mais eficiente e competitiva. O Brasil é pioneiro no ressurgimento de sistemas de energia da biomassa.

A biomassa pode ser definida de várias formas, como segue:

Nos comentários de Mello (2001), fontes de energia de biomassa é toda energia proveniente das plantas, algumas de alta produtividade nos países tropicais, como a cana-de-açúcar, a mandioca, o dendê e o babaçu, que podem se transformar em energia líquida, sólida, gasosa ou elétrica, de forma competitiva e adequada à preservação do meio ambiente.

Schwade (2006), diz que a energia química, produzida pelas plantas através da fotossíntese, é originada da radiação solar, distribuída e armazenada nos corpos dos seres vivos através da cadeia alimentar, por meio dos vegetais que consomem. Essa energia armazenada é chamada de biomassa.

A biomassa pode ser obtida de forma natural, ou seja, produzida pela natureza sem a intervenção do homem, resultado do processo da fotossíntese. Também, sob a forma residual, gerada por qualquer tipo de atividade humana, principalmente nos processos produtivos de setores agrícolas ou núcleos urbanos. Ainda é obtida através do cultivo de plantações, como a cana-de-açúcar, por exemplo, com a finalidade de produzir biomassa para ser transformada em combustível.

3.1.1 Utilização da biomassa

A expectativa de maior participação da biomassa no suprimento de energia no futuro pode ser explicada por vários motivos. Primeiramente, os combustíveis obtidos a partir da biomassa podem substituir mais ou menos diretamente os combustíveis fósseis na atual infraestrutura de suprimento de energia. As energias renováveis intermitentes, como a eólica e a solar, representam um desafio à maneira como a energia é distribuída e consumida. Em segundo lugar, a disponibilidade de terras faz com que os recursos em potencial sejam abundantes. Em terceiro lugar, o crescimento da população, a urbanização e a melhoria dos padrões de vida nos países em desenvolvimento, fazem aumentar em ritmo acelerado a demanda por energia.

A figura 1 demonstra de acordo com estudos realizados pela ANEEL, que a produção de energia com a utilização da biomassa vem se destacando:

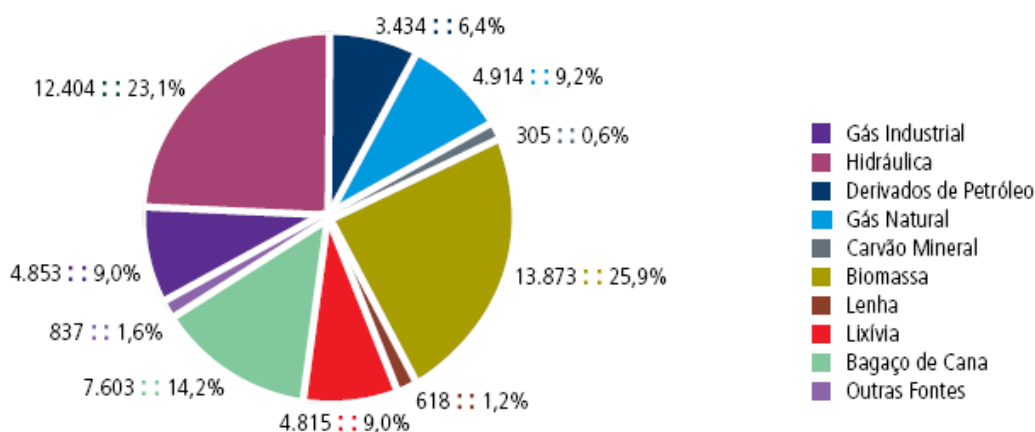


Figura 1: Geração de Energia Elétrica – Autoprodução (Total e Participação por Fonte - Brasil 2005)
Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2005

Verifica-se que o total de autoprodução de energia elétrica a partir da biomassa total (biomassa + bagaço de cana) chega a 40,1 %.

Rosillo (2005) observa que a imagem relativamente pobre da biomassa está mudando devido a três razões principais, a saber:

- Os consideráveis esforços feitos nos últimos anos, por meio de estudos, demonstrações e plantas-piloto, para se apresentar um quadro mais realista e equilibrado do uso e do potencial da biomassa.
- A crescente utilização da biomassa como um vetor energético moderno, principalmente em países industrializados.
- O crescente reconhecimento dos benefícios ambientais, locais e globais do uso da biomassa e as medidas necessárias para o controle das emissões de CO₂ e enxofre.

A biomassa energética insere-se em um contexto de descentralização do desenvolvimento, de ocupação estratégica do território, de valorização dos recursos disponíveis no espaço geoeconômico do continente brasileiro, de incentivo às iniciativas locais, de abertura de novas perspectivas econômicas para o auto-desenvolvimento, de promoção social, de redução de dependências externas, de democratização e de preservação da soberania nacional (Brasil, 1986). Tudo isso leva a crer que, mais que uma simples alternativa energética, a biomassa pode constituir a base de um modelo de desenvolvimento

tecnológico e industrial auto-sustentado, porque está baseado em dados concretos da realidade nacional e na integração do homem a um ambiente econômico em harmonia com seu ambiente natural.

Ao mesmo tempo em que se preservam usos tradicionais da biomassa, existe um considerável potencial para a modernização do uso dos combustíveis de biomassa na produção de vetores energéticos convenientes, como eletricidade, gases e combustíveis automotivos. Essa modernização do uso industrial da biomassa já acontece em muitos países, proporcionando inúmeros benefícios ambientais e sociais em comparação com os combustíveis fósseis, quando produzida de forma eficiente e sustentável. Esses benefícios incluem o melhor manejo da terra, a criação de empregos, o uso de áreas agrícolas excedentes nos países industrializados, o fornecimento de vetores energéticos modernos a comunidades rurais nos países em desenvolvimento, a redução dos níveis de CO₂, o controle de resíduos e a reciclagem de nutrientes.

A energia da biomassa deve ser ambientalmente aceitável para que se possa assegurar a difusão de seu uso como uma fonte de energia moderna. Deve-se ter em conta que os impactos de longo prazo dos programas e projetos relativos à biomassa dependem principalmente da garantia da geração de renda, da sustentabilidade ambiental, de flexibilidade e replicabilidade, ao mesmo tempo em que se consideram as condições locais e se oferecem vários benefícios, uma característica importante dos sistemas agro-florestais. A implementação de projetos de uso de biomassa exige ainda iniciativas e políticas governamentais que internalizem os custos econômicos, sociais e ambientais externos das fontes convencionais de combustível, de modo que os combustíveis produzidos a partir da biomassa possam competir “em pé de igualdade”.

A dificuldade de quantificar o uso da biomassa energética, especialmente nas suas formas tradicionais, acarreta problemas adicionais. Duas são as principais razões: a) a biomassa geralmente é considerada um combustível inferior e raramente incluído nas estatísticas oficiais e, quando o é, tende a ser desvalorizada; b) usos tradicionais de bioenergia – como, por exemplo, na forma de lenha, carvão, esterco de animais e resíduos agrícolas – são erroneamente associados com problemas do desmatamento e da desertificação. Por outro lado, dificuldades em medir, quantificar e manusear a biomassa visto tratar-se de uma fonte de energia dispersa, e seu uso ineficiente resultam na obtenção de pouca energia útil.

Embora ainda não se disponha de uma avaliação que permita quantificar de modo confiável a participação atual da biomassa na matriz energética mundial, verifica-se que ela tem maior participação na matriz de países subdesenvolvidos. Enquanto isso, nos países desenvolvidos, em meio a um cenário de preocupação com a preservação ambiental, cresce a importância do uso da biomassa como fonte de energia renovável.

A título de exemplo, pode-se citar o Zimbábue como um país onde a biomassa contribui com aproximadamente 40% da energia primária, enquanto que nos EUA este índice baixa para aproximadamente 3% da energia primária utilizada para geração de eletricidade (em 2000, o país, considerando-se resíduos sólidos municipais, lenha e outras fontes de biomassa, possuía uma capacidade instalada de 4230 MW, sem levar em consideração os cogeneradores).

3.1.2 Propriedades rurais e a biomassa

As propriedades agrícolas têm se preocupado com o acelerado aumento em seus custos de produção e manutenção causados pelo aumento das tarifas de energia quer doméstica - como gás de cozinha, iluminação e aquecimento - quer na produção, como aquecimento de galinheiros e chiqueiros, motores, tratores, maquinário agrícola, etc.

O custo dos fertilizantes também tem crescido muito, enquanto muitas vezes o esterco é desperdiçado nas propriedades, poluindo o ambiente e as águas por falta de uma tecnologia prática e adequada para o seu aproveitamento racional.

O Brasil tem condição ímpar para criar um programa de biomassa energética capaz de recompor a produção rural, aproveitando a infra-estrutura das propriedades, aumentando sua renda e viabilizando a manutenção e a criação de milhares de empregos em todos os níveis.

O uso de outras fontes, como carvão vegetal, resíduos agrícolas sazonais, resíduos florestais e esterco de aves, geralmente é ignorado em muitos países, mas esses resíduos podem apresentar 30 % a 40 % do fornecimento total de biomassa.

Outro fator pouco reconhecido ou documentado é o de que a biomassa, além de ser usada para cocção de alimentos nos setores doméstico e comercial, também pode ser utilizado como fonte de energia em processamentos agroindustriais e na fabricação de tijolos, telhas, cimento, fertilizantes e outros.

Embora atualmente o uso da energia da biomassa seja predominantemente doméstico nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, cada vez mais se percebe que também pode ser uma fonte importante de combustível para os pobres que vivem nas cidades e para muitas indústrias de pequeno e médio porte.

Porém, a superação do subdesenvolvimento exige que recursos disponíveis na sociedade sejam investidos na criação de uma estrutura de produção que, gerando novos recursos, torne o processo auto-sustentável e capaz de se renovar e se adaptar à evolução da própria estrutura econômica e social.

A energia da biomassa apresenta-se naturalmente de forma dispersa. A prática industrial comprova que a economia de escala não tem, em sua utilização, papel significativo; ao contrário, a concentração da produção pode levar a deseconomias e distorções. O investimento de capital, associado à utilização energética da biomassa, é relativamente pequeno, quando comparado com as alternativas convencionais. As estruturas industrial e tecnológica necessárias podem ser desenvolvidas sem dificuldades no atual contexto brasileiro, utilizando-se recursos existentes, inclusive a nível regional ou local.

Os recursos básicos mobilizados por um programa de utilização energética da biomassa (ou seja, o “o investimento inicial” do programa) são terra e mão-de-obra. No Brasil, estes são hoje recursos abundantes, mas subutilizados. Sua integração ao sistema energético nacional, no entanto, significa abrir oportunidades para sua valorização e promoção crescentes.

Da biomassa resultam vários combustíveis diretos ou derivados, desde a lenha tradicionalmente usada para cozinhar, até os combustíveis líquidos que substituem os derivados de petróleo.

Nas regiões menos desenvolvidas, a biomassa mais utilizada é a de origem florestal. Além disso, os processos para a obtenção de energia se caracterizam pela baixa eficiência, isto é, grande volume de matéria-prima é necessário para produção de pequenas quantidades

de energia. Uma exceção a essa regra é a utilização da biomassa florestal em processos de co-geração industrial. Do processamento da madeira no processo de extração da celulose é possível, por exemplo, extrair a lixívia negra (ou licor negro) usado como combustível em usinas de co-geração da própria indústria de celulose.

Uma das grandes vantagens da biomassa é a variedade de formas de sua utilização. Pode-se usar biomassa como combustível na forma de gases, líquidos ou sólidos. É um material versátil e provavelmente o único combustível primário capaz de, na forma de álcool ou óleo, substituir a gasolina e o diesel em veículos automotores. Por sua versatilidade, pode-se escolher o material mais adequado ao solo, ao clima e às necessidades.

A produção em larga escala da energia elétrica e dos biocombustíveis está relacionada à biomassa agrícola e à utilização de tecnologias eficientes. A pré-condição para a sua produção é a existência de uma agroindústria forte e com grandes plantações, sejam elas de soja, arroz, milho ou cana-de-açúcar. A biomassa é obtida pelo processamento dos resíduos dessas culturas. Assim, do milho é possível utilizar, como matéria-prima para energéticos, sabugo, colmo, folha e palha; da soja e do arroz, os resíduos que permanecem no campo, tratados como palha; da cana-de-açúcar, o bagaço, a palha e o vinhoto.

O Brasil possui características especialmente adequadas à produção de biomassa para fins energéticos: clima tropical úmido, terras disponíveis, mão-de-obra rural abundante e carente de oportunidades de trabalho, e nível industrial tecnológico disponível.

3.1.3 Aproveitamento da biomassa

Fonte de energia renovável (quando manejada adequadamente), a biomassa apresenta vantagens ambientais inexistente em qualquer combustível fóssil. Como não emite óxidos de nitrogênio e enxofre, e o CO₂ lançado na atmosfera durante a queima é absorvido na fotossíntese, apresenta balanço zero de emissões (Reis, 2003). Dito de outra forma, comparada às opções energéticas de origem fóssil, a biomassa possui um ciclo extremamente curto. Além do pequeno tempo necessário à sua produção, a fotossíntese, processo produtivo

da biomassa, capta em geral quantidades superiores às das dos gases emitidos na queima para a formação de mais matéria-prima. (Mello, 2001) Tais características devem, futuramente, reverter a tendência de troca de combustíveis, e a biomassa vai retornar espaços ocupados pelo petróleo e o carvão mineral.

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), através de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

A figura 2 mostra os principais processos de conversão energética da biomassa.

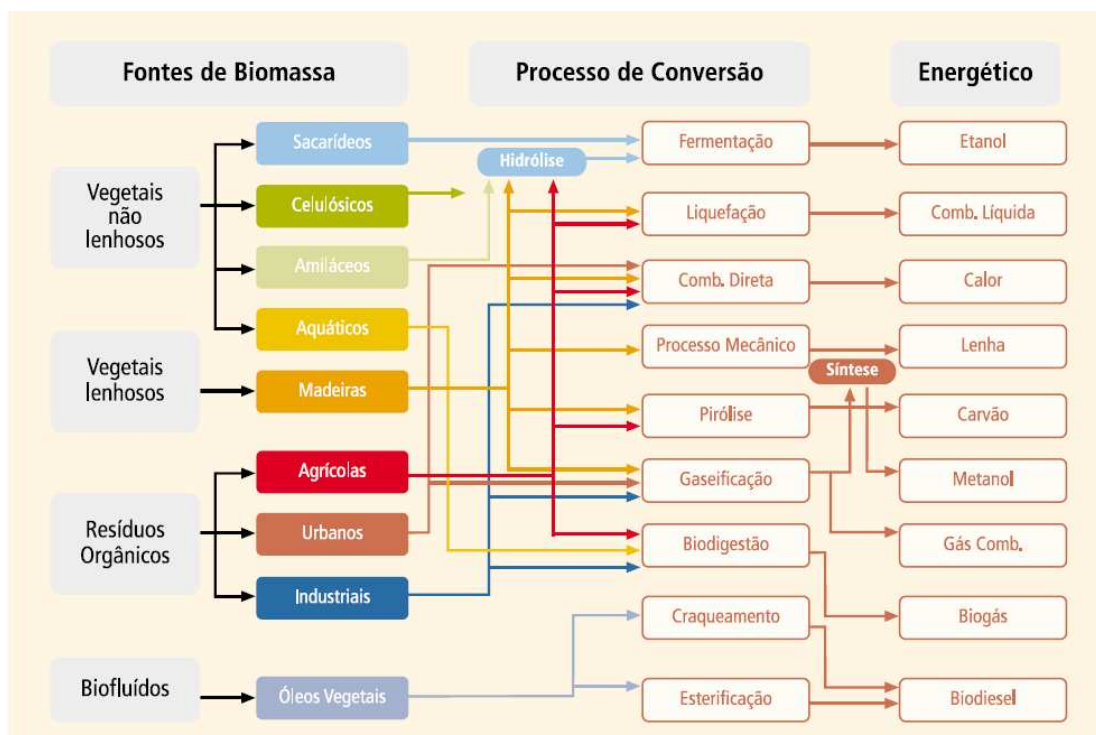


Figura 2: Processo de conversão energética da biomassa
Fonte: Atlas de energia Elétrica do Brasil – 2005

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2005), as tecnologias de aproveitamento energético da biomassa são:

Combustão direta: combustão é a transformação de energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio

fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo).

Embora muito prático e, às vezes, conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade (20 % ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos, etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte.

Gaseificação: como o próprio termo indica, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado.

O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação.

