

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENERGIA NA
AGRICULTURA**

THIAGO EDWIGES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO TÉRMICO DO
METANO A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS NA MICROBACIA DO RIO
MARRECO, OESTE DO PARANÁ**

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
JUNHO – 2012

THIAGO EDWIGES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO TÉRMICO DO
METANO A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS NA MICROBACIA DO RIO
MARRECO, OESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

Professor Orientador: Dr. Armin Feiden

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
JUNHO – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

E26a Edwiges, Thiago
Avaliação do potencial de aproveitamento térmico do metano a partir de dejetos suínos na microbacia hidrográfica do Rio Marreco, oeste do Paraná. / Thiago Edwiges— Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
64 p.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Metano. 2. Biodigestores. 3. Suinocultura. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

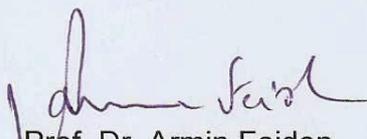
CDD 21.ed. 628.74

THIAGO EDWIGES

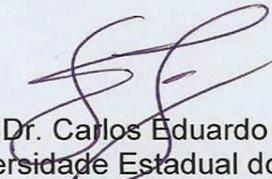
“Avaliação do potencial de aproveitamento térmico do metano a partir de dejetos suínos na microbacia do Rio Marreco, Oeste do Paraná”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovado** pela seguinte Banca Examinadora:

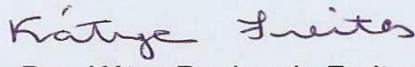
Orientador:



Prof. Dr. Armin Feiden
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Profa. Dra. Kátya Regina de Freitas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Cornélio Procopio

Cascavel, 25 de junho de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a capacidade de aprender e conseguir através de meu esforço tudo que almejei e a minha família, que sempre me encorajou nos momentos mais difíceis e nas horas em que mais precisei de ajuda.

Aos amigos que deixei para trás e aos novos amigos que fiz e que me permitiram evoluir fazendo diferença durante a minha vida acadêmica.

Ao Professor Orientador Armin Feiden, que nestes 15 meses me ensinou a dura tarefa de buscar respostas e não mediu esforços em esboçar o caminho para alcançá-las.

A Unioeste, pela iniciativa em desenvolver um programa de Mestrado voltado à Agroenergia.

A Sadia S.A., por meio do Engenheiro Adilson Borsoi e Orivaldo Furini, pela colaboração com os dados e incentivo à busca por uma solução alternativa para a questão das fontes renováveis de energia no Brasil.

Agradeço enfim, o mundo que passou por mim e que me preparou para o mundo que está chegando.

LISTA DE SÍMBOLOS

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FCM – Fator de Conversão de Metano

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBC – Índice Benefício Custo

Kcal - Quilocaloria

PD – Payback Descontado

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

pH – Potencial Hidrogeniônico

ROI – Retorno sobre Capital Investido

ROIA – Retorno Adicional sobre Investimento

SV – Sólidos Voláteis

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TMAR – Taxa Mínima Atrativa de Retorno

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica

TRS – Tempo de Retenção de Sólidos

UCT – Unidade de Crescimento e Terminação

UPL – Unidade de Produção de Leitões

VPL – Valor Presente Líquido

VPLa – Valor Presente Líquido Anualizado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das exportações de carne suína brasileira.	3
Figura 2 – Poluição da água e do solo causada pela suinocultura.....	5
Figura 3 – Digestão anaeróbia da matéria orgânica.....	8
Figura 4 – Grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	10
Figura 5 – Vista frontal do biodigestor chinês.....	12
Figura 6 – Vista frontal do biodigestor indiano.	12
Figura 7 – Biodigestor tipo canadense.	13
Figura 8 – Ciclo de vida de fontes primárias de energia.	15
Figura 9 – Macrolocalização da microbacia hidrográfica do Rio Marreco	21
Figura 10 – Localização das propriedades rurais.....	30
Figura 11 – Estimativa da produção de dejetos.	32
Figura 12 – Estimativa da produção de metano.....	33
Figura 13 – Identificação da produção, transporte e consumo do metano.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição média do biogás	16
Quadro 2 – Comparação entre o biogás e outros combustíveis.....	17
Quadro 3 – Indicadores econômicos cenário 1	17
Quadro 4 – Indicadores econômicos cenário 2	18
Quadro 5 – Indicadores econômicos Sanga Ajuricaba/PR.....	19
Quadro 6 – Produção de dejetos por categoria.....	23
Quadro 7 – Variáveis utilizadas na estimativa.....	25
Quadro 8 – Identificação das responsabilidades sobre investimentos	27
Quadro 9 – Classificação quanto ao porte das granjas.....	29
Quadro 10 – Dados do consumo energético do frigorífico de aves e suínos	35
Quadro 11 – Variáveis utilizadas na conversão energética.....	36
Quadro 12 – Variáveis utilizadas na estimativa de geração de biofertilizante	37
Quadro 13 – Indicadores econômicos da implantação do gasoduto	38
Quadro 14 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores e gasoduto	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção média de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos	6
Tabela 2 – Características físico-químicas dos dejetos suínos (mg/L).....	6
Tabela 3 – Composição do custo de implantação dos biodigestores.....	36
Tabela 4 - Plantel de suínos em sistema de UCT	45
Tabela 5 - Plantel de suínos em sistema de UPL.....	46
Tabela 6 – Estimativa do potencial de geração de dejetos e metano	47
Tabela 7 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores.....	49

RESUMO

EDWIGES, Thiago. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, junho de 2012. **Avaliação do potencial de aproveitamento térmico do metano a partir de dejetos suínos na microbacia hidrográfica do Rio Marreco, oeste do Paraná.** Professor Orientador Dr. Armin Feiden.

A produção de proteína animal é uma atividade que vem se destacando na região Oeste do estado do Paraná. O desafio é gerir este sistema do ponto de vista ambiental, pois esta atividade produz quantidades significativas de dejetos com alta carga poluente. Em contrapartida, apresenta grande potencial de geração de energia, pois, se tratada adequadamente produz o metano. Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de substituição de fontes convencionais de energia pelo metano gerado pelos dejetos suínos na microbacia hidrográfica do Rio Marreco. O plantel total instalado na microbacia é de 95.129 suínos, distribuídos em 121 propriedades rurais, sendo 116 em sistemas de UCT e 5 em UPL, com potencial de produção de aproximadamente 12.905 m³/dia. A implantação do projeto de agroenergia considerou a substituição do cavaco utilizado como fonte de energia térmica no frigorífico de aves da Sadia S.A. no município de Toledo/PR, onde o consumo mensal de 2.820.000 quilogramas de cavaco pode ter substituído pelo metano em 54,7%. De maneira geral, as propriedades apresentaram bons indicadores econômicos do ponto de vista do investimento pelo produtor, que variaram em função do plantel animal. A implantação do projeto sob a ótica do consumidor da energia também apresentou viabilidade positiva pelos indicadores VPL e TIR, com balanço de R\$ 1.749.180 economizados anualmente. Os resultados obtidos mostraram que existem possibilidades viáveis para a utilização do metano gerado pelos dejetos suínos e a maneira como este material é gerenciado, considerando uma bacia hidrográfica em sua totalidade ou apenas parte dela como unidade de planejamento, influencia no volume total de gás metano produzido e, assim, na identificação de consumidores em potencial.