A gaseificação de biomassa, no entanto, não é um processo recente. Atualmente, esse renovado interesse deve-se principalmente à limpeza e versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos nefastos ao meio ambiente e à saúde humana, entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna. Outra vantagem da gaseificação é que, sob condições adequadas, produz gás sintético, que pode ser usado na síntese de qualquer hidrocarboneto.

Pirólise: a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na “quase-ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido piro-lenhoso.

A relação entre a quantidade de lenha (material de origem) e a de carvão (principal combustível gerado) varia muito, de acordo com as características do processo e o teor de umidade do material de origem. Em geral, são necessárias de quatro a dez toneladas de lenha para a produção de uma tonelada de carvão. Se o material volátil não for coletado, o custo relativo do carvão produzido fica em torno de dois terços daquele do material de origem (considerando o conteúdo energético).

Nos processos mais sofisticados, costuma-se controlar a temperatura e coletar o material volátil, visando melhorar a qualidade do combustível gerado e o aproveitamento dos resíduos. Nesse caso, a proporção de carvão pode chegar a 30% do material de origem. Embora necessite de tratamento prévio (redução da acidez), o líquido produzido pode ser usado como óleo combustível.

Nos processos de pirólise rápida, sob temperaturas entre 800 °C e 900 °C, cerca de 60 % do material se transforma num gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono (apenas 10 % de carvão sólido), o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Todavia, a pirólise convencional (300 °C a 500 °C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido ao problema do tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevada.

A pirólise pode ser empregada também no aproveitamento de resíduos vegetais, como subprodutos de processos agroindustriais. Nesse caso, é necessário que se faça a compactação dos resíduos, cuja matéria-prima é transformada em briquetes. Com a pirólise, os briquetes adquirem maiores teores de carbono e poder calorífico, podendo ser usados com maior eficiência na geração de calor e potência.

Digestão anaeróbia: a digestão anaeróbia, assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar, mas, nesse caso, o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos.

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e pelo aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35°C.

Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante.

Fermentação: fermentação é um processo biológico anaeróbio em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna.

Transesterificação: transesterificação é um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio).

Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário.

Neste trabalho será considerada a digestão anaeróbica como tecnologia de aproveitamento energético da biomassa, visto que a matéria prima para a produção do biogás são dejetos de suínos.

3.2 Suinocultura

A suinocultura é uma atividade importante, tanto do ponto de vista econômico como social. No Brasil, a região sul abriga a maior parte do rebanho suíno, responsável pela produção de dejetos com potencial de geração de energia a partir do biogás produzido pelo processo de tratamento dos excrementos da suinocultura. Segundo a ACSURS (Associação de Criadores de Suínos do Rio Grande do Sul), o rebanho do estado gaúcho está estimado em

6,21 milhões de cabeças. A tabela 1 mostra a distribuição do rebanho no Brasil e a tabela 2 mostra a evolução da criação de suínos no Rio Grande do Sul, sendo que os dados mostrados a partir de 2007 são estimativas feitas pela ACSURS.

Tabela 1: Distribuição do rebanho suíno brasileiro

Região	Número de cabeças (milhões)	%
Sul	13	34,21
Sudeste	7,2	18,95
Nordeste	8,75	23,03
Centro Oeste	6,15	16,18
Norte	2,9	7,63
Total	Fonte: www.acsurs.com.br	100

Tabela 2: Evolução do rebanho suíno no Rio Grande do Sul

1985	4252275
1986	4344607
1987	4037060
1988	3451122
1989	3566089
1990	3744687
1991	3854184
1992	3929082
1993	4043449
1994	4181965
1995	4245566
1996	3922591
1997	4066847
1998	4055024
1999	4140468
2000	4133303
2001	4076247
2002	4036952
2003	4145052
2004	4094030
2005	4233791
2006	5827195
2007	5972875
2008	6122197
2009	6214030

Fonte: www.acsurs.com.br

3.2.1 Suinocultura e o ambiente

A população de suínos no Brasil, que hoje ultrapassa os 38 milhões de animais alojados, com boas perspectivas de crescimento para os próximos anos e com a implantação de projetos inovadores no setor suinícola, passa a exigir a adoção de métodos e técnicas mais adequadas para manejar, estocar, tratar, utilizar e dispor os dejetos, dentro do sistema de produção, tentando manter a qualidade ambiental e reutilizando os resíduos em outros sistemas agrícolas para agregar maior rentabilidade à produção.

Uma das principais características da atual expansão da suinocultura no Brasil é a alta concentração de animais por área, visando atender ao consumo interno e externo de carne, produtos e derivados dessa atividade. Em consequência, é notável a extensa poluição hídrica nas áreas de maior concentração pela alta carga orgânica e a presença de coliformes fecais provenientes dos dejetos que, somada aos problemas causados por resíduos domésticos e industriais, tem causado sérios problemas ambientais, como a destruição dos recursos naturais renováveis, em especial a água. Esta situação exige mecanismos de fiscalização mais rigorosos dos órgãos oficiais no controle da emissão dos elementos poluidores.

Além do fator financeiro, o principal motivo que leva o homem a não tratar devidamente os dejetos de suínos é acreditar que o esterco “in natura” é adubo para o solo. Enquanto os fertilizantes químicos podem ser formulados para cada tipo de solo, os dejetos de suínos possuem simultaneamente inúmeros nutrientes - cálcio, nitrato, cobre, zinco, fósforo e ferro - em quantidades desproporcionais, normalmente encontrados nas rações para a engorda.

Massotti (2009) ensina, de maneira clara e didática que todas as fezes e urina produzidos na propriedade, observando custos, eficiência, praticidade e condições locais devem ser armazenadas, não esquecendo de que é SAUDÁVEL, LUCRATIVO e LEGAL. E mais: a suinocultura é somente viável quando ela é parte integrante do sistema produtivo na pequena propriedade, e não apenas um empreendimento isolado. Por isso, o aproveitamento racional dos dejetos como adubação do solo é indispensável.

Segundo o IBGE (1983), a suinocultura no Brasil é uma atividade predominantemente desenvolvida por pequenas propriedades rurais. Cerca de 81,7 % dos suínos são criados em

unidades de até 100 hectares (ha). Essa atividade se encontra presente em 46,5 % das 5,8 milhões de propriedades existentes no país, empregando mão-de-obra tipicamente familiar e constituindo uma importante fonte de renda e de estabilidade social.

Por outro lado, a atividade é considerada pelos órgãos ambientais uma "atividade potencialmente causadora de degradação ambiental", sendo enquadrada como de grande potencial poluidor. Pela Legislação Ambiental (Lei 9.605/98 - Lei de Crimes Ambientais), o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e à saúde dos homens e animais. Os dejetos suínos, até a década de 70, não constituíam fator preocupante, pois a concentração de animais era pequena e o solo das propriedades tinha capacidade para absorvê-los ou eram utilizados como adubo orgânico. Porém o desenvolvimento da suinocultura trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos, que pela falta de tratamento adequado, se transformou na maior fonte poluidora dos mananciais de água.

Como se vê, a suinocultura, ao lado da importância econômica que exerce, pode ser considerada uma atividade de alto risco para a contaminação da água de bacias hidrográficas devido à grande quantidade de efluentes altamente poluentes sem tratamento prévio produzido e lançado ao solo e nos cursos de água. Os maiores problemas de poluição causados pela suinocultura concentram-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, que juntos mantêm cerca de 70% do rebanho suíno do Brasil.

A partir da segunda metade dos anos 70, a produção de suínos aumentou e, conseqüentemente, a de dejetos também. Com isso, a poluição de muitos mananciais de água aumentou drasticamente, pois o déficit de oxigenação de uma fonte de água atingida pela contaminação de esgoto doméstico é muitíssimo menor do que o produzido pela contaminação com dejetos de suínos. As águas atingidas pela emissão de efluentes das pocilgas perdem, em pouco tempo, a capacidade de manutenção da vida da fauna e flora aquáticas.

A suinocultura é uma atividade da agropecuária que vem preocupando os ambientalistas nos últimos anos, por constituir fração importante da produção animal no país, por gerar grandes quantidades de resíduos e por representar capacidade poluidora significativamente maior, em comparação, por exemplo, com os resíduos dos seres humanos.

Utilizando-se o conceito de equivalente populacional, um suíno, em média, equivale a 3,5 pessoas. Em outras palavras, uma granja de com 600 animais possui um poder poluente, segundo esse critério, semelhante ao de um núcleo populacional de aproximadamente 2.100 pessoas.

O potencial poluidor dos dejetos da suinocultura chega a ser cinco vezes maior que o produzido pelo ser humano. Nas regiões, como o Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Oeste de Santa Catarina, principalmente onde se concentram as atividades, o solo, a água e, até mesmo o ar, estão contaminados.

O Brasil tem na agricultura, na pecuária e na indústria um importante suporte de desenvolvimento econômico. Porém, todo esse desenvolvimento agrícola e agroindustrial não teve e não tem tido acompanhamento de uma política ambiental preocupada em controlar os sérios problemas resultantes do despejo indiscriminado dos resíduos resultantes dessas atividades.

Os principais elementos constituintes dos dejetos suínos que afetam as águas superficiais são matéria orgânica, nutrientes, bactérias fecais e sedimentos. Ao lado disso, a emissão de gases originados dos dejetos pode produzir efeitos prejudiciais e alterar, de maneira indesejada, as características do ar ambiente e causar, entre outros agravantes, prejuízos nas vias respiratórias de homens e animais, bem como a formação de chuva ácida por meio de descargas de amônia na atmosfera, além de contribuírem para o aquecimento global da terra.

Em contrapartida, porém, os dejetos podem ser utilizados como fertilizantes ou ainda empregados na produção de combustíveis para a geração de energia.

Levantamentos realizados pelo Serviço de Extensão Rural do Oeste de Santa Catarina evidenciaram que apenas 10 a 15 % dos suinocultores possuem sistema para tratamento ou aproveitamento dos dejetos e que cerca de 85 % das fontes de água no meio rural estão contaminadas por coliformes fecais, oriundos do lançamento dos dejetos de suínos em cursos de água.

Por tudo o que foi resumido, fica evidente que a poluição ambiental por dejetos é um problema que vem se agravando na suinocultura moderna. Diagnósticos recentes têm

demonstrado um alto nível de contaminação dos rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural como o urbano.

A principal causa da poluição é o lançamento direto do esterco de suínos nos cursos de água, sem o devido tratamento, o que acarreta o desequilíbrio ecológico e a poluição em função da redução do teor de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos e outros elementos tóxicos.

A criação de suínos acarreta ainda outro tipo de poluição, associada ao problema do odor desagradável dos dejetos. O odor é provocado pela evaporação dos compostos voláteis contidos no esterco.

O mau cheiro pode até tornar-se um causador de conflitos sociais entre as pessoas afetadas. É por isso que as unidades de produção de suínos são muitas vezes vistas como ambiental e socialmente indesejáveis nas comunidades. A busca de soluções para este problema também é essencial para a sustentabilidade da suinocultura.

A relação da suinocultura com o meio ambiente é uma questão não resolvida, e hoje o tratamento dos dejetos de suínos é um desafio mundial, tendo motivado o fechamento de granjas na Holanda e Alemanha, diante dos impactos ambientais provocados pela atividade.

As características dos dejetos variam em função da espécie, sexo, tamanho, raça e atividade dos animais, da temperatura e umidade do ar e, ainda, da alimentação fornecida, em função da sua digestibilidade e do conteúdo de proteínas e fibras. Por meio da caracterização dos resíduos, pode-se verificar a viabilidade da adoção do processo de biodigestão anaeróbia ou mesmo a possibilidade de indicação de microorganismos mais adequados a um dado substrato.

Conhecer as características dos dejetos dos animais é essencial para o projeto dos sistemas de tratamento e para a avaliação das conseqüências negativas do manejo e disposição inadequados deste resíduo. O nitrogênio oxidável, por exemplo, está diretamente ligado à concentração de nitratos e nitritos nas águas, responsáveis pela cianose, doença infantil. Por outro lado, o conjunto das concentrações de N, P e C nos resíduos é o maior responsável pela eutrofização dos cursos d'água, fenômeno que corresponde ao aumento da atividade vegetal aquática com alta demanda de oxigênio.

A utilização dos dejetos de suínos como fertilizantes orgânicos, como já foi dito acima, também pode contribuir para a contaminação dos recursos hídricos se as quantidades aplicadas forem superiores à capacidade do solo e das plantas em absorverem os nutrientes presentes nesses resíduos. Dessa forma, poderá haver contaminação das águas superficiais (quando a capacidade de infiltração da água no solo for baixa) e a contaminação das águas subterrâneas (quando a infiltração da água no solo for elevada).

O que falta, na realidade, é atitude, ou seja, adotar técnicas de manejo adequado dos resíduos com estruturas para coleta, transporte, armazenamento, tratamento e reciclagem. O tratamento consiste em compatibilizar a composição final, remover ou transformar os agentes poluentes do material, de forma que este possa ser reaproveitado no solo ou descartado em cursos d'água sem comprometer o meio ambiente. A reciclagem compreende o aproveitamento do potencial dos resíduos para implementar a produção agrícola, reaproveitando os componentes fertilizantes, e a produção do biogás.

Na maioria dos países da Europa, a legislação de proteção ambiental é muito rígida com relação aos dejetos produzidos pelos suínos e outros animais, considerando principalmente a dificuldade de distribuição. No Brasil, a partir de 1991, o assunto passou a ter maior importância, a partir do momento em que o Ministério Público começou a assumir o seu papel, exigindo o cumprimento da legislação, aplicando advertências, multas e mesmo interditando granjas que não se adequassem ao cumprimento das normas ambientais.

Considerando um universo de nível internacional, pesquisas importantes foram e estão sendo realizadas em diversos países sobre o tema dos impactos ambientais. Souza (2001) cita diversos autores que estudam os efeitos de tal atividade sobre a água dos Estados Unidos, os impactos da suinocultura na Holanda, os impactos em vários países da Europa, os impactos resultantes da suinocultura em larga escala na Europa e também sobre os dejetos de suínos na Itália.

A partir da preocupação sobre a poluição ambiental causada pela suinocultura, surgiu a necessidade de investimentos para o tratamento dos dejetos. Das variadas alternativas propostas, a tecnologia da biodigestão anaeróbia vem sendo adotada no setor, pela sua comprovada eficiência e por receber incentivos financeiros das instituições oficiais. Além do tratamento dos dejetos, possibilita a produção do biogás (combustível de alto potencial energético) e do biofertilizante (adubo com alta concentração de nutriente para os vegetais). E

ainda evita a emissão do gás metano, um dos responsáveis pelo efeito estufa que tanto preocupa o mundo na atualidade.

O ideal seria que todas as unidades de produção tivessem estrutura adequada para coletar, transportar, armazenar e tratar os dejetos antes de lançá-los na natureza.

3.3 Biogás

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzidos pela biodigestão de materiais orgânicos. Trata-se de uma mistura gasosa resultante da fermentação da biomassa no processo do tratamento anaeróbio, ou seja, pela ação de bactérias na ausência de oxigênio. O biogás pode aparecer de forma natural em pântanos, lagos e rios, como uma fase no ciclo do carbono em nosso planeta. Outra forma de obtê-lo é nos biodigestores, onde se opera a decomposição de resíduos orgânicos, restos de plantas, lixo urbano, dejetos de animais entre outros.

Massotti (2009) o descreve como um gás natural inflamável, resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo industrial ou residencial em condições adequadas de umidade. O biogás é composto basicamente de dois gases: o metano que representa 60-80 % da mistura e o gás carbônico que representa os 40-20 % restantes. Outros gases participam da composição em proporções menores, destacando-se o gás sulfídrico que pode chegar a 1,5 %. A pureza do biogás é avaliada pela presença de metano. Quanto maior o percentual de metano mais puro será o gás.

Na definição de Zachow (2000), a proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH_4) e por dióxido de carbono (CO_2), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa.

Por sua vez, Schwade (2006) ainda comenta que, de forma geral, o biogás é um gás incolor, insolúvel em água e geralmente inodoro se não contiver demasiadas impurezas.

Possui baixa densidade, sendo mais leve do que o ar e apresentando menores riscos de explosão, comparado ao gás natural. Em contrapartida, ocupa um volume maior, conferindo-lhe algumas desvantagens em relação a transporte e utilização.

Segundo Teixeira (1985), o biogás é também chamado de gás de esgoto, Klar gás, March gás, RDF (combustível derivado de refugo), gás de lodo, fogo dos tolos, Gobar gás (gás de esterco bovino), bioenergia e combustível do futuro. A presença do sulfeto de hidrogênio pode conferir ao biogás um odor característico de ovo podre.

O biogás tem efeitos asfixiantes quando em concentrações elevadas. Quando a concentração do oxigênio estiver abaixo de 17 %, a respiração torna-se difícil, sendo que abaixo de 13 % atinge limites asfixiantes.