Palavras-chave: metano, biodigestores e suinocultura.

ABSTRACT

EDWIGES, Thiago. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, June, 2012.
Evaluation of the potential thermal utilization of methane from swine manure in Rio Marreco watershed, west of Paraná. Adviser Dr. Armin Feiden.

The production of animal protein is an activity that has been highlighted in the western region of Paraná state. The challenge is to manage this system from an environmental view, since this activity produces significant quantities of waste with high pollution load. On the other hand, this material has great potential for power generation, because, if properly treated produces methane. Thus, the main objective of this study was to evaluate the potential of replacing conventional sources of energy by methane generated by swine in the Rio Marreco hydrographic basin. The squad installed in the watershed is 95,129, divided into 121 farms, with 116 UCT and 5 UPL systems, with a production of approximately 12,905 m³/day. The development of the bioenergy project considered the replacement of the wood used as a source of thermal energy in the frigorific of Sadia S.A. located in Toledo/PR, where the monthly consumption of 2,820,000 kilograms of wood chips can be replaced by methane at 54.7%. Measured properties presented good economic indicators of the point of the investment by the energy producers, which varied according to the breeding animal. The project implementation from the perspective of the consumer of energy also showed positive viability by NPV and IRR indicators, with the balance of R\$ 1,749,180 saved annually. The results showed that there are viable possibilities for the use of methane generated by swine manure and how this material is managed, considering an entire watershed or just part of it as a planning unit, influences the total volume of methane produced and, thus, the identification of potential consumers.

Keywords: methane, biodigestors and swine.

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	3
2.2 A DIGESTÃO ANAERÓBIA COMO FORMA DE TRATAMENTO SANITÁRIO DOS DEJETOS SUÍNOS.....	7
2.2.1 Fundamentos da digestão anaeróbia.....	7
2.2.2 Biodigestores rurais.....	11
2.3 O BIOGÁS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA.....	14
2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.2 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS.....	22
3.3 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE DEJETOS E METANO	22
3.4 GEORREFERENCIAMENTO DAS PROPRIEDADES RURAIS E TRAÇADO PRELIMINAR DO GASODUTO	26
3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	26

4. RESULTADOS E DICUSSÃO	29
4.1 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS.....	29
4.2 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO de dejetos e METANO	31
4.3 IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONSUMIDOR.....	35
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	36
4.4.1 Cenário A	36
4.4.2 Cenário B	39
5. CONCLUSÕES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÊNDICE A	45
APÊNDICE B	47
APÊNDICE C	49

1. INTRODUÇÃO

A produção de proteína animal, especificamente a suinocultura, é uma atividade que vem se destacando no agronegócio brasileiro, principalmente na região oeste do estado do Paraná, devido aos incentivos e ao sistema de cooperativas instalado na região, que permite a produção de grande quantidade de animais em pequenas áreas, proporcionando ao agricultor utilizar a propriedade também para outros fins, como a produção de grãos.

O desafio é gerir este sistema do ponto de vista ambiental, pois esta atividade produz quantidades significativas de dejetos com alta carga poluente e que são lançados *in natura* nos cursos de água ou espalhados na agricultura, causando impactos ambientais negativos principalmente para os recursos hídricos e a atmosfera. Estes dejetos possuem quantidades significativas de nitrogênio e fósforo e que, ao atingirem os recursos hídricos podem causar o fenômeno da eutrofização, processo que cria um ambiente anaeróbico e, por meio de sua decomposição contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) como o metano (CH₄) e o gás carbônico (CO₂).

Em contrapartida, a biomassa residual animal produzida pela suinocultura apresenta grande potencial de geração de energia, pois, se tratada adequadamente em reatores desenvolvidos para este fim produzem o biogás. Este material fica retido em biodigestores rurais e pode ser aproveitado diretamente como energia térmica para aquecimento de granjas, aviários e caldeiras, para a geração de energia elétrica por meio de um motorgerador ou ainda comprimido para utilização como gás veicular.

Desta maneira a energia extraída do biogás pode contribuir para a redução de impactos ambientais negativos causados pelo lançamento inadequado dos dejetos em cursos d'água, melhorar os indicadores de saúde pública em função de um ambiente salubre, suprir a demanda energética necessária para atender o mercado e gerar uma nova fonte de renda para as propriedades rurais, além de contribuir para o compromisso brasileiro de redução de emissão de GEE.

Assim, a inovação deste estudo não está no processo de tratamento da biomassa residual animal, mas sim no modo como este material pode ser gerenciado, de forma a concentrar seu potencial energético e suprir a demanda

existente na própria bacia hidrográfica onde ele é gerado, de maneira em que o biogás possa ser um elemento integrador entre o perímetro urbano e o rural, solucionando um problema crítico de poluição e melhorando a qualidade de vida de toda a população local.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de substituição de fontes convencionais de energia pelo biogás gerado pelos dejetos suínos na microbacia hidrográfica do Rio Marreco, tendo como objetivos específicos:

- Quantificação do número de suínos nas propriedades rurais da bacia;
- Estimativa do potencial de geração de metano a partir de dejetos suínos;
- Identificação de possíveis consumidores da energia produzida, e
- Realização de estudo de viabilidade econômica para geração e transporte do gás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

De acordo com o Instituto de Ensino Tecnológico (2004), a carne suína é uma das carnes mais consumidas e comercializadas no mundo, tornando-se importante fonte de proteína animal para a alimentação humana.

Neste contexto, o Brasil está classificado como o quarto maior produtor mundial de carne suína, tendo a China, União Europeia e Estados Unidos como maiores produtores, respectivamente. Além disso, o País é também o quarto maior exportador mundial deste produto, atrás apenas da União Europeia, Estados Unidos e Canadá (PACHECO e YAMANAKA, 2006). A Figura 1 apresenta a evolução das exportações de carne suína brasileira, denotando aumento expressivo a partir de 2000.