Até há pouco tempo, o biogás era considerado um subproduto obtido por meio da decomposição de lixo urbano, do tratamento de efluentes domésticos e resíduos animais. Porém, pesquisas de fontes renováveis para a produção de energia que possibilitem a redução da utilização dos recursos naturais esgotáveis, a alta dos preços dos combustíveis convencionais e o crescente desenvolvimento econômico vêm sendo estimuladas.

A produção de biogás a partir de resíduos animais varia a cada espécie de animal e de acordo com o método de armazenamento do esterco, anterior à sua introdução no biodigestor. Isso porque a biodegradabilidade dos sólidos voláteis, varia com a espécie animal, o período e o tipo de armazenamento dos resíduos (pré-fermentação), que posteriormente são convertidos em biogás. Os diferentes rendimentos na produção de biogás são função da composição química do substrato e da eficiência do biodigestor principalmente. Para aumentar a produção de biogás no inverno, deve-se incorporar à carga diária: urina animal, palha, melão ou sulfato de amônia, para aumentar o nível de nitrogênio que estimula as bactérias.

Figueiredo (2007), afirma que a conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, destilarias, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos.

Algumas vantagens do uso do biogás em relação ao gás de bujão é que ele, ao contrário do GLP, é mais higiênico, pois produz menos fumaça e não deixa resíduos de

fuligem nas panelas e demais utensílios de cozinha e também acaba eliminando os custos relativos ao transporte de bujões de gás (GLP) desde o litoral até o interior do país. Além do manejo dos dejetos dos animais (porcos, bois, aves e cavalos), os próprios excrementos humanos também podem ser transformados em biogás e biofertilizante, resolvendo com isso, o problema sanitário representado pelas "casinhas", como são conhecidas no interior as latrinas. Tais privadas costumam ser construídas de forma extremamente precária, ocasionando o transbordamento das fezes humanas em temporadas de muita chuva e atraindo grande quantidade de insetos, especialmente moscas.

Segundo Gaspar (2003), é com o binômio biogás-biofertilizante que "mais de cem milhões de chineses, com seus biodigestores "homemade", conseguem energia suficiente para suas necessidades domésticas e adubo para fertilizar suas plantações", além de manter o meio ambiente "livre de verminoses, esquistossomoses, hepatites e doenças entéricas".

Ainda na linha das vantagens, o biogás, pode ser usado na substituição do gás de cozinha e também alimentar lampiões a gás. Um motor destinado a acionar uma bomba d'água, um pequeno moinho ou uma descaroçadeira de algodão pode funcionar perfeitamente à base de biogás. O mesmo pode ser feito com uma geladeira a gás, uma chocadeira, secadores de grãos, geradores de energia elétrica ou ventiladores destinados a refrescar o ambiente interno de granjas.

Além disso, segundo Gaspar (2003), em regiões onde a temperatura média se encontra estável (geralmente acima de 20 °C), não há necessidade de aquecer a água a ser adicionada aos dejetos. Em locais onde a temperatura cai bruscamente durante certos meses, o aquecimento pode ser feito com a energia produzida pelo próprio biogás.

Em síntese, conforme Gaspar (2003) os benefícios do biogás podem ser visualizados melhor através da observação dos dados da tabela 3, calculados para uma residência com 5 pessoas. O consumo total de biogás em uma propriedade rural determina a quantidade de biomassa e de animais necessários para se obter a produção necessária. Este cálculo deve ser levado em conta na hora de planejar as dimensões do biodigestor.

Tabela 3: Relação de consumo de biogás em equipamentos

EQUIPAMENTOS	UNIDADE	CONSUMO
Lampião (cada)	m ³ /h	0,14
Cozimento (5 pessoas x 0,23 m ³)	m ³ /h	1,15
Fogão	m ³ /dia/pessoa	0,34
Motor	m ³ /hp/h	0,45
Chuveiro	m ³ /banho de 15 minutos	0,8
Campânula para aquecer pintos	m ³ /h para 1500 kcal	0,162
Geladeira	m ³ /dia	2
Incubadora	m ³ /h/100 l de capacidade	0,05
Geração de eletricidade	m ³ /KW/h	0,62
Total de consumo / dia	m ³	6

Fonte: Gaspar (2003)

3.3.1 Características do biogás

A maioria dos componentes misturados ao biogás (ou biometano, como também é conhecido) não é nociva à saúde. Há, no entanto, uma preocupação especial quando o problema é a armazenagem do gás. O sulfeto de hidrogênio, a partir de determinados níveis de concentração, é altamente corrosivo. Ataca materiais como o cobre, o latão, o aço, entre outros e é tóxico, podendo até levar à morte, se o teor estiver acima de 1 % (nível considerado excepcional nas condições normais do biogás). Isso, no entanto, só acontece se inalados os produtos da combustão por causa da formação de dióxido de enxofre (SO₂).

Além disso, o amoníaco, sempre em concentrações muito fracas, pode ser corrosivo para o cobre, liberando óxido de azoto durante a sua combustão, igualmente tóxico. Os outros gases contidos no biogás, não suscitam problemas em termos de toxicidade ou nocividade. O gás carbônico, em proporção significativa (35 %), ocupa um volume perfeitamente dispensável e exige, quando não suprimido, um aumento das capacidades de armazenamento. Por fim, o vapor de água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado (Zachow, 2000).

Equivalências energéticas: ·

1 m³ de biogás = 5500 kcal, é equivalente a:

	Unidades
Metano	1,7 m ³
Gás de cidade	1,5 m ³
Gasolina	0,8 l
Álcool	1,3 l
Carboneto de Cálcio	2 kg
Gasóleo	0,7 l
Eletricidade	7 kw/h
Madeira	2,7 kg
Carvão de madeira	1,4 kg
Butano	0,2 m ³
Propano	0,25 m ³

3.3.2 Utilização do biogás

A maneira mais prática para a utilização do biogás é o uso em geradores para a produção de energia elétrica, embora seja possível também o uso direto para queima. Mas o rendimento desta transformação é muito baixo, da ordem de 25 % e os geradores quase sempre são de duplo combustível (biogás e diesel). Para motores estacionários, não há necessidade de comprimir o biogás. Já para motores móveis, a compressão torna-se uma imposição prática, de forma a dar autonomia ao veículo.

Para utilizar o biogás como combustível em carros, tratores e caminhões, recomenda-se que ele seja purificado com a remoção do dióxido de carbono para poder ser comprimido a alta pressão.

Há diversas vantagens em substituir gasolina e diesel pelo biogás. Por ser mais leve que o ar, por exemplo, em caso de vazamento este sobe rapidamente e dissipa-se na atmosfera. Além disso, a sua elevada temperatura de ignição, sensivelmente mais elevada que a da gasolina diminui o risco de inflamação por contato com superfícies quentes.

Em áreas rurais, conforme Teixeira (1985), a utilização do biogás deve ser estudada antes da escolha do local e o início da construção do biodigestor, pois diversos fatores influem a otimização da sua produção.

Entre as várias formas viáveis de utilização dos efluentes na geração do biogás, os restos sólidos podem ser usados como volumoso na composição de rações para animais e peixes, como “cama” para animais, em forragem para suínos e como fertilizante, em substituição aos fertilizantes químicos.

Teixeira (1985), comenta que, o biogás pode ser queimado diretamente em fogões, lampiões para iluminação, fornalha para aquecimento de água, secadores de produtos agropecuários, ou alimentando motores de combustão interna para geração de energia mecânica ou elétrica. O biogás também pode ser utilizado para refrigeração e irrigação. Na agropecuária pode substituir o gás GLP e a eletricidade no aquecimento de animais, preparo da ração, lança-chamas para esterilização em máquinas de ordenha e na obtenção de água quente para lavagem de equipamentos e limpeza sanitária das instalações. O biogás pode substituir, praticamente, todos os derivados de petróleo, principalmente, quando utilizado em equipamentos estacionários. Além desses, também o resfriamento do leite é um ótimo meio para utilização do biogás. A adaptação de aparelhos comerciais destinados a gás liquefeito de petróleo, para que sejam alimentados com biogás, geralmente, limita-se, a um aumento no orifício de escape destes aparelhos de forma a possibilitar uma maior vazão e uma checagem no diâmetro da tubulação que o alimenta para conferir a pressão de utilização. Isto significa que o biogás permite a produção de energia elétrica e térmica. Assim, os sistemas que produzem o biogás, podem tornar a exploração pecuária auto-suficiente em termos energéticos, assim como contribuir para a resolução de problemas de poluição de efluentes.

3.3.3 Formação do biogás

Gaspar (2003), afirma que, produto da ação digestiva das bactérias metanogênicas, o biogás é composto, principalmente, por gás Carbônico (CO_2) e Metano (CH_4), embora apresente traços de Nitrogênio (N), Hidrogênio (H) e gás Sulfídrico (H_2S). Ele se forma através da decomposição de matéria orgânica (biomassa) em condições anaeróbicas. O metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas

vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha.

Figueiredo (2007) complementa afirmando que o biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica. Sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, lodo de esgoto, entre outros. É composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano.

Zachow (2000) comenta que, a digestão anaeróbia é um processo segundo o qual algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc, extraindo em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento.

O mesmo autor continua dizendo que a transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbica, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogênica. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou gás. A segunda é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono.

Segundo Gaspar (2003), a decomposição anaeróbica desenvolve-se ao longo de três fases distintas:

a) Período de hidrólise - ocorre a liberação, pelas bactérias, no meio anaeróbico, de enzimas extracelulares, que causam a hidrólise das partículas orgânicas, transformando as moléculas em moléculas menores e solúveis ao meio.

b) Período de acidulação - como o próprio nome indica nesta fase as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos (como ácido láctico e butílico), álcool, como o etanol, e gases, como amônia, hidrogênio e dióxido de carbono, entre outros.

c) Período de metanogênese - aqui as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em álcool (metanol).

O autor afirma que é comum ocorrer uma diminuição na velocidade da cadeia de reações, pois as bactérias acabam ficando isoladas do meio em digestão devido à presença de microbolhas de metano e/ou dióxido de carbono que permanecem em torno das mesmas, isolando-as do contato com a biomassa. Por essa razão, cada biodigestor deve possuir um mecanismo para agitação do meio em digestão (através, por exemplo, de movimentos giratórios do gasômetro), o que provoca o desprendimento destas bolhas em direção à câmara do gás, liberando as bactérias para a continuidade de seu trabalho de degradação orgânica.

Gaspar, (2003) ressalta, ainda, que para a produção de biogás ser satisfatória devem ser atendidos os critérios essenciais de sustentação de vida dos microorganismos anaeróbios (bactérias), como a impermeabilidade do meio metagênico ao contato com o ar atmosférico, temperatura adequada, quantidade suficiente de nutrientes orgânicos, ausência de substâncias tóxicas aos organismos anaeróbicos e teor de água adequado. As atividades biológicas dos microorganismos anaeróbicos, seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, prescindem da presença de oxigênio, o qual, dependendo do tempo de exposição dos microorganismos lhes é fatal. Sabe-se que a decomposição de biomassa em contato com o oxigênio produz dióxido de carbono (CO_2), enquanto que, na ausência de ar (e, portanto, oxigênio) é produzido o gás metano. Qualquer falha na vedação do biodigestor inibe, quando não inviabiliza, a produção de biogás. A escolha do terreno para a instalação do biodigestor e os processos de impermeabilização e vedação (reboco) das paredes do aparelho sejam cuidadosamente executados, a fim de assegurar uma temperatura relativamente estável. Isso devido ao fato da temperatura encontrada no interior da câmara de digestão afeta significativamente a produção de biogás, uma vez que os microorganismos metanogênicos são extremamente sensíveis a alterações bruscas de temperatura.

Zachow (2000) observa que a atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10 °C e nula acima dos 65 °C. A faixa dos 20 °C a 45 °C corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50 °C e os 65 °C temos a fase termófila. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção. Na fase mesófila, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termófila, onde as variações não são aconselháveis.

Gaspar (2003), recomenda que o teor de água deve normalmente situar-se em torno de 90 % do peso do conteúdo total. O excesso ou a falta de água é igualmente prejudicial à produção de biogás. As características específicas das matérias-primas a serem fermentadas devem ditar o teor de água presente na mistura. É simplesmente impossível impedir que determinados elementos prejudiciais aos microorganismos adentrem o biodigestor, dissolvidos na mistura da biomassa. Entretanto, certos elementos, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni, não representam uma grande ameaça se suas concentrações estiverem muito diluídas. A presença destas substâncias pode ser evitada ou minimizada se for feito um estudo criterioso da alimentação dos animais, que contribuem para a formação da biomassa. Alguns tipos de ração podem conter altos teores de alguns desses elementos, e uma simples mudança na dieta dos animais pode ser a solução do problema. O exame da água a ser misturada com a matéria orgânica também é uma medida apreciada para evitar que substâncias nocivas à vida dos microorganismos sejam adicionadas à biomassa que abastece a câmara de digestão.

3.4 Biodigestor

Os biodigestores são aparelhos construídos com a finalidade de abrigar a biomassa e seu produto, o biogás, facilitando a sua distribuição. É necessário esclarecer que o biodigestor não produz o biogás, mas proporciona as condições adequadas para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a biomassa, produzindo esse combustível.

A utilização de biodigestores é uma alternativa tecnológica muito interessante para o gerenciamento dos dejetos de suínos, principalmente porque permite a agregação de valor ao resíduo uma vez que o biogás produzido pode ser empregado com sucesso em sistemas de geração de energia e calor.

Diversos tipos de resíduos podem ser utilizados para carregar os biodigestores. Vários pesquisadores, no entanto, enfatizaram o potencial privilegiado dos dejetos de suínos como substrato na biodigestão anaeróbia.

Entre as vantagens que este processo oferece, incluem-se, entre outras: a) a redução da quantidade de material residual acumulado na fazenda sem destino final planejado; b) a transformação (ou reaproveitamento) da matéria orgânica sem poluir o ar; c) a produção de valiosos subprodutos – como o gás metano – e de resíduo estável como fertilizante e condicionador do solo; e, por fim, d) a economia de energia para a movimentação mecânica.

O processo de digestão que ocorre nos biodigestores compreende a transformação de compostos orgânicos complexos em outras substâncias mais simples, que, metabolizadas, resultam em uma mistura de gases que inclui o gás metano, o gás carbônico, a amônia, o gás sulfídrico e uma série de compostos reduzidos.

A técnica da digestão anaeróbia pode ser utilizada para resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, constituindo forma eficiente de tratamento, por trabalhar quantidades consideráveis de matéria orgânica, e produzir, como resultado, o biogás e o biofertilizante, ambos com várias aplicações práticas na propriedade rural. A matéria orgânica que serve de substrato para a biodigestão anaeróbia é uma substância, vegetal e/ou animal, morta ou parcialmente morta, composta de hidrocarbonetos e seus derivados. Os elementos constituintes da matéria orgânica, passíveis de decomposição, normalmente não são mais dotados de vida ativa. Quando esta ainda existe, no entanto, já está em fase final - como algumas plantas, que, apesar de cortadas, ainda mantêm vida residual, e mesmo os ossos dos animais, que mantêm vida parcial durante longos períodos.

A contribuição principal deste sistema, porém, é que os dejetos produzidos na propriedade são transformados em gás e os resíduos deste processo ainda podem ser utilizados como fertilizantes. E, talvez, uma das medidas mais eficazes no combate à poluição dos rios seja a disseminação da implantação de biodigestores nas propriedades rurais criadoras de suínos.

Neste sentido, o biodigestor também se apresenta como uma fonte alternativa de produção e geração de energia. Evidentemente, a quantidade de energia produzida é, em geral, muito menor que a de uma hidrelétrica, mas, em compensação, os impactos ambientais e sociais aproximam-se do zero, a produção de energia é barata e o aproveitamento dos resíduos animais evita a poluição na medida em que não são mais lançados indiscriminadamente no meio ambiente.

Existem centenas de projetos para construção de biodigestores. Todos, no entanto, constituem-se, inevitavelmente, de duas partes: o tanque digestor (no qual se aloja a biomassa) e o gasômetro ou campânula (onde fica armazenado o biogás). Há dois tipos de sistema: o contínuo e o intermitente. O primeiro é o mais difundido e se adapta à maioria das biomassas, recebe cargas diárias ou periódicas e descarrega o biofertilizante automaticamente. O sistema intermitente, porém, é específico para biomassa de decomposição lenta e de longo período de produção. Recebe a carga total, retendo-a até terminar o processo de biodigestão, quando então é esvaziado e recarregado novamente.

Dito de outra forma, conforme Gaspar (2003), um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (em geral detritos de animais) é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar. Como resultados desta fermentação ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás.

A literatura que trata do assunto ainda apresenta a descrição feita por Silva (2009), os biodigestores são constituídos de um misturador, onde a matéria prima e a água são misturadas; uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbica; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado. A matéria prima utilizada pode ser esterco, poda de árvores, palha de cana-de-açúcar, sendo que até os dejetos humanos podem ser utilizados. A matéria prima é misturada à água para que o meio fique anaeróbico. É nesse momento que as bactérias iniciam o processo de fermentação da matéria orgânica. A preparação consiste em se fazer uma mistura homogênea de 50 % de esterco com 50 % de água. Ela deve ser feita no final da tarde e descansar durante 24 horas, para que haja uma precipitação do material sólido no fundo do tanque e um pré-aquecimento da matéria orgânica, que entrará no biodigestor numa temperatura próxima a de seu interior, facilitando a ação das bactérias. A caixa de carga é construída do tamanho exato da quantidade diária de biomassa, necessária para alimentar o biodigestor. O material previamente misturado e aquecido da caixa de pré-fermentação passa pela caixa de carga e vai para o interior do digestor. A partir do momento que chega ao digestor, inicia-se o processo de fermentação anaeróbica.

O biodigestor é, então, a estrutura física (câmara) onde se processa a degradação da matéria orgânica. Pode ser cilíndrica (mais comum) ou prismática, vertical ou superficial (acima do solo), em sua maioria acompanhada de uma campânula acumuladora do gás

desprendido da digestão da biomassa, o gasômetro. O biogás é basicamente o metano produzido no processo, e sua importância reside no fato de haver equivalência energética com outras fontes de energia.

3.4.1 Tipos de biodigestores

Cada biodigestor tem uma característica. Existem biodigestores de produção descontínua e os de produção contínua (figura 3). Na produção descontínua, o biodigestor é totalmente fechado quando é inserida a biomassa, sendo reaberto somente após a produção de biogás. No modelo de produção contínua, não é necessária a abertura do biodigestor a cada ciclo. Na medida em que a biomassa é introduzida, o biofertilizante também é retirado.

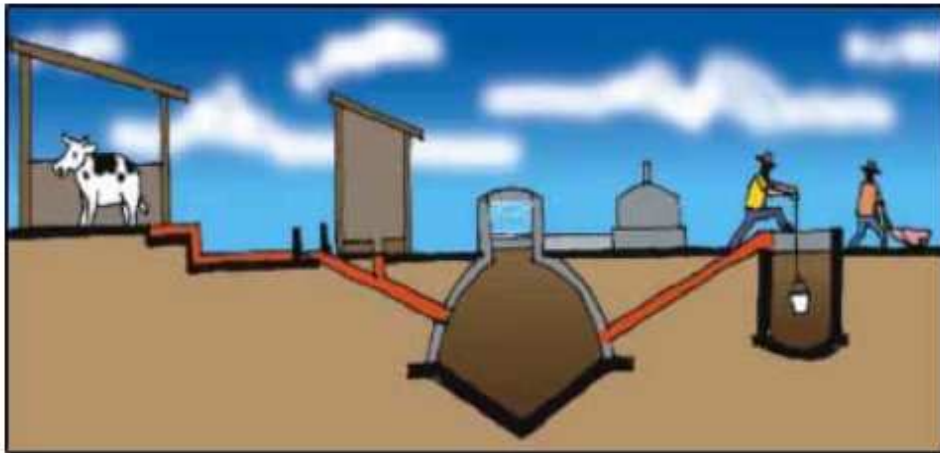


Figura 3: biodigestor de produção contínua
Fonte: castanho 2008

Os modelos de biodigestores mais conhecidos e utilizados no Brasil são os modelos contínuos (o modelo Indiano, o modelo Chinês) e o modelo Canadense.

3.4.1.1 Biodigestor modelo Canadense

O biodigestor modelo Canadense (figura 4) é horizontal, com largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande quantidade de produção de biogás.



Figura 4: Biodigestor modelo canadense
Fonte: Castanho(2008)

3.4.2.2 Biodigestor modelo chinês

O biodigestor modelo Chinês (figura 5) foi desenvolvido para ser usado em pequenas propriedades rurais. É um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaço.



Figura 5: Biodigestor modelo chinês
Fonte: Castanho (2008)

3.4.2.3 Biodigestor modelo indiano

O biodigestor Indiano (figura 6) tem o processo de fermentação mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa pouco espaço e a construção, por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto.



Figura 6: Modelo indiano
Fonte: Castanho (2008)

3.4.2 Biofertilizante

Coldebella (2006) define que, biofertilizante é o nome dado à biomassa fermentada que fica no interior do biodigestor, em sua maioria sob forma líquida, rica em nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio e material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização. Teixeira (1985) diz que o biofertilizante, quando aplicado ao solo, melhora

suas qualidades físicas, químicas e biológicas podendo substituir, total ou parcialmente, o adubo químico, melhorar a estrutura do solo e auxiliar na retenção de água.

O biofertilizante tem o grande poder de recuperar solos cansados, melhorar sua textura, torná-los mais resistente contra a erosão, proporcionando o restabelecimento das características físicas e biológicas originais. Assim é muito mais fácil e interessante cuidar do equilíbrio orgânico do solo, pois em solo sadio as plantas crescem saudáveis. As características químicas de um solo podem ser recuperadas através de adubos químicos, mas as físicas e biológicas só o podem ser através de adição de matéria orgânica. O excesso de adubo químico provoca a mineralização do solo, além de matar as bactérias naturais. Com isto, inicia-se um ciclo vicioso, onde o solo, estando indefeso, permite que outros microorganismos ataquem as plantas, sendo necessária a aplicação de defensivos em doses mais elevadas. Os defensivos matam também os predadores naturais das pragas, agravando o problema e exigindo defensivos cada vez mais potentes.

O biofertilizante, ao contrário dos adubos químicos, melhora a estrutura do solo, deixando-o mais permeável e mais solto, facilitando a penetração de raízes que conseguem absorver melhor a umidade do subsolo, dando às plantas melhores condições de resistir a longos períodos de estiagem. Outra vantagem advinda da aplicação de biofertilizante é que ele deixa a terra com uma estrutura mais porosa, permitindo maior penetração do ar na zona explorada pelas raízes. Assim a respiração dos vegetais é facilitada e eles obtêm melhores condições para se desenvolver.

Pesquisas realizadas na China indicam que o uso de biofertilizante é responsável pelo aumento de produtividade que varia de 10 % (arroz) a até 28 % (para o milho).

O biofertilizante pode ser aplicado à terra tanto no estado líquido como no estado sólido. Quando utilizado no estado sólido, cerca de 50 % do seu teor de nitrogênio se perde.

O efluente do biodigestor, além do uso como biofertilizante, pode servir de alimento para animais e peixes. Quando despejado na forma líquida em lagoas, por exemplo, estimula o crescimento de algas verde-azuis que servem de alimento a peixes como tilápia, carpa, peixes ornamentais e filhotes de camarão.

4 FERRAMENTAL UTILIZADO NO MODELO MATEMÁTICO

4.1 Modelo Matemático

O homem sempre desejou entender o seu planeta e o mundo em geral. As imposições da sobrevivência assim o determinaram. Rodeada de elementos materiais, a primeira necessidade da humanidade foi conquistar o domínio de seu meio ambiente. A segurança contra predadores e fenômenos naturais, a busca da alimentação, a organização social dos núcleos humanos, etc., despertaram os primeiros questionamentos do homem, privilegiando a ação sobre o concreto. Na medida em que as necessidades do espírito humano foram se tornando mais complexas, cresceram as carências por aperfeiçoar o processo de compreensão do mundo. Já na Antiguidade, inúmeras e sofisticadas estruturas de abstração foram se apresentando para representar as propriedades e os diversos graus de interação entre os vários interferentes desse todo. Na impossibilidade de lidar diretamente com a complexidade do mundo, o homem tem se mostrado cada vez mais hábil na criação de metáforas para a representação e solução de sua relação com esse mundo.

Esse processo de busca de uma visão bem estruturada da realidade (esclarecimento) é fundamentalmente um fenômeno de modelagem. A palavra modelo pode ter diversos

significados. Modelo como representação substitutiva da realidade, distingue-se do verbo modelar. O verbo introduz a idéia de simulação da realidade, que é mais ampla que a simples representação.

4.2 Pesquisa operacional

Modelos de Pesquisa Operacional permitem automatizar totalmente os processos operacionais de rotina (como problemas de mistura) e são válidos como instrumentos de análise para decisões não rotineiras (como as estratégicas). (Ehrlich, 1991)

As técnicas de pesquisa operacional se aplicam a processos de seleção de alternativas e de decisão que sejam estruturadas. Os processos de produção e de fluxo (transporte, etc.) são tipicamente estruturados e tornaram-se objeto de aplicações da Pesquisa Operacional.

Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e, através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema (Silva et. al., 1998).

Problemas como os que ocorrem na vida real apresentam dificuldades das mais variadas naturezas. Inicialmente é preciso estabelecer, entre os indivíduos que se propõem a estudar o problema em foco, certo consenso na percepção do problema. Da percepção e da definição de objetivos nasce a concepção do problema como um sistema.

Um estudo em Pesquisa Operacional costuma envolver seis fases (Silva et. al., 1998):

- Formulação do problema;
- Construção do modelo do sistema;
- Cálculo da solução através do modelo;

- Teste do modelo e da solução;
- Estabelecimento de controles da solução;
- Implantação e acompanhamentos.

4.3 Programação Matemática

Em diversas áreas do mundo real existe a escassez de certos produtos ou matéria prima por sua dificuldade de produção e/ou de obtenção, entre outras razões. Esta dificuldade gera problemas para empregar melhor estes recursos escassos de forma eficiente e eficaz. Busca-se, portanto, maximizar ou minimizar uma quantidade (Lucro, Custo, Receita, nº de produtos, entre outros), chamada de objetivo, que depende de um ou mais recursos escassos. Estes processos de otimização de recursos são aplicados a diversas áreas entre as quais, segundo Lachtermacher (2002) pode-se citar:

- Determinação de Mix de Produtos;
- Escalonamento de Produção;
- Roteamento e Logística;
- Planejamento Financeiro;
- Carteiras de Investimento;
- Análise de Projetos;
- Alocação de Recursos de Mídia;
- Designação de Equipe.

A área que estuda a otimização de recursos é denominada de Programação Matemática. Nela a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função

matemática dos recursos (variáveis de decisão) escassos. As relações entre as variáveis são formalizadas através de restrições ao problema expressas como equações e/ou inequações matemáticas. De acordo com Lachtermacher (2002), de uma maneira geral, os problemas de Programação Matemática podem ser representados da seguinte forma:

$$\text{Otimizar: } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{Sujeito à: } \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left. \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right\} \quad (2)$$

Onde:

x_j - representa as quantidades das variáveis utilizadas; (j=1, 2 ... n)

b_j - representa a quantidade disponível de um determinado recurso; (j=1, 2 ... m)

x - vetor de x_j ;

$f(x)$ - função-objetivo;

$g_j(x)$ - funções utilizadas nas restrições do problema;

n - número de variáveis de decisão;

m - número de restrições do modelo.

Por ser uma área muito extensa, a modelagem matemática é subdividida em áreas menores, dependendo do tipo das funções-objetivo e das restrições:

- Programação Linear – Programação Matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas por funções lineares.

- Programação Não-Linear – Programação Matemática em que pelo menos uma das funções-objetivo e/ou restrições são representadas por funções não-lineares. (Lachtermacher, 2002)

4.4 Programação linear

Programação Linear é uma ferramenta de planejamento usada para selecionar as atividades (variáveis de decisão) a serem empreendidas, dado que estas atividades (diversas alternativas) competem entre si pela utilização de recursos escassos (restrições) ou então precisam satisfazer certos requisitos mínimos. O objetivo será maximizar (lucro) ou minimizar (perdas) uma função das atividades (Ehrlich, 1991).

A programação linear visa fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. A grande aplicabilidade e simplicidade que a caracteriza deve-se à linearidade do modelo (Bregalda et. al., 1988).

A tarefa da programação linear consiste na maximização ou minimização de uma função linear, denominada função objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou desigualdades que recebem o nome de restrições do modelo. As restrições representam normalmente limitações de recursos disponíveis (capital, mão-de-obra, recursos minerais ou fatores de produção) ou, então, exigências e condições que devem ser cumpridas no problema. Essas restrições do modelo determinam uma região à qual denomina-se conjunto das soluções viáveis. A melhor das soluções viáveis, isto é, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo denomina-se solução ótima. O objetivo da programação linear consiste na determinação da solução ótima.

A Programação Linear é uma técnica de planejamento que se originou no final da década de 40 e, com o surgimento do computador da década de 50, encontrou seu aliado natural, tendo então um desenvolvimento acelerado e sendo também muito difundida. Costuma-se dizer, também, que a programação linear é um tópico da Pesquisa Operacional, a

qual contém outros tópicos tais como Teoria das Filas, Simulação, Teoria dos Jogos, Programação Dinâmica, PERT/COM, etc. Estudos estatísticos têm demonstrado que a programação linear é hoje uma das técnicas mais utilizadas da Pesquisa Operacional. É comum ver aplicações de programação linear fazerem parte de rotinas diárias de planejamento das mais variadas empresas, tanto nas que possuem uma sofisticada equipe de planejamento como nas que simplesmente adquiriram um software para alguma função de planejamento (Prado, 1999).

De acordo com o autor podemos conceituar a PL como a seguir:

- A PL é uma técnica de otimização.
- A PL é uma ferramenta utilizada para encontrar o lucro máximo ou o custo mínimo em situações nas quais tem-se diversas alternativas de escolha sujeitas a algum tipo de restrição ou regulamentação.

4.4.1 Programação linear inteira

Problemas de Programação Linear Inteira são problemas de programação matemática em que uma ou mais variáveis de decisão são representadas apenas por valores inteiros. Estes problemas podem apresentar dois tipos básicos conforme Lachtermater (2002):

- Programação Inteira Total: todas as variáveis de decisão são do tipo inteiro.
- Programação Inteira Mista: apenas uma parte das variáveis é do tipo inteiro, enquanto outras são do tipo real

4.5 Análise econômica

A análise econômica do empreendimento consiste em fazer estimativas dos gastos envolvendo o investimento inicial, a operação e manutenção e as receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa relativo a esses investimentos, custos e receitas e determinar quais serão os indicadores econômicos conseguidos com esse empreendimento. Comparando-se esses indicadores econômicos com o que se espera obter com outras alternativas de investimento de capital, pode-se concluir sobre a viabilidade do empreendimento.

Os critérios de tomada de decisão baseados em análise de viabilidade econômica geralmente são: a Taxa Interna de Retorno (TIR); o Valor Presente Líquido (VPL); o Período de Recuperação do Capital (PRK).

O valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento é igual ao valor presente de suas entradas de caixa menos o valor presente de suas saídas de caixa. Para cálculo do valor presente das entradas e saídas de caixa é utilizada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como taxa de desconto. O valor presente líquido calculado para um projeto significa o somatório do valor presente das parcelas periódicas de lucro econômico gerado ao longo da vida útil desse projeto. O lucro econômico pode ser definido como a diferença entre a receita periódica e o custo operacional periódico acrescido do custo de oportunidade periódico do investimento (Costa, 2009).

Podem-se ter as seguintes possibilidades para o Valor Presente Líquido de um projeto de investimento:

- i) Maior do que zero: significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior do que o valor presente das saídas de caixa;
- ii) Igual a zero: o investimento é indiferente pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa;
- iii) Menor do que zero: indica que o investimento não é economicamente atrativo porque o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa.

O Método da Taxa Interna de Retorno é aquele que permite encontrar a remuneração do investimento em termos percentuais. Encontrar a TIR de um investimento é o mesmo que encontrar sua potência máxima, o percentual exato de remuneração que o investimento oferece (Pilão, 2003).

O período de recuperação do capital (PRK) é o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados. (Lapponi, 2000)

5 DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

5.1 Modelo Proposto

O Valor Presente Líquido (*VPL*), é o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto, que permite analisar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo. (Lapponi, 2000)

$$VPL = -II + \sum_{j=1}^n \frac{FEj}{(1+r)^j} \quad (3)$$

Onde:

FEj: fluxo econômico do projeto por período;

n: número de períodos que representa o horizonte do projeto;

j: duração de um período em dias;

r : taxa de juros cobrada por período.