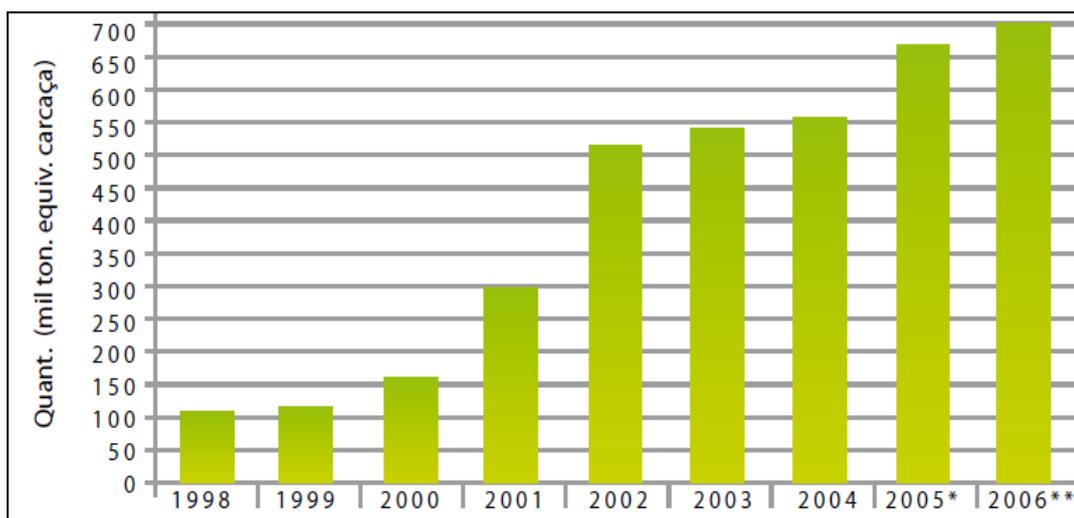


Figura 1 – Evolução das exportações de carne suína brasileira.

Fonte: Pacheco e Yamanaka (2006)

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (2011), o Paraná apresenta posição de destaque no cenário nacional, com aproximadamente 263 mil matrizes industriais e 530 mil toneladas produzidas no ano de 2011, o estado possui o terceiro maior rebanho do País, tendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul como maiores produtores, respectivamente.

Para Takamatsu e Oliveira (2002 *apud* LONGO, 2007), o maior polo produtor do estado do Paraná está situado na região dos municípios de Toledo, Cascavel e Ponta Grossa, sendo que os municípios do oeste do Estado têm produção considerável devido aos incentivos da administração pública voltados aos sistemas de produção e que visam à expansão no setor da agroindústria.

O sistema de produção de suínos está quase sempre associado à qualidade dos animais disponíveis, à capacidade técnica do produtor e da sua situação financeira, sendo um conjunto interrelacionado de componentes ou elementos, organizados para cumprir um objetivo, no caso, a produção de suínos, tendo como parte do sistema seis componentes básicos: produtor, animais, alimentação, manejo, instalações, equipamentos e sanidade (INSTITUTO DE ENSINO TECNOLÓGICO, 2004).

O sistema de produção de suínos pode ocorrer em sistemas de criação em Unidade de Ciclo Completo – UCC, desenvolvido em um único sítio, Unidade de Produção de Leitões – UPL, que produz leitões até a saída da creche e Unidade de Crescimento e Terminação – UCT, que recebe os leitões de uma UPL e executa as fases de crescimento e terminação (EMBRAPA, 2003).

De acordo com o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2006), o processo produtivo da suinocultura pode ser sintetizado em três estágios:

- **seleção de sêmen e fertilização das fêmeas:** Os suínos reprodutores e as matrizes são selecionados, buscando garantir a qualidade genética e aumento da produtividade. O sêmen é coletado por meio de estimulação dos reprodutores, selecionado em laboratório e, a partir de então a inseminação artificial é realizada, na medida em que as matrizes são estimuladas e começam a ovular;
- **gestação e lactação:** buscando evitar abortos por estresse, as matrizes fertilizadas são colocadas em baias individuais e, após o período de fixação dos embriões são transferidas para baias coletivas, onde permanecem por aproximadamente 115 dias. Somente após o nascimento dos filhotes as

matrizes são transferidas novamente para baias individuais, permanecendo por um período aproximado de 21 dias;

- **creche e terminação:** na fase de desmame, com período de 50 dias, os filhotes são levados para a creche, onde são separados por tamanho e recebem uma alimentação compatível com a necessidade de cada grupo. As salas são divididas de maneira rotativa e os grupos com animais da mesma idade são transferidos periodicamente até a última sala onde estão prontos para o abate.

A grande quantidade de animais produzida nestes sistemas intensivos e, conseqüentemente, a geração de dejetos nas instalações e também por sua aplicação no solo torna esta atividade fonte considerável de poluição, tendo os efeitos mais expressivos a partir das emissões de nitrogênio, fósforo e demais minerais presentes nos dejetos (SEGANFREDO, 2007). A Figura 2 apresenta as diversas formas de poluição causadas pela suinocultura.

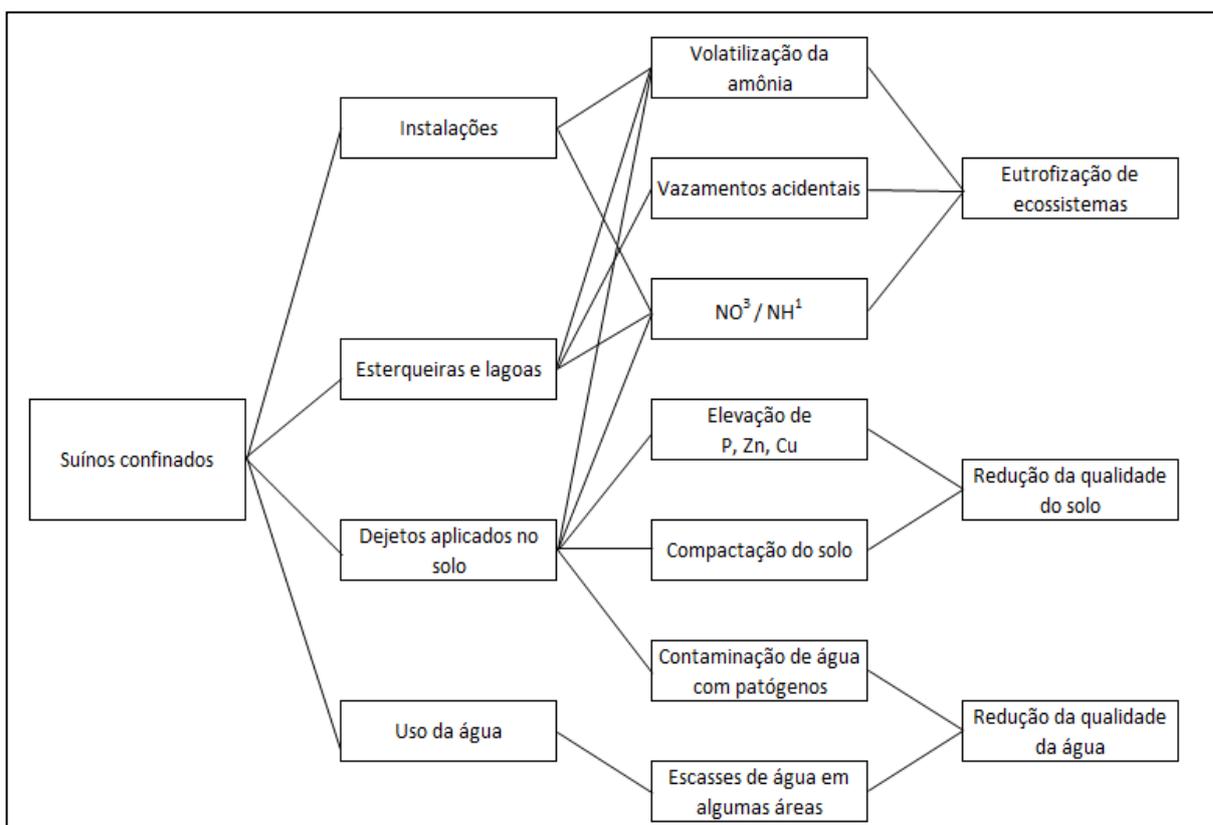


Figura 2 – Poluição da água e do solo causada pela suinocultura.