A construção do modelo matemático foi baseado no ferramental da programação linear inteira. O modelo consiste em determinar valores para a variável *x*, de tal forma que maximize o valor do VPL (Valor Presente Líquido) descrito na função-objetivo, considerando que o melhor projeto é aquele em que o VPL é maior. O modelo apresentado a seguir foi simulado por um programa desenvolvido no

software Matlab, o qual utiliza o método simplex para a resolução do problema de programação linear.

$$\max \left(VPL = -C + \sum_{t=1}^n \left(\left((R_{bio} + R_{vendasui} + R_{biogás} + T * P_c * E_p) * x - (G_e + N_f * S_f * m_e + C_{mger} + C_{mbio} + C_{mlag} + C_{mgal} + J(t)) \right) / (1+k)^t \right) \right) \quad (4)$$

Onde a variável x , representa o número de suínos.

Os coeficientes da função-objetivo são coeficientes constantes ou variáveis:

Coeficientes constantes:

C = capital inicial investido;

T = total de horas do período analisado;

P_c = valor de mercado da energia produzida;

E_p = energia produzida;

$R_{vendasui}$ = receita por suíno;

R_{bio} = receita pela utilização de biofertilizante;

$R_{biogás}$ = receita pela produção de energia utilizando o biogás;

x = número de suínos;

k = taxa mínima de atratividade

G_e =gasto com energia;

S_f =salário dos funcionários;

m_e =período em meses;

C_{mger} =custo de manutenção do gerador;

C_{mbio} =custo de manutenção do biodigestor;

C_{mlag} =custo de manutenção das lagoas;

C_{mgal} =custo de manutenção dos galpões de instalação dos suínos;

Coefficientes variáveis:

t = duração de um período em anos

N_f =número de funcionários;

$J(t)$ =juros cobrados em função do tempo de financiamento;

5.2 Restrições do modelo

5.2.1 Restrição a respeito do número de suínos

Esta restrição indica que é preciso que se tenham variáveis inteiras e maiores ou igual a zero, considerando que pertençam ao Conjunto dos Números Naturais, por se tratar de suínos.

$$x \geq 0 \in N \quad (5)$$

Onde:

x = número de suínos

N = números naturais

5.2.2 Restrição com respeito a geração de energia

Esta restrição informa quanta energia pode ser gerada pelo motor-gerador anualmente.

$$E_p \leq v_d * B_{mo} * E_{cb} * E_{bee} * x \quad (6)$$

Onde:

E_p = energia produzida;

v_d = volume de dejetos produzido por suíno;

B_{mo} = biodegradabilidade da matéria orgânica;

E_{cb} = eficiência de conversão no biodigestor;

E_{bee} = conversão do biogás em energia elétrica;

5.2.3 Restrição a respeito do custo de manutenção

Esta restrição informa o custo para a manutenção do projeto

$$C_{man} \geq (C_f + C_a + C_{ma}) * x + C_{ger} + C_{bio} + C_{lag} + C_{gal} \quad (7)$$

Onde:

C_{man} = custo de manutenção;

C_f = Custo com os funcionários;

C_a = custo com alimentação;

C_{ma} = custo de manutenção dos animais;

C_{ger} = custo de gerador;

C_{bio} = custo do biodigestor;

C_{lag} = custo das lagoas;

C_{gal} = custo dos galpões;

5.2.4 Restrição a respeito da área utilizada:

Esta restrição informa a área necessária para o empreendimento desejado

$$A_{disp} \geq A_{bio} + A_{inst} + A_{lag} \quad (8)$$

Onde:

A_{disp} = área disponível na propriedade para a instalação do sistema de biodigestão e criação de suínos;

A_{bio} = área ocupada com a instalação do biodigestor;

A_{inst} = área ocupada com as instalações dos suínos;

A_{lag} = área ocupada pelas lagoas;

5.2.5 Restrição a respeito do capital inicial investido

Esta restrição informa qual o custo de investimento inicial para o projeto

$$C \geq (P_c + I_g + C_{bio} + C_{ger} + C_{lag}) * x \quad (9)$$

Onde:

C = Capital inicial;

P_c = Preço da energia cobrada pela concessionária;

I_g = custo do metro da instalação por cabeça de suínos por metro;

C_{bio} = Custo do biodigestor;

C_{lag} = Custo das lagoas

C_{ger} = Custo do gerador;

5.3 Análise de rentabilidade

A receita líquida pode ser obtida pela diferença entre as receitas totais (RT) e os custos totais (CT).

As receitas totais podem ser descritas através da equação:

$$RT = (T * P_c * E_p + G_s) * x + R_{bio} \quad (10)$$

Onde:

RT = receita total;

T = total de horas analisado;

P_c = preço da energia cobrada pela concessionária;

E_p = energia produzida;

G_s = ganho por suíno;

R_{bio} = receita do biofertilizante;

Os custos totais podem ser descritos pela equação:

$$CT = (G_e + N_f * S_f) * m_e \quad (11)$$

Onde:

CT = custos totais;

G_e = gasto com energia;

m_e = meses do período;

N_f = número de funcionários;

S_f = salário dos funcionários.

Conhecida a receita líquida, calcula-se então o fluxo econômico anual ou total, utilizando as seguintes equações:

Fluxo econômico anual:

$$FE = RL - C_{ger} - P_i - L \quad (12)$$

Onde:

FE = fluxo econômico;

RL = receita líquida;

C_{ger} = custo do motor gerador;

P_i = gasto com pintura das instalações;

L = gasto na troca das lonas.

Fluxo econômico total:

$$FET = C + FE \quad (13)$$

Onde:

FET = fluxo econômico total;

C = capital inicial;

FE = fluxo econômico.

O VPL pode ser descrito através da equação:

$$VPL = -II + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (14)$$

Onde FE_j representa o fluxo econômico do projeto por período, n o número de períodos que representa o horizonte do projeto, j a duração de um período e r a taxa de juros cobrada por período

A TIR pode ser calculada, utilizando as equações abaixo:

$$\sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+\alpha)^j} = 0 \quad (15)$$

Onde FE_j representa o fluxo econômico do projeto por período, n o número de períodos que representa o horizonte do projeto, j a duração de um período e α a taxa interna de retorno

O período de recuperação do capital (PRK) é definido pelo prazo de tempo necessário para a recuperação dos desembolsos.

5.4 Dimensionamento das instalações dos suínos

No momento de iniciar a construção das instalações para criação de suínos é de fundamental importância determinar o número de suínos que se quer criar em cada galpão, pois cada suíno necessita de um espaço mínimo de 1 m². O tamanho do galpão também interfere no custo inicial sendo C_{gal} o valor gasto para a construção dos galpões de instalação dos suínos. Sendo assim, o cálculo do tamanho das instalações pode ser feito a partir da equação 3:

$$T_i = x * E_s \quad (16)$$

Onde:

T_i = Tamanho da instalação (galpão);

x = Número total de animais;

E_s = espaço por suíno;

5.5 Dimensionamento das lagoas

Conforme Perdomo (2009), o dimensionamento das lagoas deve ser feito em função da carga orgânica (DBO) e do tempo de retenção hidráulica. O tamanho das lagoas também interfere no custo inicial sendo C_{lag} o valor gasto para a construção das lagoas. O dimensionamento pode ser feito de acordo com as equações abaixo:

$$L_1 = S_o * Q \quad (17)$$

$$V_1 = \frac{L_1}{C_v} \quad (18)$$

$$V_2 = trhl * Q \quad (19)$$

Onde:

L_1 =Cálculo da carga aplicada na lagoa 1;

L_2 =Cálculo da carga aplicada na lagoa 2;

S_o =DBO do afluente;

Q =Vazão do afluente;

V_1 =Estimativa do volume requerido para a lagoa 1;

V_2 =Estimativa do volume requerido para a lagoa 2;

C_v =Carga volumétrica aceitável dos dejetos;

$trhl$ =tempo de retenção hidráulica aumentado;

5.6 Dimensionamento do biodigestor

Conforme Winrock (2008), existem vários modelos de biodigestores, os mais simples possuem um único estágio, alimentação contínua e sem agitação. O tempo de retenção dos dejetos (tempo de retenção hidráulica) depende da capacidade das bactérias em degradar a matéria orgânica. O tamanho do biodigestor também interfere no custo inicial sendo C_{bio} o valor gasto para a instalação do biodigestor.

Para determinar o tamanho ideal do biodigestor, primeiramente deve-se calcular o volume total de dejetos por dia (m^3/dia), expresso pela equação 19:

$$V_{dd} = x * v_d \quad (20)$$

Onde:

V_{dd} = Volume total de dejetos por dia (m^3/dia);

x = Número total de animais;

v_d = volume total de dejetos produzidos por animal (m^3/dia);

Tendo-se o V_{dd} , o tamanho do biodigestor pode ser calculado a partir do produto da carga diária e do tempo de retenção, conforme a equação 8:

$$TB = V_{dd} * TRH \quad (21)$$

Onde:

TB = Volume do biodigestor (m^3);

V_{dd} = volume da carga diária (dejetos + água) (m^3/dia);

TRH = Tempo de retenção hidráulica;

5.7 Determinação do volume de biogás produzido por dia

É importante que o produtor saiba a quantidade de biogás produzido por dia, pois a partir deste dado, serão obtidos a energia que pode ser obtida e o gerador necessário para a transformação de biogás em energia elétrica.

O chorume, resíduo geralmente diluído em água de lavagem é quantificado em 72 litros por dia/cabeça de suíno e com uma Demanda Química de Oxigênio de 33 g/litro. (Souza et al., 2004)

Souza et al. (2009) explica que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é utilizada para estimar a produção teórica de metano, Potencial Bioquímico do Metano – Bmp em processos anaeróbios. A produção teórica de metano assume sempre um valor fixo, expresso em função da DQO, onde 1 kg de DQO convertido corresponde a 0,35 m³ de metano (CH₄). A conversão do chorume em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência de conversão no biodigestor (85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (5%). Um suíno tem uma produção média de 72 litros/dia, o que corresponde a uma carga orgânica de 2,376 kg de DQO. Considerando-se a eficiência do processo (60,5%), a produção de metano em função da carga orgânica seria da ordem de 0,504 m³/cabeça dia, sendo portanto a produção de biogás de 0,504/0,65 = 0,775 m³ de biogás/cabeça de suíno/dia.

Levando em consideração os dados acima, pode-se determinar a quantidade de biogás produzido pelo biodigestor, em m³ por dia, calculando pelas fórmulas apresentadas a seguir a demanda química de oxigênio (22), a conversão da massa de demanda química de oxigênio (23), a eficiência do processo (24), para finalmente se poder calcular a quantidade de biogás produzido por dia em m³ (25).

$$DQO = V_{dd} * 0,33 \quad (22)$$

$$Metano = DQO * 0,35 \quad (23)$$

$$Metano \text{ final} = Metano * 0,605 \quad (24)$$

$$Biogas = \frac{Metano \text{ final}}{0,65} \quad (25)$$

Onde:

DQO = demanda química de oxigênio;

V_{dd} = volume da carga diária (dejetos + água) (m^3/dia);

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a validação do modelo matemático construído, serão utilizados dados coletados na Propriedade de Reno Bohrz e filhos, localizada no município de Ibirubá/RS, com 3 galpões de instalação dos suínos, 2 lagoas e um biodigestor. A propriedade trabalha com sistema de terminação de suínos, vinculada com a empresa Cotribá. Possui cerca de 3000 suínos na faixa de 23 a 110 kg. Dois funcionários fazem a manutenção da atividade e o biofertilizante é utilizado em 35 ha da propriedade.

Esta etapa do trabalho levará em consideração alguns parâmetros para a construção dos cenários, estes são descritos na tabela 4:

Tabela 4: Parâmetros para construção de cenários

Variáveis	valores utilizados
Número de cabeças de suínos (unidades)	1000 ~ 5000
Vida útil do biodigestor (anos)	20
Tempo de retenção hidráulica (dias)	21
Tempo de retenção hidráulica aumentado (dias)	30
Número de horas que o motor deve funcionar por dia (horas)	24
Valor do kW da energia cobrada pela concessionária (R\$)	0,26
Ganho por cabeça de suínos (R\$)	15
Gasto com energia elétrica (R\$)	320
Número de funcionários (unidades)	2
Salário dos funcionários (R\$)	580
Comprimento do biodigestor (metros)	24
Largura do biodigestor (metros)	9
Profundidade do biodigestor (metros)	5,5
Vida útil das lonas do biodigestor (anos)	10
Vida útil do motor (horas)	8000
Taxa de juros anual (%)	6,5
Anos para pagar o financiamento (anos)	10
Número de amortizações (unidades)	9
Número de anos de carência (anos)	1
Quantidade de adubo utilizado na área que será utilizado o biofertilizante (toneladas)	850
Número de ha que será utilizado o biofertilizante (ha)	35
Preço gasto por tonelada com adubo convencional (R\$)	34,5

A partir do modelo em estudo e dos parâmetros mostrados na tabela 4, foram gerados diversos cenários, cada um buscando simular resultados de acordo com as diferentes situações.

Cenário 1 – Utilização de biofertilizante

Os cenários 1A, 1B e 1C mostram valores considerando o uso ou não do biofertilizante produzido na propriedade. Os produtores rurais geralmente recorrem ao uso de adubos químicos nas plantações a um custo elevado. O aproveitamento do biofertilizante que sobra no biodigestor após a produção do biogás pode reduzir consideravelmente a quantidade de adubos químicos e a economia resultante pode ser computada como receita.

O Cenário 1A mostra resultados para taxa mínima de atratividade de 0%, o que representa que o produtor não espera retorno financeiro.

Tabela 7: Cenário considerando o uso ou não de biofertilizante para $k=0$.

	Com Biofertilizante			Sem Biofertilizante		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,29	530604,26	1020642	1519057,3
RT	2208406,1	5921418,3	9634430,5	1856506,1	5569518,3	9282530,5
RL	1677801,84	490077,33	8115373,21	1325901,84	4548876,3	7763473,2
FE	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1099344,98	3910523,1	6706283,6
VPL	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1099344,98	3910523,1	6706283,6
TIR	10,97	10,88	10,82	9,66	10,47	10,57
PRK	3	3	3	4	4	4

O Cenário 1B mostra resultados para taxa mínima de atratividade de 6 %.

Tabela 5: Cenário considerando o uso ou não de biofertilizante para $k=0,06$

	Com Biofertilizante			Sem Biofertilizante		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,29	530604,26	1020642	1519057,3
RT	2208406,1	5921418,3	9634430,5	1856506,1	5569518,3	9282530,5
RL	1677801,84	490077,33	8115373,21	1325901,84	4548876,3	7763473,2
FE	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1099344,98	3910523,1	6706283,6
VPL	726456,85	2127077,7	3515239,58	524643,58	1925264,5	3313426,3
TIR	14,3	14,2	14,14	12,92	13,77	13,88
PRK	3	3	3	4	4	4

O Cenário 1C mostra resultados para taxa mínima de atratividade de 12 %.

Tabela 6: Cenário considerando o uso ou não de biofertilizante para $k=0,12$

	Com Biofertilizante			Sem Biofertilizante		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,29	530604,26	1020642	1519057,3
RT	2208406,1	5921418,3	9634430,5	1856506,1	5569518,3	9282530,5
RL	1677801,84	490077,33	8115373,21	1325901,84	4548876,3	7763473,2
FE	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1099344,98	3910523,1	6706283,6
VPL	390957,8	1137682,9	1873467,07	259532,94	1006258,1	1742042,2
TIR	18,11	18	17,93	16,65	17,54	17,66
PRK	3	3	3	4	4	4

Pela análise dos cenários de 1A até 1C, pode-se observar que o período de retorno do capital investido sem o uso do biofertilizante é de 4 anos, e com o uso, este período tem redução de um ano e o valor do VPL aumenta.

Na figura 7, é apresentado o VPL do cenário 1A.

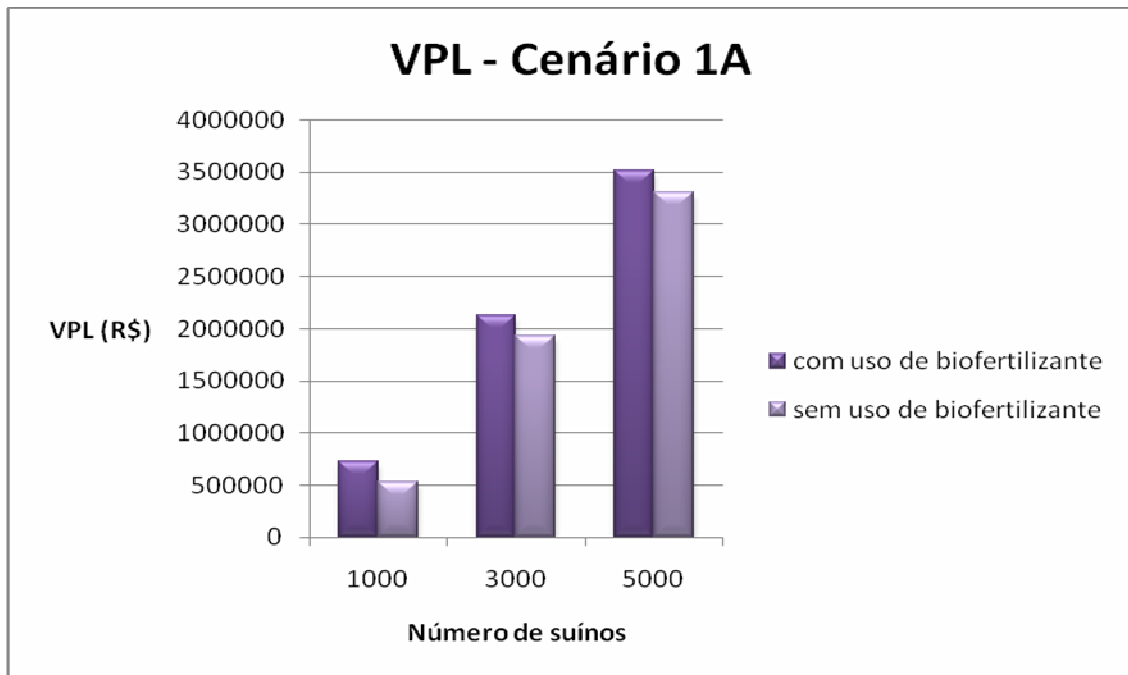


Figura 7: VPL considerando o número de suínos e o uso ou não do biofertilizante

Cenário 2 – Utilização do biogás

O biogás produzido pode ser utilizado de diversas formas e a quantidade utilizada varia de acordo com as necessidades da propriedade. Nesse sentido, os cenários de 2A, 2B e 2C simulam o uso total ou parcial (70 %) do biogás. Cada cenário contém valores diferentes em relação a taxa mínima de atratividade.

O Cenário 2A mostra resultados para taxa mínima de atratividade de 6 %.

Tabela 8: Cenário considerando o uso total ou parcial (70 %) de biogás para $k=0,06$

	Uso total de Biogás			Uso parcial de Biogás (70%)		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,3	530604,3	1018024	1501255
RT	2208406,1	5921418	9634430,5	2011454	5330563	8649671
RL	1677801,8	490077,3	8115373,2	148085	4312539	7148416
FE	1451245	4262423	70581837	1254293	3676386	6106187
VPL	716456,85	2127078	3515239,6	613505,8	1792118	2976960
TIR	14,3	14,2	14,14	13,56	13,48	13,48
PRK	3	3	3	4	4	4

O Cenário 2B mostra resultados para taxa mínima de atratividade de 12 %.

Tabela 9: Cenário considerando o uso total ou parcial (70 %) de biogás para $k=0,12$.

	Uso total de Biogás			Uso parcial de Biogás (70%)		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,3	530604,3	1018024	1501255
RT	2208406,1	5921418	9634430,5	2011454	5330563	8649671
RL	1677801,8	490077,3	8115373,2	148085	4312539	7148416
FE	1451245	4262423	70581837	1254293	3676386	6106187
VPL	390957,8	1137683	1873467,1	317401,8	920433,9	1528937
TIR	18,11	18	17,93	17,33	17,24	17,24
PRK	3	3	3	4	4	4

O Cenário 3C apresenta resultados para taxa mínima de atratividade nula, o que representa que o produtor não espera retorno financeiro.

Tabela 10: Cenário considerando o uso total ou parcial (70 %) de biogás para k=0

	Uso total de Biogás			Uso Parcial de Biogás (70%)		
	1000	3000	5000	1000	3000	5000
CT	530604,26	1020642	1519057,29	530604,26	1018024	1501254,9
RT	2208406,1	5921418,3	9634430,5	2011454,27	5330562,8	8649671,4
RL	1677801,84	490077,33	8115373,21	148085,01	4312538,8	7148416,5
FE	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1254293,15	3676385,6	6106186,8
VPL	1451244,98	4262423,1	7058183,55	1254293,15	3676385,6	6106186,8
TIR	10,97	10,88	10,82	10,27	10,19	10,2
PRK	3	3	3	4	4	4

Através dos cenários de 2A a 2C, pode-se observar que o uso total do biogás mostra valores mais elevados no VPL, porém, sem variação do PRK. Isto significa que o projeto continua atrativo mesmo que o gás seja apenas parcialmente utilizado.

Da mesma forma, pode-se observar o mesmo comportamento do VPL na figura 8, com taxa mínima de atratividade de 6 % (cenário 2A) para diferentes números de animais.

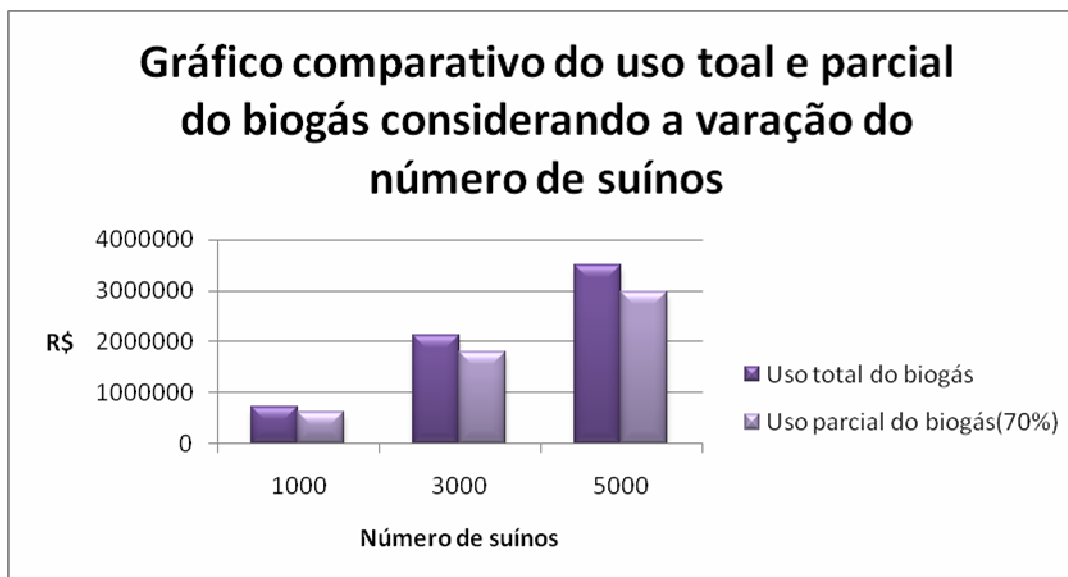


Figura 8: Gráfico comparativo do uso total e parcial do biogás considerando a variação do número de suínos

Cenário 3A – Utilização de Empréstimo

O produtor pode ou não ter disponível o capital necessário para o investimento inicial no projeto. Se não tiver este capital disponível ou não quiser utilizá-lo, poderá fazer um financiamento. Os cenários 3A, 3B e 3C mostram o valor total dos juros (VTJ) e o valor total das prestações (VTP) para o período de 10 anos considerando 1000, 3000 e 5000 suínos, variando a taxa anual de juros bancários.

O cenário 3A considera a taxa de juros anual de 6,5 %

Tabela 11: Cenário considerando o valor total dos juros e o valor total das prestações para 1000, 3000 e 5000 suínos e taxa de juros de 6,5 %

	1000 suínos	3000 suínos	5000 suínos
VTJ	80557,7	240300,29	398670,09
VTP	273689,61	816404,84	1354456,07

O cenário 3B considera a taxa de juros anual equivalente a 12 %

Tabela 12: Cenário considerando o valor total dos juros e o valor total das prestações para 1000, 3000 e 5000 suínos e taxa de juros de 12 %.

	1000 suínos	3000 suínos	5000 suínos
VTJ	148721,9	443631,31	736006,32
VTP	330493,12	985847,36	1635569,6

Os dois cenários mostram que quanto maior a taxa de juros, maior será o valor dos juros a pagar, mas, como estes dados estão inclusos no VPL calculado nos outros cenários, pode-se afirmar que mesmo com o financiamento o projeto é viável.

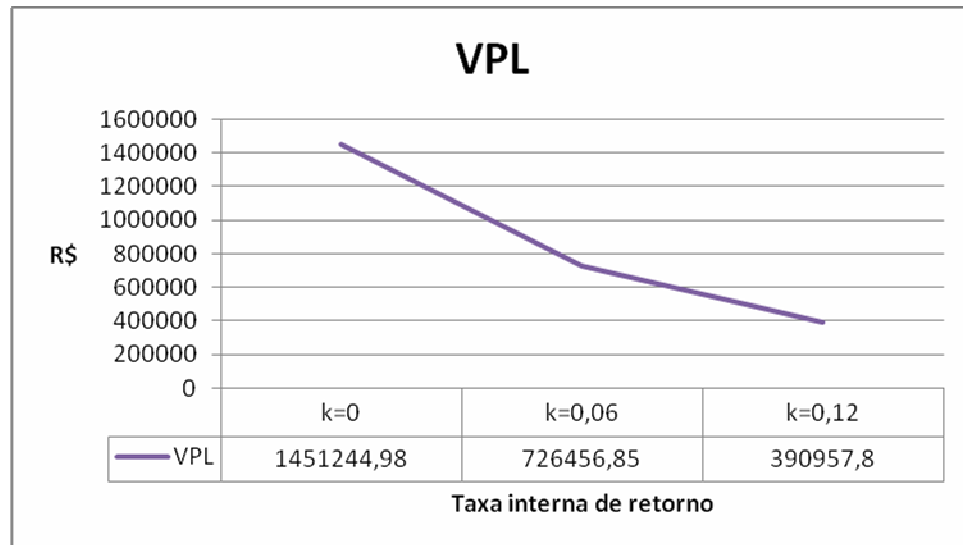


Figura 9: Cálculo do VPL para diferentes taxas mínimas de atratividade

A Taxa Interna de Retorno de um investimento pode ser:

- i) Maior do que a Taxa Mínima de Atratividade: significa que o investimento é economicamente atrativo;
- ii) Igual à Taxa Mínima de Atratividade: o investimento está economicamente numa situação de indiferença;
- iii) Menor do que a Taxa Mínima de Atratividade: o investimento não é economicamente atrativo, pois seu retorno é superado pelo retorno de um investimento sem risco.

Entre vários investimentos, o melhor será aquele que tiver a maior Taxa Interna de Retorno. (Costa, 2009)

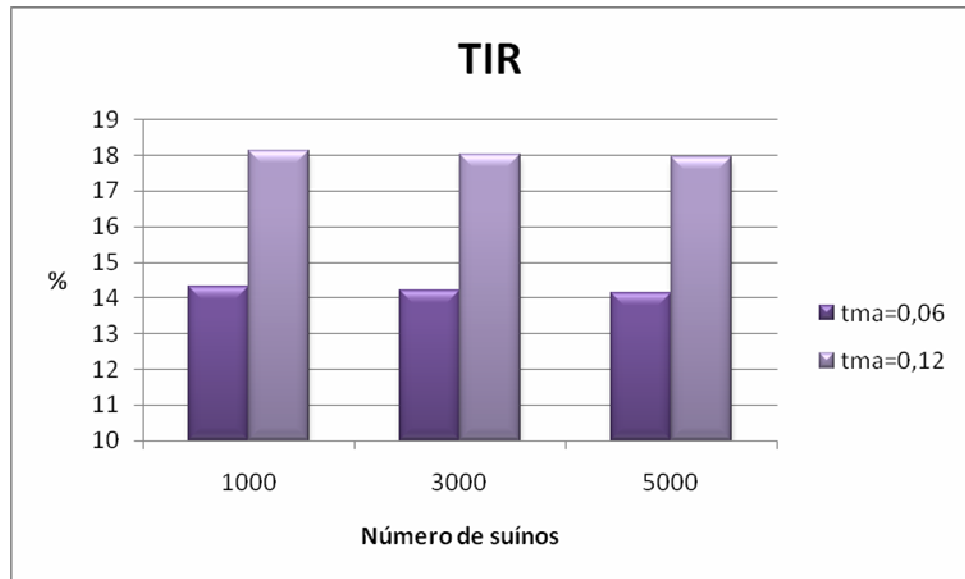


Figura 10: Cálculo da TIR variando a taxa mínima de atratividade e o número de suínos

Pereira (2009) realizou um trabalho semelhante a este com matrizes criadeiras. Levando em conta que o volume de dejetos é diferente e que não foi considerado o uso de biofertilizante, nota-se, na análise dos cenários, que o período de recuperação do capital é maior. É possível concluir, portanto, que a utilização do biofertilizante representa uma fatia interessante no cálculo da receita, interferindo diretamente no período de recuperação do capital investido.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É inegável que o uso do modelo matemático pode representar grande ajuda na análise da viabilidade econômica em diversos projetos. No caso em pauta ficou comprovado que a utilização do modelo proposto, desenvolvido para a implantação de biodigestores contínuos em propriedades rurais que desenvolvem a atividade de criação de suínos em fase de terminação dá uma boa informação sobre as variáveis econômicas analisadas. Apesar da necessidade de um alto investimento inicial, os resultados obtidos mostram que a atividade estudada é lucrativa e pode melhorar significativamente a qualidade de vida dos investidores.

Através dos resultados obtidos pode-se observar que independentemente se for utilizado 1000, 3000 ou 5000 suínos, tem-se um bom rendimento mostrado pelo valor presente líquido (VPL). Porém se estes valores forem analisados, percebe-se que para 1000 suínos tem-se um valor de VPL proporcionalmente maior.

Observa-se que além de aproveitar o biogás produzido no biodigestor também pode ser utilizado o biofertilizante que é a sobra dos dejetos que fica no biodigestor. Conforme mostram os resultados, a receita líquida quando usado o biofertilizante é maior que quando não é utilizado. Por consequência o período de recuperação do capital também será menor quando utilizado o biofertilizante do que quando não for utilizado. Isso mostra que o biofertilizante é uma fonte de receita além de ser uma atividade ecologicamente correta, contribuindo para a vida de toda sociedade.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implantação dos créditos de carbono no modelo matemático desenvolvido, de acordo com o que prevê o Protocolo de Kyoto (1997) em relação à diminuição da emissão de gases poluentes que podem ser convertidos em créditos e vendidos nos mercados financeiros nacionais e internacionais, o que retorna ao produtor como receita. No caso analisado há uma produção de 193m³ por dia de biogás, sendo que cada m³ de biogás equivale a 19 euros, sendo aproximadamente R\$ 50,00, geraria uma renda média diária de R\$ 9650,00.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ª Ed. Brasília:ANEEL, 2005

Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª Ed. Brasília:ANEEL, 2008

Bezerra, Arnaldo Moura. **Aplicações térmicas da energia solar.** 2ª Ed. Editora universitário/UFPb. João Pessoa. 1986.

BIPERS: Boletim informativo, pesquisa e extensão. Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos. Agosto, 2002.

Botoni, Edson da Costa, et al. **Operação otimizada de grupos geradores em pequenas centrais hidrelétricas.** 3º simpósio de especialistas em operação de centrais hidrelétricas.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Energia da Biomassa: alavanca de uma nova política industrial.** Brasília, STI/CIT, 1986.

Bregalda, Paulo F.; Oliveira, Antonio A. F. de; Bornstein, Cláudio T., **Introdução à programação linear.** 3ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1988

Castanho, Diego Solak, et. al. **Biodigestores.** In: VI semana de tecnologia em alimentos. UTFPR. Ponta Grossa. Paraná.

Coldebella, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** UNIOESTE. Cascavel. Paraná. 2006.

Costa, Rodrigo. **Guto: Análise Financeira.** Universidade federal de Pernambuco . Disponível em : www.cin.ufpe.br/~rac2/empreendimentos/AnaliseFinanceira.doc Acesso em: 10/10/2009

Deganutti, Roberto. et. al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. UNESP. Bauru. São Paulo. Acesso em 07/10/2008 Disponível em: <http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2002/0004.pdf>

Durigon, Josiane Costa. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de sistemas eólicos em propriedades rurais**. Dissertação de mestrado. 2008

Ehrlich, Pierre Jacques. **Pesquisa Operacional. Curso Introdutório**. 7ª edição. Editora Atlas. 1991. São Paulo – SP

Emilio Cometta. **Energia Solar: Utilização e empregos práticos**. Editora hemus. 2004.

Figueiredo, Natalie Jimenez Vérdi de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso**. Monografia de graduação. São Paulo. 2007.