Fonte: Seganfredo (2007)

De acordo com Instituto Ambiental do Paraná (2009), os suínos apresentam características distintas quanto à geração de dejetos, variando principalmente em função da categoria dos animais, tipo de alimentação, quantidade de água e tipo de manejo adotado. A Tabela 1 quantifica esta produção em termos de massa sólida e líquida.

Tabela 1 – Produção média de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos

Categoria de Suínos	Esterco (kg/animal/dia)	Esterco + Urina (kg/animal/dia)
Suínos de 25-100 kg	2,3	4,9
Porcas em Gestação	3,6	11,0
Porcas em Lactação	6,4	18,0
Machos	3,0	6,0
Leitões desmamados	0,3	0,9
Média	2,3	5,8

Fonte: Instituto Ambiental do Paraná (2009)

Silva (1996 *apud* Embrapa & Emater, 2002) apresenta as características físico-químicas dos dejetos suínos produzidos em uma unidade de crescimento e terminação manejada em fossa de retenção, obtidos no Sistema de Produção de Suínos da Embrapa Suínos e Aves (Tabela 2).

Tabela 2 – Características físico-químicas dos dejetos suínos (mg/L)

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média
DQO	11.530	38.448	25.543
Sólidos Totais	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos	4.268	10.408	6.010
Sólidos Sedimentares	220	850	429
Nitrogênio Total	1.660	3.710	2.374
Fósforo Total	320	1.180	578
Potássio Total	260	1.140	536

Fonte: Embrapa & Emater (2002)

Diagnósticos recentes demonstram o alto nível de contaminação dos rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural como o urbano, haja vista a capacidade poluente dos dejetos suínos, em termos comparativos, superior a de outras espécies. A causa principal da poluição é o lançamento direto do dejetos sem o devido tratamento nos cursos de água, que acarretam desequilíbrios ecológicos e poluição, em função da redução do teor de oxigênio dissolvido na água, contaminação com amônia e nitratos e a disseminação de micro-organismos patogênicos (BENETTI et al. 2011).

Quando se adiciona uma grande quantidade de dejetos em um corpo d'água, teoricamente, a população de bactérias pode dobrar a cada divisão simultânea, ou seja, uma bactéria com tempo de multiplicação de 30 minutos pode gerar uma população de 16.777.216 novas bactérias em apenas 12 horas de vida (PELCZAR; REID & CHAN, 1981).

A poluição provocada pelo manejo inadequado dos dejetos suínos cresce em importância a cada dia devido a uma maior consciência ambiental dos produtores, tanto pelo aumento das exigências dos órgãos de fiscalização, quanto pela sociedade em geral (DIESEL, MIRANDA & PERDOMO 2002).

A preservação ambiental vem se tornando uma preocupação básica nos sistemas de produção, especialmente no manejo dos dejetos animais. Sempre que possível, deve-se priorizar a utilização dos dejetos como adubo orgânico, respeitando as limitações impostas pelo solo, água e planta e, quando não for possível, estes precisam de tratamento adequado, eliminando os riscos de poluição quando retornarem à natureza (EMBRAPA 2003).

2.2 A DIGESTÃO ANAERÓBIA COMO FORMA DE TRATAMENTO SANITÁRIO DOS DEJETOS SUÍNOS

2.2.1 Fundamentos da digestão anaeróbia

Os compostos orgânicos, como é o caso dos dejetos suínos, podem ser degradados pela via anaeróbia, visando maior eficiência e economia devido às suas características de biodegradabilidade. Os reatores anaeróbios vêm sendo amplamente aplicados no mundo todo para o tratamento de lodos de esgoto

sanitário, fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, de culturas agrícolas e de dejetos animais (CHERNICHARO, 2007).

Para Elango et. al. (2006), a digestão anaeróbia é um processo de multi-estágios que ocorrem na ausência de oxigênio, onde as bactérias são os organismos primários envolvidos. Nos digestores já estabilizados, o pH da massa em fermentação é colocado entre 6,8 e 7,4 e as bactérias têm faixa limitada de temperatura em que estão ativas, sendo que a faixa ótima de digestão está entre 30° e 40° C.

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de micro-organismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (SPERLING, 1996), conforme apresenta a Figura 3.

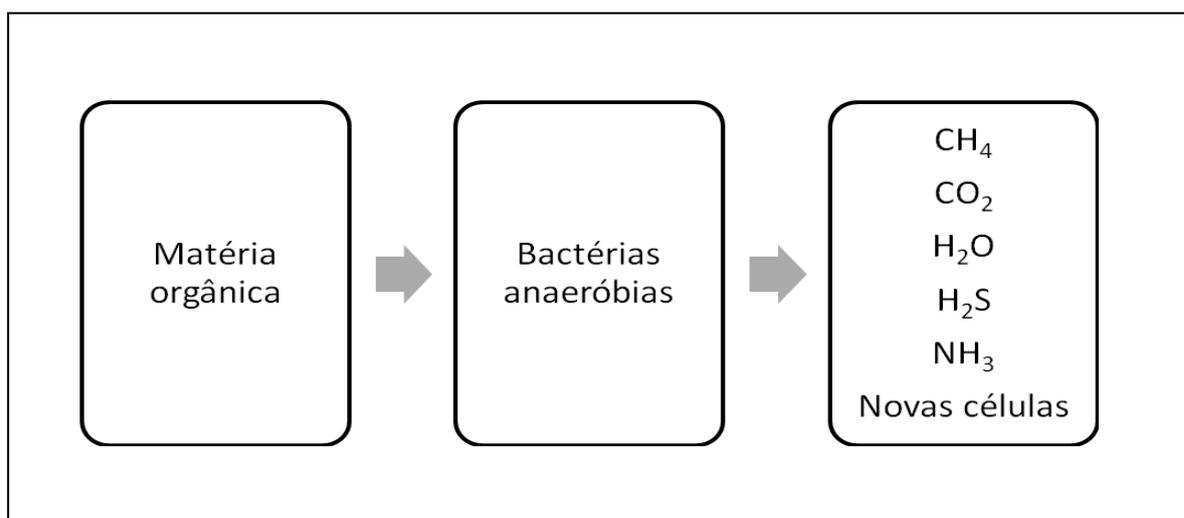


Figura 3 – Digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Fonte: adaptado de Sperling (1996)

Para Haandel & Lettinga, 1994 e Deublein & Steinhauser 2002, para a digestão anaeróbia de proteínas, carboidratos e lipídeos pode-se distinguir quatro fases distintas, como:

- **hidrólise:** nesta primeira fase os compostos insolúveis como celulose, proteínas e gorduras são transformadas em monômeros (compostos dissolvidos de menor peso molecular) por meio de exoenzimas excretadas por bactérias anaeróbias e facultativas, em que as ligações covalentes são

divididas em uma reação química com água. A hidrólise de carboidratos ocorre dentro de poucas horas e de proteínas e lipídeos dentro de poucos dias. A taxa de hidrólise pode ser um processo limitante para todo o processo de digestão anaeróbia;

- **acidogênese:** os compostos dissolvidos gerados no processo de hidrólise são absorvidos pelas células de bactérias facultativas e anaeróbias e, após a acidogênese, são excretados como substâncias mais simples como ácidos graxos voláteis, alcoóis, CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S . A concentração de íons de hidrogênio afeta o tipo de produto gerado na fermentação, sendo que quanto maior a pressão parcial do hidrogênio, menor será a formação de compostos reduzidos, como o acetato, por exemplo;
- **acetogênese:** os produtos da fase acidogênica servem como substratos para outras bactérias, como as da fase acetogênica, que irão, por sua vez, converter os compostos formando substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. As bactérias acetogênicas são obrigatoriamente produtoras de H_2 e a formação de acetato pela oxidação de ácidos graxos só é possível com baixa pressão parcial de hidrogênio;
- **metanogênese:** a quarta fase é o passo que limita a velocidade do processo de digestão como um todo e ocorre sob condições estritamente anaeróbias. O metano é produzido pelas bactérias acetotróficas a partir da redução de ácido acético ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir da redução de dióxido de carbono.

De acordo com Tchobanoglous; Burton & Stensel, (2004, p. 985), quando uma população de bactérias metanogênicas se encontra presente em quantidade suficiente, e as condições ambientais no interior do sistema de tratamento são favoráveis, estas utilizam os ácidos intermediários tão rapidamente quanto estes são formados. Como resultado, os ácidos não se acumulam além da capacidade neutralizadora da alcalinidade naturalmente presente no meio, o pH

permanece numa faixa favorável às bactérias metanogênicas e o sistema anaeróbio é considerado em equilíbrio.

Uma representação esquemática dos grupos bacterianos e fases de digestão anaeróbia é apresentada na Figura 4.

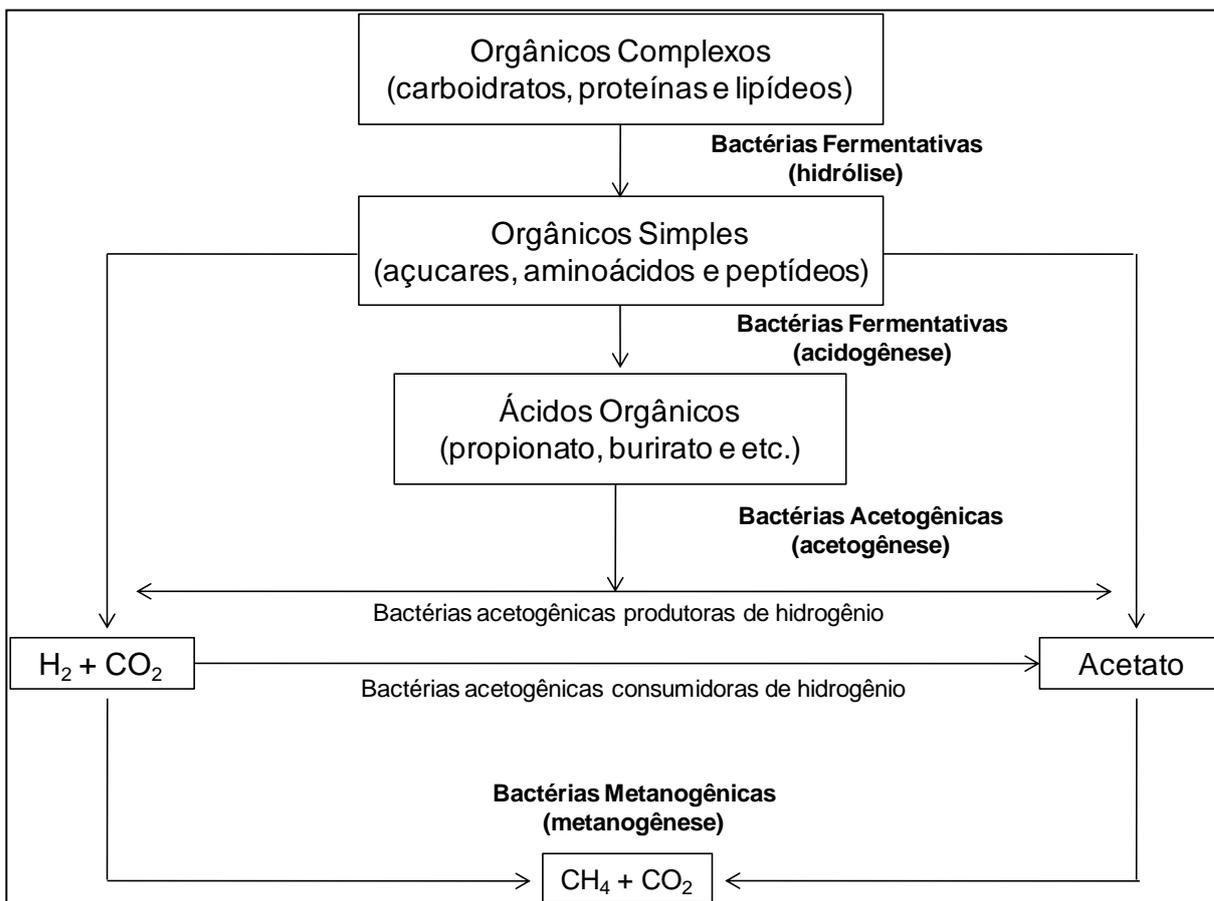


Figura 4 – Grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Fonte: adaptado de Chernicharo (2007)

De acordo com Jordão & Pessoa (1975), a digestão anaeróbia é realizada com as seguintes finalidades:

- destruir ou reduzir os micro-organismos patogênicos;
- estabilizar substâncias instáveis, principalmente a matéria orgânica presente nos dejetos;
- reduzir o volume de lodo por meio da liquefação, gaseificação e adensamento;
- permitir a reutilização deste material como fonte de nutrientes para fins agrícolas.