Filho, Schmidt Edison. **Influência da aplicação de dejetos de suínos integrada a produção vegetal sobre o comportamento do fósforo em quatro solos do Paraná**. Tese de doutorado, Curitiba, 2006.

Gaspar, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. Florianópolis. Dissertação de mestrado. 2003

Goldberg, Marco César; Luna, Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Editora Campus. Rio de Janeiro. 2000
Hess, Anselmo Antonio. **Ecologia e produção agrícola**. ACARESC. Florianópolis. 1980

Informativo sobre PCH. Portal PCH: <http://www.portalpch.com.br> Acesso em: 22/04/2009

Lachtermacher, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões: Modelagem em Excel para cursos de administração, economia e ciências contábeis**. Editora Campus. Rio de Janeiro. 2002

Lindemeyer, Ricardo Matsukura. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. UFSC. Trabalho de conclusão de estágio. 2008.

Massotti, Zemiro. **Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade**. Epagri. Concórdia-SC. 2009

Mattuella, Jussara M. Leite. **Fontes energéticas sustentáveis: um estudo sobre a viabilidade do aproveitamento da energia eólica em três localidades no RS**. Dissertação de mestrado. 2005.

Mello, Marcello Guimarães. **Biomassa: Energia dos trópicos em Minas Gerais**. Labmídia. Belo Horizonte. 2001.

Perdomo, Carlos Cláudio. **Manejo e tratamento dos dejetos dos suínos. Sistema Embrapa UFSC**. Acesso em 13/09/2009. Disponível em www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_s9g448p.html

Pereira, Gilberto. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor**. Dissertação de mestrado. Unijuí. Ijuí-RS.

Pilão, Nivaldo Elias e Hummel, Paulo Roberto Vampré. **Matemática Financeira e engenharia econômica**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003.

Prado, Darci. **Programação linear. Série Pesquisa Operacional**. Volume 1. Editora desenvolvimento gerencial. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1999.

Reis, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. Editora Manole. 3ª Ed. 2003.

Rosillo-Calle, Frank et al. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria Brasileira**. Editora Unicamp. São Paulo. 2005.

Santos, Ana Paula Ferreira et al. **Poluição rural: o uso de biodigestores como fonte de energia**. Enciclopédia Biosfera, N. 03, Janeiro-Junho/2007.

Schwade, Gilmar Marcelo. **Geração de energia elétrica com uso do biogás proveniente do tratamento de dejetos da suinocultura**. Monografia, Ijuí, 2006.

Schweig, Adriano. **Especificação e parametrização da proteção elétrica de uma PCH através dos cálculos de curto circuito**. Monografia de graduação, 2008. Ijuí-RS

Silva, Ermes Medeiros da et al. **Pesquisa Operacional para os cursos de: economia, administração e ciências contábeis**. 3ª edição. Editora Atlas. São Paulo – SP. 1998.

Silva, Edison Renato Pereira da et al. **Dimensionamento da produção de biogás a partir de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas na comunidade de Vila Paciência (RJ)**. Trabalho de apresentação oral. Acesso em: 12/04/2009, Disponível em: <http://www.gpi.ufrj.br/pdfs/artigos>

Souza, Cecília de Fátima. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. Tese de doutorado. Jaboticabal – SP. 2001.

Souza, Samuel Nelson Melegari de. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel. Paraná. In: Acta Scientiarum Technology. Maringá, v.26, no. 2, p. 127-133, 2004

Tarnowski, Germán Cláudio. **Metodologia da regulação da potencia ativa para operação de sistemas de geração eólica com aerogeradores de velocidade variável**. Dissertação de mestrado. 2006.

Teixeira, Eglé Novaes. **Adaptação de estruturas existentes (esterqueiras) e biodigestores**. Tese de mestrado, Campinas, SP, 1985.

Winrock. **Manual de treinamento em biodigestão**. Fevereiro 2008. Acesso em: 13/05/2009. Disponível em: www.ider.org.br/net/anexo/185913.

Wolfgang Palz. **Energia solar e fontes alternativas**. editora hemus.1995

Zachow, Charlan Ricardo. **Biogás**. Monografia de Graduação. Ijuí-RS, 2000.

ANEXOS

ANEXO A:

DEVELOPMENT OF A MODEL TO STUDY THE ECONOMIC FEASIBILITY OF USING BIOMASS TO PRODUCE ELETRIC ENERGY IN RURAL PROPERTIES

Eliana Walker, eliana-walker@hotmail.com

Robinson Figueiredo de Camargo, robinson.camargo@gmail.com

UNIJUÍ – Regional University of the Northwest of Rio Grande do Sul State, Ijuí/RS - Brazil

Gideon Villar Leandro, gideonvillar@gmail.com

UFPR –Federal University of Paraná, Curitiba/PR – Brazil

***Abstract:** This paper presents a study of economic feasibility of deploying biodigester on farms for generating electric energy. The mathematical model proposed uses tools of operational research. The biodigester used is a discontinuous batch-type biodigester, suitable for small farms. In this model are taken into account: the energy produced in the property, the energy market value, the electric power spending, the cost for implementing the biodigester, the time for each cycle of biogas production, the profit from the creation of swine, the number of staff for maintenance, the staff wages, the biodigester useful life, the number of animals and time of swine on the property. As a case of study, the model was applied to a property located in Ibirubá / RS - Brazil, with a 1.188m³ capacity of biogas with biodigester and a flock of 3,000 swine. The results have been obtained through a software application developed in Matlab[®] and through them can be seen that this is a viable alternative energy.*

***Keywords:** Biomass, Biodigester, Swines, Alternative energy, Economic feasibility*

1. INTRODUCTION

The researches for uses of renewable energy are increasingly pay attention aiming to find solutions to the modern world problems. Among these problems, the energy crisis brings concerns both for the fact that many people, especially in rural areas, are not benefited by the available energy resources in Brazil, as verified by the deficiency in the growing service demand. This phenomenon alone is enough to justify the need to seek new sources. Wind energy, solar energy and biomass emerge as promising alternatives capable to promote self-sustainability in small and medium businesses or properties.

Moreover, environmental pollution is a topic of worldwide discussion. Greater than the care about the existing pollution, there is today a concentrated effort in the search for a cleaner and healthier environment eliminating or controlling pollutant sources. For example, it can be mention the excrement of animals and humans. More specifically, the unpleasant odor caused by swine manure, even in confinement has pay attention, especially in areas close to breeding.

2. BIOMASS

An alternative to minimize the effects of this pollution, through the transformation of waste into biogas as a type of biomass, therefore as defined by (Coldebella, 2006), all materials that have the property to decompose by biological effect, that is, by the action of different bacteria, are considered as biomass.

Biomass had great prominence in recent years, primarily by reusing organic material available in nature or produced in specific locations. A concrete example is the use of swine slurry for the production of biogas. There are projections based on surveys conducted in several countries, indicating that the construction of biodigesters can successfully promote electric energy auto-support of farms and small residential condominiums in the future.

However, great part of the biomass is difficult to account, due to non-commercial use, it is estimated that, currently, it can represent up to about 14 % of all global primary energy consumption. In some developing countries, this share may increase to 34 %, reaching 60 % in Africa (ANEEL, 2009). The tables (1 and 2) below present data on the consumption of biomass in several countries and the role of biomass energy system.

Table 1- Biomass of consumption

Source: [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)

Country or region	Biomass	Others	Total	%
World	903	5.713	6.643	14
China	206	649	855	24
East Asia	106	316	422	25
South Asia	235	188	423	56
Latin America	73	342	415	18
Africa	205	136	341	60
Developing countries	825	1.632	2.457	34
OCDE countries	81	3.044	3.125	3

Table 2. Role of Biomass in the energy system

Source: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/Rio10/Riomaisdez/documentos/316-IniciatividadeEnergiaPortugues.wiz>

Country	Role of biomass in the energy system
Austria	Modern biomass accounts for 11 % of national energy supply. The forest residues are used for heating, especially in small scale systems.
Brazil	Biomass accounts for about one third of the supply of energy. The main applications are the modern alcohol fuel produced from sugar cane (13-14 billion liters per year) and substantial use of charcoal in the steel industry. The government supports the alcohol. The Pro-alcool is moving toward a program of streamlining to improve efficiency and reduce costs.
Denmark	A program is being designed to use 1.2 million tons of straw and forest residues. Several concepts have been designed to incorporate the burning of biomass in larger scale plants with combined heat and electricity production, heating and digestion of biomass waste.
United States	An electric generation capacity from biomass of about 10,700 MW was installed in 1998, mainly from forest residues. Four billion liters of alcohol are produced annually.
Finland	20 % of its primary energy demand from modern biomass. The pulp and paper industry contributes much through the efficient use of waste for energy production. The government supports the biomass, with the availability of resources, that participation can be duplicated.
Sweden	Modern Biomass accounts for 17 % of national energy demand. The use of waste in the pulp and paper industry and in heating (co-generation of electricity and heat) and the use of wood for ambient heating are dominant. 40 % of national energy supply in 2020 by biomass contribution is projected.
Zimbabwe	Forty million liters of alcohol are produced annually. Biomass meets about 75 percent of national energy demand.

The Administration and Energy Studies Center -complements saying that "the biomass has been used in a worldwide growing as energetic input, much more to end uses such as heat energy, but as an important form of electric energy generation, and so also growing as a source of liquid fuels (ethanol).

The contribution of biomass to the reduction of electricity in some countries has always been important. In Brazil, for example, biomass was the first fuel used in thermoelectric plants at the beginning of the century, and in 1995, the generation of electricity from bioenergy resources reached 6.5 TWh, with an installed capacity exceeding 2 GW and representing 30 % of the generation of thermal origin and 2.5 % of total electricity generation. In 2001, it was estimated by the Technical Secretariat Sector Energy Fund that the production of biomass energy was about 3 % of total electricity: 10 TWh (1999), and 4.1 in co-generation in the industrialization of sugarcane, 2.9 in the pulp and paper industry, and about 3 TWh in various unit using agricultural waste. The use of biomass for the generation of electricity in Brazil has increased with more utilization of agricultural and forestry waste. There are some energy generation units in the country using wood waste and several are under implementation. In the U.S., the installed capacity of energy generation from biomass in the early 90s was 8.4 GW, and at the same time the Department of Energy of the U.S. government, planned for 2000 an installed capacity of 12 GW, being able to reach in 2030 about 100 GW (BRAND, 2009).

According to (Leandro et. Al, 2009), the use of biomass can be done so directly as in furnaces and boilers combustion and for feeding livestock, or indirectly through thermochemistry processes (gasification, pyrolysis, liquefaction and transesterification), or biological processes (fermentation and anaerobic digestion)

In this work will be used as reference the anaerobic digestion as the most appropriate in this study. As (ANEEL, 2009), anaerobic digestion, and pyrolysis, occurs in the absence of air, but in that case, the process is the decomposition of material by the action of bacteria (acidogenic and methanogenic microorganisms). This is a simple process that occurs naturally in almost all organic compounds. The treatment and energetic utilization of organic waste (animal manure, industrial waste, etc). It can be made by anaerobic digestion in biodigesters, where the process is favored by moisture and heat. The heating is caused by the action of bacteria, but in regions or periods of cold, it is possible to need additional heat, as the temperature must be at least 35° C.

The transformation of biomass into biogas using anaerobic digestion is done by biodigesters defined by (Winrock, 2008) as a closed chamber where organic material is placed for decomposing. There is a very large range of biodigesters that can be classified into continuous and discontinuous.

3. BIODIGESTERS

The discontinuous biodigesters (batch) are suitable for use in small properties, whereas they use as raw material all the organic waste (manure of cattle, poultry, swine, sheep, etc.). The aquatic plant *Eichhornia crassipes* (commonly known as Baroness, waterhyacinth, jegue of ear, etc.) vinasse, bagasse, organical residues, etc. These organic materials are anaerobically digested in biodigester by bacteria, resulting in the production of biogas (60 % to 80 % methane) that will provide power and lighting, but also biofertilizer (17 % to 22 % protein and up to 4 % soluble NPK) (GASPAR, 2003).

By choosing the material used in biodigester for biogas production, manure of pigs is quite favorable when compared to other animals (birds, cattle, goats), by producing a large amount of daily waste and by the easiness of collection, as that most are created in containment system.

Considering all these advantages, in this study were used batch biodigesters and swine manure for the production of biogas. In swine breeding, the mechanisms (biodigesters) capable to reduce the pollution caused by waste, installed from the last three years in the farms of Brazilian producers, have become key components in projects of clean development mechanisms of swine culture, because eliminate open lagoons where the waste is placed and reduce the activity of the release of methane gas in the atmosphere. In the new system, the biodigester captures methane and produces renewable energy from the biogas. The system reduces the emission of greenhouse gases, reduces odor, reduces water contamination and generates, in a sealed secondary lagoon, the biofertilizer, which can be directly used in farming, bringing big economy to the producers who are less dependent on the purchase of chemist fertilizers. Table 3 shows the growth of swine herds in Brazil in the last ten year.

Table 3: Statement of growth in swine herds in Brazil, during the period 1997 to 2006.
Source: http://www.fundace.org.br/cooperativismo/arquivos_pesquisa_ica_la_2008/056-noronha.pdf

Period	Heads(1.000 u)	Change %
1997	29,637	
1998	30,006	1.25%
1999	30,838	2.77%
2000	31,562	2.35%
2001	31,605	3.30%
2002	31,918	-2.11%
2003	32,304	1.21%
2004	33,085	2.42%
2005	34,063	2.96%
2006	35,173	3.26%

4. MATHEMATICAL MODEL

In this work the analysis of economic feasibility is done using the tools of linear programming. The mathematical model used generic representation as below.

Maximize or minimize the objective function:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (a)$$

Subject to restrictions:

$$a_{12}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + c_{1r}x_n \leq r_1 \quad (b)$$

$$a_{2r}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + c_{2r}x_n \leq r_2 \quad (c)$$

.....

$$a_{nr}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + c_{nr}x_n \leq r_m \quad (d)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (e)$$

where:

(a) represents the mathematical function that encodes the goal of the problem and is called objective function (Z). In linear programming this function must be linear.

(b)-(e) represent the mathematical function that encode the major constraints identified.

(e) restriction of non-negative, which means that the decision variables can take any positive value or zero.

" x_j " are the decision variables that represent the quantities that, it is possible to determine to optimize the overall result.

" c_i " are the decision variables that represent the quantities that, it is possible to determine to optimize the overall result.

" r_j " represents the available quantity of each resource.

" a_{ij} " represents the amount of resources that each decision variable consumes. (Moreira, 2003)

Based on the model described above a linear optimization model has been build as it can see below:

$$\begin{aligned} \max \quad RL &= RT - CT \\ &= (T * P_c * E_p + G_s) * x + B_f - C_{man} \end{aligned} \quad (1)$$

submitted to

$$E_p \leq v_d * B_{mo} * E_{cb} * C_{bee} * x \quad (2)$$

$$C_{man} \geq (C_f * C_a + C_{ma}) * x \quad (3)$$

$$II \geq (P_c + I_g + B_{io})^* x + G_{er} \quad (4)$$

where:

x – number of swine

L – net income generated by the project

RT – total revenue

CT – total costs

T – total hours analyzed

P_c – the value of electric energy

E_p – electric energy produced

G_s – gain per head of swine

B_f – biofertilizer

II – initial investment

C_{man} – cost of maintaining equipment

G_e – expenditure of energy in swines

N_f – number of staff

S_f – staff wages

m – number of months of the period

D – depreciation

P – paint the flags of the swines

L – exchange of canvases

M_t – exchange of motor generator

V_d – volume of waste per head per day

$B_{mo} = 0.75$ → organic matter degradability

$E_{cb} = 0.85$ → efficiency of conversion in biodigester

$C_{bee} = 0.25$ → conversion of biogas into electricity (Otto cycle)

C_f – cost of the employee per number of heads of swines

C_a – cost of food per of swines heads

C_{ma} – cost of installation maintaining per head of swines

P_c – price per head of swines

I_g – the cost of installing meters for number of heads of swines per meter

B_{io} – cost of cubic meter of biodigester by the number of swine heads

G_{er} – cost of electric generator

Since the maximized RL, it can make a profitability economic and financial analysis of the project. The economic analysis will answer the FE, which is the contribution of the project for monetary availability.

$$FE = RL + D \quad (5)$$

FE is the economic flow generated by the project, RL the liquid income, and D the depreciation of equipment.