Algumas estações de tratamento nos Estados Unidos e na Alemanha já utilizam a digestão anaeróbia para converter os resíduos orgânicos ou efluente líquidos em metano, possibilitando seu aproveitamento energético. Na Itália, estações de triagem de resíduos sólidos foram instaladas em duas estações de tratamento de efluentes líquidos e a fração orgânica dos resíduos foi adicionada aos digestores pré-existentes, o que aumentou a taxa de produção de biogás em cinco vezes (RAPPORT et al, 2006)

2.2.2 Biodigestores rurais

Para Batista (1981), chama-se digestor a câmara onde se processa a digestão. Trata-se de um tanque fechado em concreto ou alvenaria onde a mistura (6 a 20% de sólidos e a restante água) a ser digerida é colocada. O biodigestor é composto, basicamente, de uma câmara fechada chamada de digestor na quais biomassas, são fermentadas anaerobicamente. Como resultado desta fermentação ocorre à liberação de biogás e a produção de biofertilizante. Esse aparelho, não produz o biogás, apenas fornece as condições propícias para que as bactérias metanogênicas degradem o material orgânico, com a conseqüente liberação do gás metano, sendo o chinês, indiano e canadense os modelos principais.

Segundo Deganutti et. al (2002), o biodigestor chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás (Figura 5). Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre decompressão. Uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte.

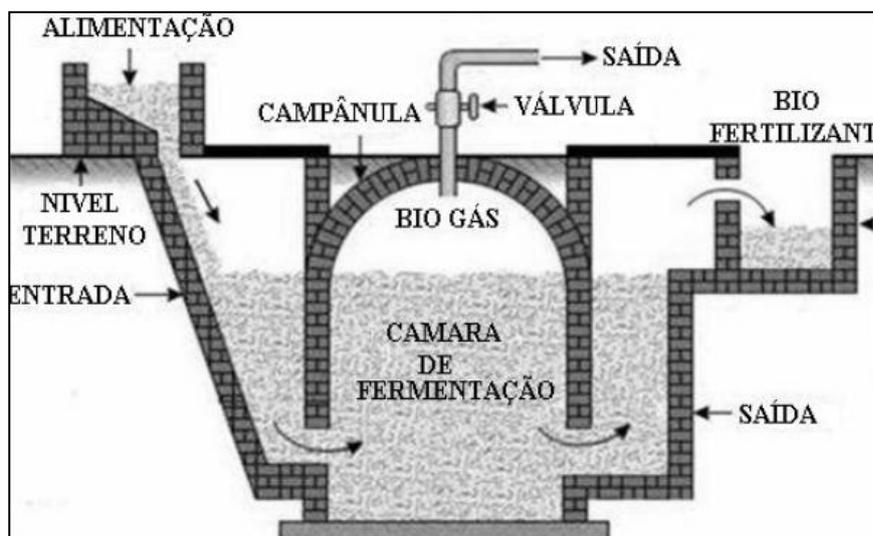


Figura 5 – Vista frontal do biodigestor chinês.

Fonte: Fonseca et. al. (2009)

Ainda para Deganutti et. al. (2002) o biodigestor indiano (Figura 6) apresenta uma campânula utilizada como gasômetro, geralmente mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central, dividindo o tanque de fermentação em duas câmaras e, desta forma, permitindo que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.

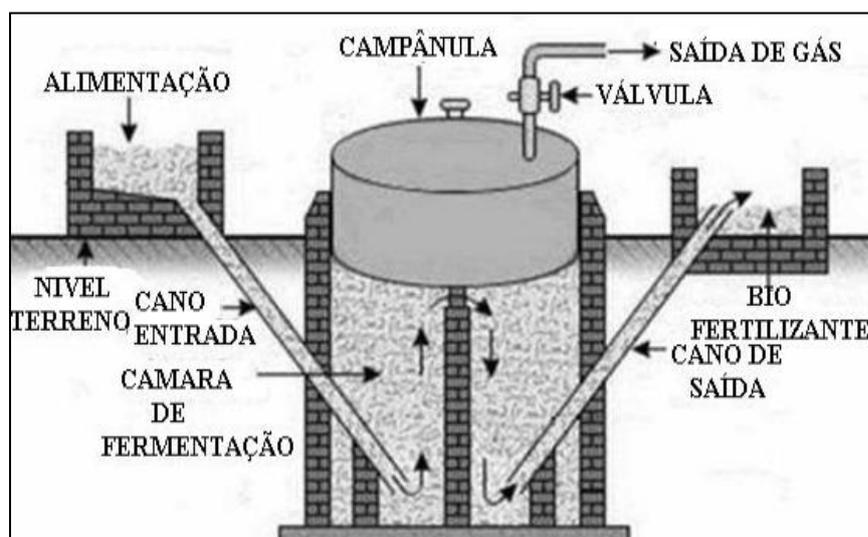


Figura 6 – Vista frontal do biodigestor indiano.

Fonte: Fonseca et. al. (2009)

Por fim, o biodigestor tipo canadense (Figura 7), modelo mais utilizado na região sul do Brasil, é um modelo tipo horizontal, constituído por uma caixa de carga

em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo uma área maior de exposição ao sol e, assim, apresentando grande eficiência na produção de biogás. Durante a produção de biogás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada. Neste tipo de biodigestor, o biogás pode ser enviado para um gasômetro separado, permitindo maior controle. (NEVES, 2010).

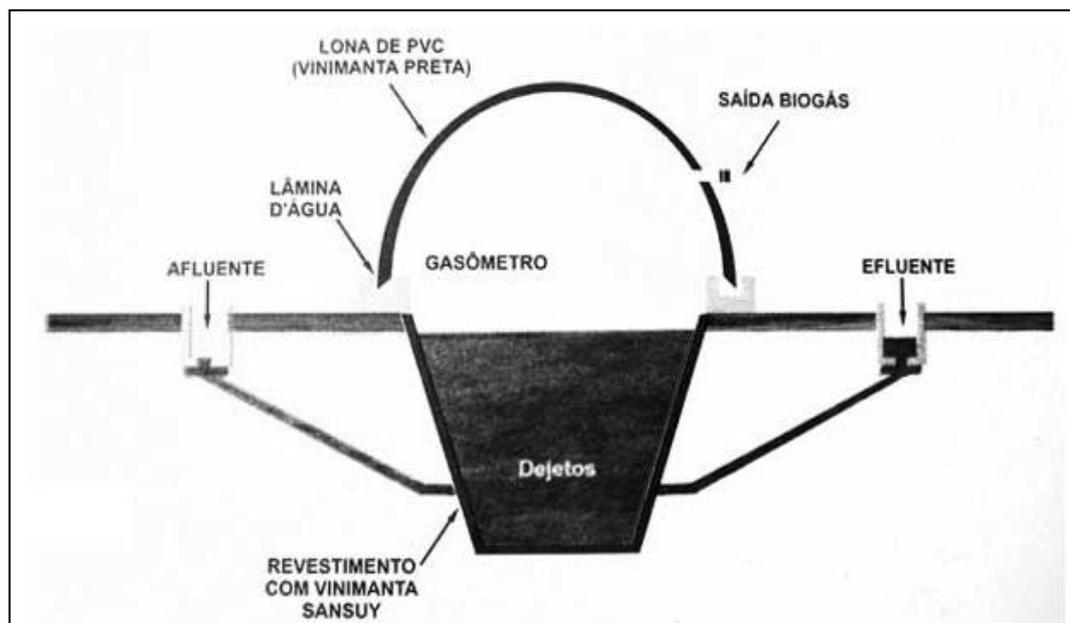


Figura 7 – Biodigestor tipo canadense.

Fonte: Embrapa (2002)

De acordo com Gerardi (2003), o controle de processos operacionais em biodigestores anaeróbios é considerado complexo, visto que diversas condições operacionais estão interligadas e a mudança em uma variável pode afetar diretamente as outras. As principais condições operacionais avaliadas são:

- **tempo de retenção:** existem dois tempos de retenção significativos em um biodigestor anaeróbio. O primeiro é o Tempo de Retenção de Sólidos (TRS), ou seja, o tempo médio em que as bactérias (sólidos) ficam do biodigestor e o segundo é o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), ou seja, o tempo em que as águas residuárias ou lodos permanecem dentro do reator. Em função longo tempo necessário para que uma população de bactérias formadoras de metano dobre de tamanho em comparação com as bactérias aeróbias, os TRS típicos de biodigestores anaeróbios são superiores a 12 dias;

- **temperatura:** uma temperatura aceitável e uniforme deve ser mantida durante todo o reator para evitar bolsões de baixas temperaturas e atividade bacteriana indesejada. A maioria das bactérias metanogênicas são ativadas em duas faixas de temperatura, a faixa mesofílica, que varia entre 30 e 35 °C e a faixa termofílica, que varia entre 50 e 60 °C, sendo que condições ótimas são obtidas com temperaturas próximas a 35 °C;
- **nutrientes:** os dois principais nutrientes necessários a qualquer tratamento biológico são o nitrogênio e o fósforo. Estes nutrientes são disponibilizados para as bactérias anaeróbias, incluindo das metanogênicas, na forma de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e ortofosfato (PO_4^-), ambos estão disponíveis na forma solúvel. As exigências nutricionais variam à diferentes taxas de carga orgânica, porém, usualmente taxas de C:N:P de 1.000:7:1 são utilizadas para resíduos de alta resistência e 350:7:1 para resíduos de baixa resistência. Tais proporções possuem uma relação C/N de pelo menos 25:1, o que é sugerido para a produção ideal de biogás;
- **alcalinidade e pH:** a alcalinidade serve como um tampão que impede alterações bruscas de pH dentro do biodigestor e seu monitoramento é de extrema importância, visto que a atividade enzimática é influenciada pelo pH. A atividade enzimática considerada aceitável para as bactérias acidogênicas acontece com pH acima de 5,0, porém, para as bactérias metanogênicas a atividade enzimática não ocorre em pH abaixo de 6,2. Em um reator operando normalmente o pH varia entre 6,8 a 7,2. O pH de um biodigestor anaeróbio tende a diminuir no início do processo de digestão com a formação de ácidos voláteis, porém, na medida em que as metanogênicas consomem os ácidos voláteis e a alcalinidade é produzida, o pH do reator tende à estabilização.

2.3 O BIOGÁS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA

Na Índia, a idéia de aproveitar o gás metano produzido por digestão anaeróbia já existia no século XIX, mais precisamente no ano de 1859, quando em uma colônia de leproso, em Bombaim, foi feita a primeira experiência de utilização direta de biogás. Em 1895, trinta e

seis anos depois, teve lugar a primeira experiência europeia com a utilização do biogás para iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, a que se seguiram outras experiências motivadas principalmente pelo entusiasmo inicial que esse processo causou. (PIRES, 1996, p.63).

Desde o descobrimento do petróleo e suas diversas utilizações, ele tem sido explorado intensivamente como minério precioso e de ampla utilização conforme a trajetória descrita por Miller *apud* Braga et al. (2002).

De acordo com Deublein e Steinhauser (2008) a maior parte da energia é obtida atualmente é pela queima de óleo ou ainda uma pequena parcela é gerada por usinas nucleares. A contribuição da energia de recursos renováveis é quase insignificante. Mas isso vai mudar no futuro com aumento dos preços de petróleo. No futuro, os países utilizarão tecnologias alternativas, dependendo de suas características climáticas e geográficas. Alemanha, por exemplo, poupa a energia oriunda de fontes nucleares, colocando-a como um dos países líderes no desenvolvimento de tecnologias para fontes de energia alternativas e renováveis.

Os recursos renováveis têm ainda muito a serem explorados, em especial as energias alternativas como a eólica e a solar, bem como o aproveitamento energético dos resíduos rurais e urbanos. Tais recursos possuem uma tendência crescente de desenvolvimento a aplicação a partir do século XXI (Figura 8), sendo necessário aprofundar a compreensão sobre os tipos de energia, a forma de captação e os custos que podem atender nossas necessidades, e, se estamos preparados ou não para enfrentar o desafio de aproveitá-la, uma vez que o impacto ambiental do seu consumo pode determinar o horizonte temporal de sua utilização (BRAGA et al, 2002).

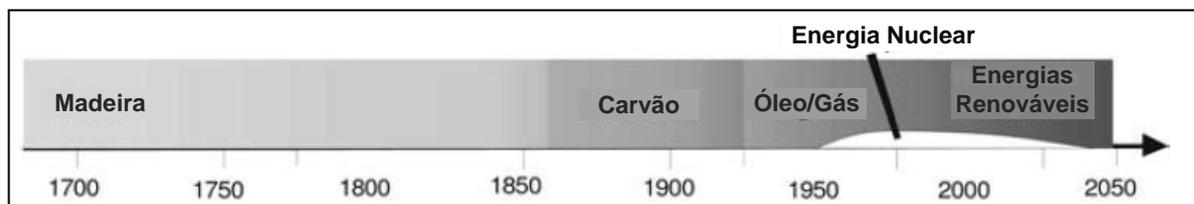


Figura 8 – Ciclo de vida de fontes primárias de energia.

Fonte: Braga et. al. (2002)

Lellis (2007) define energias alternativas como sendo aquelas utilizadas como alternativa ou complemento ao parque gerador convencional. São, em geral, pequenas fontes que complementam a matriz energética, mas ainda sem uma oferta expressiva. Em geral, são fontes de energia limpa como a solar, eólica e biomassa residual.

O biogás gerado na decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos, dejetos de animais, efluentes domésticos, assim como resíduos produzidos por matadouros, fábrica de laticínios, entre outros pode ser considerado uma fonte alternativa de energia. O grande volume de resíduos com potencial de geração do biogás torna essa conversão energética uma solução para agregar ganho ambiental, pela destinação adequada dos resíduos, aliada à redução das emissões de metano em razão de seu potencial energético de reaproveitamento. (SILVA et al., 2004).

Ainda para o autor, para a conversão energética do biogás existem duas maneiras: i) a energia química contida em suas moléculas pode ser convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada, onde a energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica, e ii) pode ser utilizado para queima direta em caldeiras para cogeração. Assim, o biogás pode gerar tanto energia elétrica, quanto térmica.