For the profitability analysis is used a minimum rate of attractiveness - also called the opportunity cost or discount rate - is that paid by current financial market investment in current (savings, investment funds, among others). This rate is used to represent the cash flows into present values. [9] The analysis of profitability will be made taking into account three indicators:

a) The Present Value (NPV), which is current net return generated by the project, which allows to analyze the economic feasibility of the project at long term.

$$NPV = -II + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (6)$$

FE_j represents the economic flow of the project for period; n the number of times that represents the horizon of the project, j one period; and r the interest rate charged per period.

b) The Internal Rate of Return (IRR), which is the interest rate that nothing the NPV, shows the maximum rate of interest that a project supported; the higher the IRR, more desirable is the investment.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+\alpha)^j} = 0 \quad (7)$$

FE_j represents the economic flow of Project for period, n the number of times that represents the horizon of the project, j a period and α the internal rate of return.[7]

5. CASE STUDY AND RESULTS

To validate studied, it was chosen a rural property in the municipality of Ibirubá-RS-Brazil. Data collected in this property will be used to generate the scenarios below.

Three scenarios will be shown, taking into account the minimum rate of attractiveness, however a much greater range of scenarios is possible. The following data are used in all scenarios:

- U\$1.00 is equivalent a R\$ 2.07 (quotation in 18/05/2009)
- Kwh/Utility: U\$ 0.12
- Lifetime of the project: 5 years

Scenario 1: minimum rate of attractiveness = 0 %

Scenário 1	
Initial Investment	U\$ 96,618.36
Total revenue	U\$ 295,488.69
Net revenues	U\$ 235,778.55
Total costs	U\$ 59,710.14
Economic flow	U\$ 58,341.35
Net Present Value	U\$ 58,341.35
Internal rate of return	9.91%
Period Recovery of Capital	3 years

Table 4: Scenario 1

Scenario 2: minimum rate of attractiveness = 6 %

Scenário 2	
Initial Investment	U\$ 96,618,36
Total revenue	U\$ 295,488.69
Net revenues	U\$ 235,778.55
Total costs	U\$ 59,710.14
Economic flow	U\$ 58,341.35
Net Present Value	U\$ 34,417.73
Internal rate of return	12.66 %
Period Recovery of Capital	3 years

Table 5: Scenario 2

Scenario 3: minimum rate of attractiveness = 12 %

Scenário 3	
Initial Investment	U\$ 96,618,36
Total revenue	U\$ 295,488.69
Net revenues	U\$ 235,778.55
Total costs	U\$ 59,710.14
Economic flow	U\$ 58,341.35
Net Present Value	U\$ 15,926.13
Internal rate of return	15.47 %
Period Recovery of Capital	3 years

Table 6: Scenario 3

6. CONCLUSION

The biogas would be just a by product generated b process of treatment swine waste, which when used allows the farmer to become self-sufficient in electric energy depending on their consumption for pay the capital invested in a system of waste treatment.

Another advantage in the use of biogas is the fact that methane is a gas that contributes to the greenhouse effect more intensely that carbon dioxide and its burning for energy generation contributes to the reduction of its effect as such.

The three scenarios show the return on initial capital invested, that is, the capital is recovered independently of the rate of attractiveness shown in each scenario. This shows that the production of electric energy through the use of biodigestor in rural properties in is valid and promising. Worth emphasizing that the mathematical model described in this work is in the process of testing and improvement, however already showing good results as those described in the scenarios above, but there are details to be improved and information to be added to better performance and flexibility.

7. REFERENCES

- ANEEL; Capítulo 5: Biomassa. Available in: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)> Accessed in 06/02/2009.
- Brand M. A. , Neves M. D.,” Situação atual e perspectivas da utilização da biomassa para a geração de energia” 21 march 2009, Available in: <http://www.tracatebelenergia.com.br/uploads/7onbe0f.pdf>
- Coldebella A., “Viabilidade do uso do biogas da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais”, Mastrer’s Thesis, CCET-Unioeste, 2006.
- Gaspar, R. M. B. L.. “Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR” Mastrer’s Thesis. UFSC, 2003.
- Lapponi, J. C., “Projetos de Investimento: Construção e Avaliação de Fluxo de Caixa: Modelos em Excel” Lapponi Treinamento e Editora, São Paulo, 2000.
- Leandro, A. V. et. al. “Obtenção de Etanol a partir da Biomassa Residual de Laranja”, acess 21 may 2009. Available in www.educacaopublica.rj.gov.br/fecti/2007/DesTecnologia/ObtencaoEtanol.doc.
- Moreira, F. R.; Programação linear aplicada a problemas da área da saúde; Disponível na página da internet: www.einstein.br/biblioteca/artigos/Programacao%20linear%20traduzidos.pdf, 2003.
- Winrock, “Manual de treinamento em biodigestão” Fevereiro/2008. www.ider.org.br/oktiva.net/anexo/185913.

ANEXO B:**Modelo Matemático para Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais**

Eliana Walker

Depto de Física, Estatística e Matemática, DEFEM, UNIJUÍ
98700-000, Ijuí, RS

E-mail: eliana-walker@hotmail.com

Gideon Villar Leandro

Depto de Engenharia Elétrica, DEL, UFPR
CEP 81531-990, Curitiba, PR

E-mail: gideonvillar@gmail.com

Robinson Figueiredo de Camargo

Depto de Tecnologia, DETEC, UNIJUÍ
98700-000, Ijuí, UNIJUÍ

E-mail: robinson.camargo@unijui.edu.br

Júlio César Oliveira Bolacell

Depto de Tecnologia, DETEC, UNIJUÍ
98700-000, Ijuí, UNIJUÍ

E-mail: bolacell@unijui.edu.br

Resumo: *Pela importância que os fatores econômicos têm na determinação da utilização de fontes renováveis, este artigo apresenta o estudo da viabilidade econômica da implantação de biodigestores em propriedades rurais para geração de energia elétrica. O estudo está baseado em um modelo matemático construído que utiliza o ferramental da pesquisa operacional. Neste modelo estão incorporados os aspectos referentes a receitas, custos e produção de energia de um biodigestor descontínuo (batelada), que utiliza os dejetos de suínos como matéria orgânica. Os resultados apresentados foram obtidos através de um aplicativo desenvolvido no software Matlab®, para uma propriedade rural cujo biodigestor possui uma capacidade de 1.188 m³ e um rebanho de 3 mil suínos.*

Palavras chave: *viabilidade econômica, energia alternativa, biodigestor, propriedades rurais.*

1 Introdução

No Brasil, nos últimos anos, as energias renováveis têm obtido destaque cada vez maior, pois podem ser a solução para os problemas energéticos que vêm ocorrendo, como o racionamento de energia elétrica, em 2001; o aumento do consumo de energia; o baixo nível dos reservatórios de águas em determinadas épocas do ano ocasionado pela falta de chuva.

A maior parte do consumo de energia no Brasil é provida por usinas hidrelétricas, mas, para atender à crescente demanda, a construção de novas hidrelétricas resultaria em grandes impactos ambientais. Portanto, uma alternativa é o desenvolvimento sustentável através de fontes de energia renováveis, tais como energia solar, energia eólica e biomassa.

Biomassa é a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Assim são consideradas biomassas, todas as plantas e todos os animais, inclusive seus resíduos, as matérias orgânicas transformadas, provenientes de indústrias alimentícias e indústrias transformadoras de madeira [2].

Cabe ressaltar que a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição aos derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina [1].

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação) [1]. Para que haja o aproveitamento da biomassa utilizam-se biodigestores, os quais oferecem condições para que as bactérias presentes atuem sobre a biomassa, produzindo assim o biogás.

Este trabalho aborda o uso de dejetos de suínos como fonte para a produção de biogás e será utilizado o biodigestor à batelada do tipo descontínuo, adequado para implementação em pequenas propriedades. Os dejetos de suínos são bastante vantajosos quando comparados com os de outros animais (aves, bovinos, caprinos), por produzirem uma grande quantidade diária e pela facilidade da coleta, já que a maior parte é criada em sistema de confinamento.

Será desenvolvido um modelo para verificar a viabilidade econômica do uso de dejetos de suínos para a geração de energia elétrica através de biodigestores. O estudo está baseado em dados colhidos na propriedade: energia produzida, valor de mercado da energia, gasto com energia elétrica, custo para a implementação do biodigestor, número de funcionários para a manutenção, salário dos funcionários, vida útil do biodigestor, número de animais e tempo de permanência do suíno na propriedade.

2 Biogás e biodigestor

O biogás produzido a partir de resíduos agropecuários pode promover a autonomia energética de propriedades rurais. Seu uso pode contribuir para agregação de valor de produtos agroindustriais, suprimento autônomo de combustível para várias utilidades, como para alimentação de sistemas de bombeamento para irrigação, podendo viabilizar tais empreendimentos [3].

Grande parte dos resíduos de animais é simplesmente descartado, esses resíduos podem ser fermentados e formar o biogás, uma fonte não-poluidora de energia. O biogás, ao contrário do álcool da cana-de-açúcar e de óleo extraídos de outras culturas, não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Afinal ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e dos homens. Assim, ao contrário de ser um fator de poluição, transforma-se em um auxiliar do saneamento ambiental. O biogás pode ser produzido a partir do lixo urbano, como já se faz nos chamados “aterros sanitários” de quase todos os países desenvolvidos do mundo e cuja experiência começa a ser implementada em algumas cidades brasileiras. Nas propriedades agrícolas, ele pode ser produzido em aparelhos simples, os chamados biodigestores [8].

O biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, onde sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor, com a conseqüente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbica [5].

Quanto à forma de abastecimento os biodigestores se classificam em: a) descontínuos (batelada) e b) contínuos. Os biodigestores em batelada recebem um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período adequado à digestão de todo o lote. Os biodigestores contínuos são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado [8].

3 Modelo Matemático

A seguir pode-se observar uma representação genérica do modelo matemático utilizado neste trabalho para a análise da viabilidade econômica, feita utilizando-se o ferramental da programação linear.

Maximizar ou minimizar a função objetivo:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (a)$$

Sujeito às restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq r_1 \quad (b)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq r_2 \quad (c)$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq r_m \quad (d)$$

$$x_j \geq 0 \quad (1, 2, \dots, n) \quad (e)$$

onde:

(a) representa a função matemática que codifica o objetivo do problema e é denominada função objetivo (Z). Na programação linear esta função deve ser linear.

(b)-(e) representam as funções matemáticas lineares que codificam as principais restrições identificadas.

(e) restrição de não-negatividade, o que equivale a dizer que as variáveis de decisão podem assumir qualquer valor positivo ou zero.

“ x_j ” são as variáveis decisórias que representam as quantidades que se quer determinar para otimizar o resultado global.

“ c_i ” são os coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar.

“ r_j ” representa a quantidade disponível de cada recurso.

“ a_{ij} ” representa a quantidade de recursos que cada variável decisória consome. [7]

Obs.: $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Com base no modelo descrito acima construiu-se um modelo de otimização linear dado a seguir:

$$\begin{aligned} \max \quad RL &= RT - CT \\ &= (T * P_c * E_p + G_s) * x - C_{man} \end{aligned}$$

$$\text{Onde } C_{man} = N_f * S_f * m + G_e$$

sujeito a

$$\begin{aligned} E_p &\leq v_d * B_{mo} * E_{cb} * E_{bee} * x \\ C_{man} &\geq (C_f * C_a + C_{ma}) * x \\ II &\geq (P_c + I_g + B_{io}) * x + G_{er} \end{aligned}$$

sendo:

x – número de suínos

RL – renda líquida gerada pelo projeto

RT – receita total

CT – custos totais

T – total de horas analisado

P_c – valor da energia elétrica

E_p – energia elétrica produzida

G_s – ganho por cabeça de suíno

II – investimento inicial

C_{man} – Custo de manutenção dos equipamentos

G_e - gasto de energia com os suínos

N_f – número de funcionários

S_f – salário dos funcionários

m – número de meses do período

D – depreciação

P – pintura dos pavilhões dos suínos

L – troca de lonas

M_t – troca do motor gerador

V_d – volume de dejetos por cabeça por dia

B_{mo} = 0.75 → biodegradabilidade da matéria orgânica

E_{cb} = 0.85 → eficiência de conversão no biodigestor

C_{bee} = 0.25 → conversão do biogás em energia elétrica (ciclo Otto)

C_f – custo do funcionário por número de cabeças de suínos

C_a – custo da alimentação por cabeça de suínos

C_{ma} – custo da manutenção da instalação por cabeça de suínos

P_c – preço por cabeça de suíno

I_g – custo do metro da instalação por número de cabeças de suínos por metro

B_{io} – custo do metro quadrado do biodigestor pelo número de cabeças de suíno

G_{er} – custo do gerador de energia elétrica

Tendo a RL maximizada, pode-se fazer uma análise econômica, de rentabilidade e financeira do projeto.

Pela análise econômica, vai responder o FE, que é a contribuição do projeto em termos de disponibilidade monetária.

$$FE = RL + D$$

(2)

Onde $D = P + L + G_{er}$

FE representa o fluxo econômico gerado pelo projeto, RL a receita líquida e D a depreciação dos equipamentos.

A análise da rentabilidade será feita levando em consideração dois indicadores:

a) O Valor Presente Líquido (VPL), que é o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto, e que permite analisar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo.

$$VPL = -II + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (3)$$

FE_j representa o fluxo econômico do projeto por período, n o número de períodos que representa o horizonte do projeto, j a duração de um período em dias e r a taxa de juros cobrada por período [6].

b) O Período de Recuperação do Capital (PRK), que é o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados [6].

4 Resultados

Para a validação do modelo proposto, foi escolhida uma propriedade rural no município de Ibirubá-RS. Os dados coletados serão utilizados para gerar três cenários. Tais cenários foram obtidos ao se considerar uma taxa mínima de atratividade. Os seguintes dados são utilizados em todos os cenários:

- kWh /Concessionária: R\$ 0,238769
- Vida útil do projeto: 10 anos

Cenário 1: taxa mínima de atratividade = 0.12

Cenário1	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$10.875,00
Receita Total	R\$ 192.000,00
Receita Líquida	R\$ 164.920,00
Custos Totais	R\$ 27.080,00
Fluxo econômico	R\$175.795,00
Valor Presente Líquido	R\$ 777.153,67
Período de Recuperação do Capital	1,37 anos

Tabela 1: Cenário 1

Cenário 2: taxa mínima de atratividade = 0.06

Cenário2	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$ 10.875,00
Receita Total	R\$ 192.000,00
Receita Líquida	R\$ 164.920,00
Custos Totais	R\$ 27.080,00
Fluxo econômico	R\$ 175.795,00
Valor Presente Líquido	R\$ 1.081.005,58
Período de Recuperação do Capital	1,21 anos

Tabela 2: Cenário 2

Cenário 3: taxa mínima de atratividade = 0

Cenário3	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$ 10.875,00
Receita Total	R\$ 192.000,00
Receita Líquida	R\$ 164.920,00
Custos Totais	R\$ 27.080,00
Fluxo econômico	R\$ 175.795,00
Valor Presente Líquido	R\$ 1.557.950,00
Período de Recuperação do Capital	1,14 anos

Tabela 3: Cenário 3

5 Conclusões

Os três cenários apresentados apontam um retorno do capital inicial investido bastante rápido, isto é, já durante o segundo ano de funcionamento o capital é recuperado independentemente da taxa de atratividade mostrada em cada cenário. Isso mostra que a produção de energia elétrica através do uso de biodigestores em propriedades rurais é válido e promissor, apesar deste trabalho estar usando um modelo simplificado.

Embora neste trabalho somente três cenários foram apresentados a um gama de cenários que podem ser explorados com a introdução de variáveis no modelo proposto, tais como: financiamento da estrutura e do biodigestor, créditos de carbono, utilização dos dejetos como fertilizante, etc.

6 Referências

1. M. A. N. Andrade. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. UFSC.

2. ANEEL; Capítulo 5: Biomassa. Disponível na página da internet: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)> Acessado em 06/02/2009
3. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Parte II, Fontes Renováveis, Capítulo 4, Biomassa. 2008.
4. A. Coldebella, “Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais”, Dissertação de Mestrado, CCET-Unioeste, 2006.
5. R. Denagutti, et al. ; Biodigestores rurais: modelo indiano chinês e batelada. Disponível na página da internet: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0004.pdf>> Acessado em: 07/10/2008
6. J. C. Laponi, “Projetos de Investimento: Construção e avaliação de Fluxo de Caixa: Modelos em Excel”, Laponi Treinamento e Editora, São Paulo, 2000.
7. F. R. Moreira; Programação linear aplicada a problemas da área da saúde; Disponível na página da internet: <www.einstein.br/biblioteca/artigos/Programacao%20linear%20traduzidos.pdf>2003.
8. M. V. Turdera. D. Yura. Estudo da viabilidade econômica de um biodigestor no município de dourados. UEMS. Evento: Agrner 2006.