Quando as especificações de qualidade de vida dos microrganismos são atendidas, o biogás obtido deve, segundo Seixas et. al. (1980), ser composto de uma mistura de gases, com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35 ou 40% restantes consistem, principalmente, em gás carbônico, e quantidades menores de outros gases (Quadro 1).

Quadro 1 – Composição média do biogás

TIPO DE GÁS	COMPOSIÇÃO
CH ₄	60 a 70 %
CO ₂	30 a 40 %
NH ₃	0 a 1 %
N ₂	0 a 7 %
H ₂	0 a 1 %
H ₂ S	0 a 3 %
O ₂	0 a 2 %

Fonte: Seixas (1980)

De acordo com Barrera (1993), o metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, inodoro, altamente combustível e sua equivalência energética é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparação entre o biogás e outros combustíveis

COMBUSTÍVEIS	1 m³ DE BIOGÁS EQUIVALE À
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo Diesel	0,553 litros
Gás de Cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool Hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: Barrera (1993)

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS

Rathunde (2009) avaliou a viabilidade econômica da implantação de projetos de geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos no município de Cruz Machado/PR em diferentes cenários, considerando 6 propriedades rurais com sistemas de UPL e Terminação. Os indicadores encontrados para o cenário em que cada produtor rural fosse o investidor do sistema de tratamento e geração de energia elétrica, consumindo a energia e vendendo o excedente à concessionária estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Indicadores econômicos cenário 1

Produtor	Unidade	A	B	C	D	E	F
Sistema	UPL	Terminação	UPL	UPL	Terminação	Terminação	UPL
Suínos	Plantel	607	1200	888	515	350	626
Investimento Total	R\$	151.330	239.360	167.875	145.914	150.699	152.449
Desembolsos Anuais	R\$	4.930	5.100	4.930	4.930	4.930	4.930

Quadro 3 – Indicadores econômicos cenário 1 (continuação)

Produtor	Unidade	A	B	C	D	E	F
Receitas Anuais	R\$	32.700	82.301	48.985	27.945	24.145	34.335
VPL	R\$	26.116	156.604	80.026	10.897	-9.345	32.010
Payback	Anos	6	4	4	6	8	5
TMA/TIR	%	0,62	0,35	0,4	0,79	1,30	0,58

Fonte: Rathunde (2009)

Quando considerada a hipótese de implantação de um condomínio abrangendo os 6 produtores interligados por um sistema de gasoduto, o autor observou uma elevação no custo unitário para a implantação do sistema, e, com isso, piores indicadores econômicos, apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Indicadores econômicos cenário 2

Produtor	Unidade	A	B	C	D	E	F
Sistema	UPL	Terminação	UPL	UPL	Terminação	Terminação	UPL
Suínos	Plantel	607	1200	888	515	350	626
Investimento Total	R\$	166.635	443.564	240.304	142.516	134.685	171.616
Desembolsos Anuais	R\$	730	1.245	883	6.804	646	740
Receitas Anuais	R\$	33.504	93.802	49.898	28.258	24.905	34.595
VPL	R\$	-21.080	-78.851	-30.057	-18.140	-24.193	-21.687
Payback	Anos	8	8	8	8	9	8
TMA/TIR	%	1,55	1,95	1,52	1,56	2,06	1,54

Fonte: Rathunde (2009)

Schuch (2012) também avaliou a viabilidade econômica da implantação de projeto de aproveitamento energético do biogás na Sanga Ajuricaba, Município de Marechal Cândido Rondon/PR, com plantel de 3.082 suínos, com produção anual de 266.000 m³ de biogás. Este projeto foi implantado com investimento financeiro da Itaipu Binacional e contrapartidas operacionais da prefeitura municipal e mão de obra dos agricultores condôminos, ao custo de R\$ 2.817.000,00. Entre os itens custeados pelo investimento em 34 imóveis rurais destacam-se: reforma da

totalidade dos estábulos, implantação de 34 biodigestores, instalação de 25 quilômetros de gasoduto, construção da 1 unidade central para purificação do biogás e geração de energias, elétrica e térmica. Os indicadores econômicos obtidos com a análise estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Indicadores econômicos Sanga Ajuricaba/PR

Itens	Valores
Taxa mínima atrativa de retorno – TMAR	5,70%
<i>Payback</i> simples	10 anos
<i>Payback</i> descontado	13 anos
Valor presente líquido – VPL	R\$ 307.004,54
Valor presente líquido anualizado – VPLa	R\$ 30.993,95
Taxa interna de retorno – TIR	7,21%
Relação TMA/TIR	0,79
Índice benefício custo – IBC	1,12%
Retorno adicional Sobre Investimento – ROIA	1,12%
Retorno sobre capital investido – ROI	6,49%

Fonte: Schuch (2012)

Longo (2007) verificou a viabilidade econômica na geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da suinocultura na comunidade da Linha Aparecidinha, no município de Santa Helena/PR. O projeto considerou um plantel de 8.332 suínos, distribuídos em 14 propriedades rurais, com potencial para geração anual de 354.508 kg de biogás e, conseqüentemente, 207.783 kWh de energia elétrica. Os custos para implantação do projeto foi estimado em R\$ 655.598,33, com receita anual de R\$ 125.284,80. Tais dados configuraram um cenário econômico com uma TIR de 14% e VPL de R\$ 52,288,74, considerando um período de projeto de 10 anos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta é uma pesquisa com abordagem indutiva, baseada no método monográfico e com procedimento documental para a coleta de dados. Ao se analisar o efeito potencial da geração de energia em escala de microbacia pretendeu-se levantar, além dos aspectos particulares da localidade escolhida, aspectos genéricos que possam ser aplicáveis a outras regiões com características semelhantes. O estudo foi baseado no método monográfico, em que determinados objetos foram avaliados permitindo a obtenção de generalizações. A pesquisa documental foi fundamentada no levantamento em relatórios empresariais, orçamentos e imagens para a realização de cálculos econômicos (LAKATOS & MARCONI, 1983).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica do Rio Marreco faz parte da bacia hidrográfica do Paraná 3, localizada no oeste do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul, com área total de 8.389 km² (Figura 9).

Esta bacia corresponde à totalidade da área de drenagem dos afluentes que lançavam suas águas diretamente no Rio Paraná. Hoje estes afluentes, com a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, lançam suas águas no reservatório da usina, caracterizando a geração de energia elétrica como principal uso das águas desta bacia.

No seu entorno estão localizados 29 municípios, 16 destes lindeiros ao reservatório, totalizando aproximadamente 1 milhão de habitantes. As atividades econômicas desenvolvidas nesta região estão voltadas principalmente à agricultura, como a produção de milho, soja, trigo e mandioca, pecuária, com destaque para a suinocultura, avicultura e bovinocultura de leite e, ainda, à produção agroindustrial, como frigoríficos, laticínios, indústrias de óleos vegetais e fecularias.

Tal vocação produtiva requer elevado consumo de insumos como água e energia elétrica, criando áreas ambientalmente frágeis devido à pequena cobertura florestal, concentração de atividades agropecuárias e utilização intensiva do solo e dos recursos hídricos.

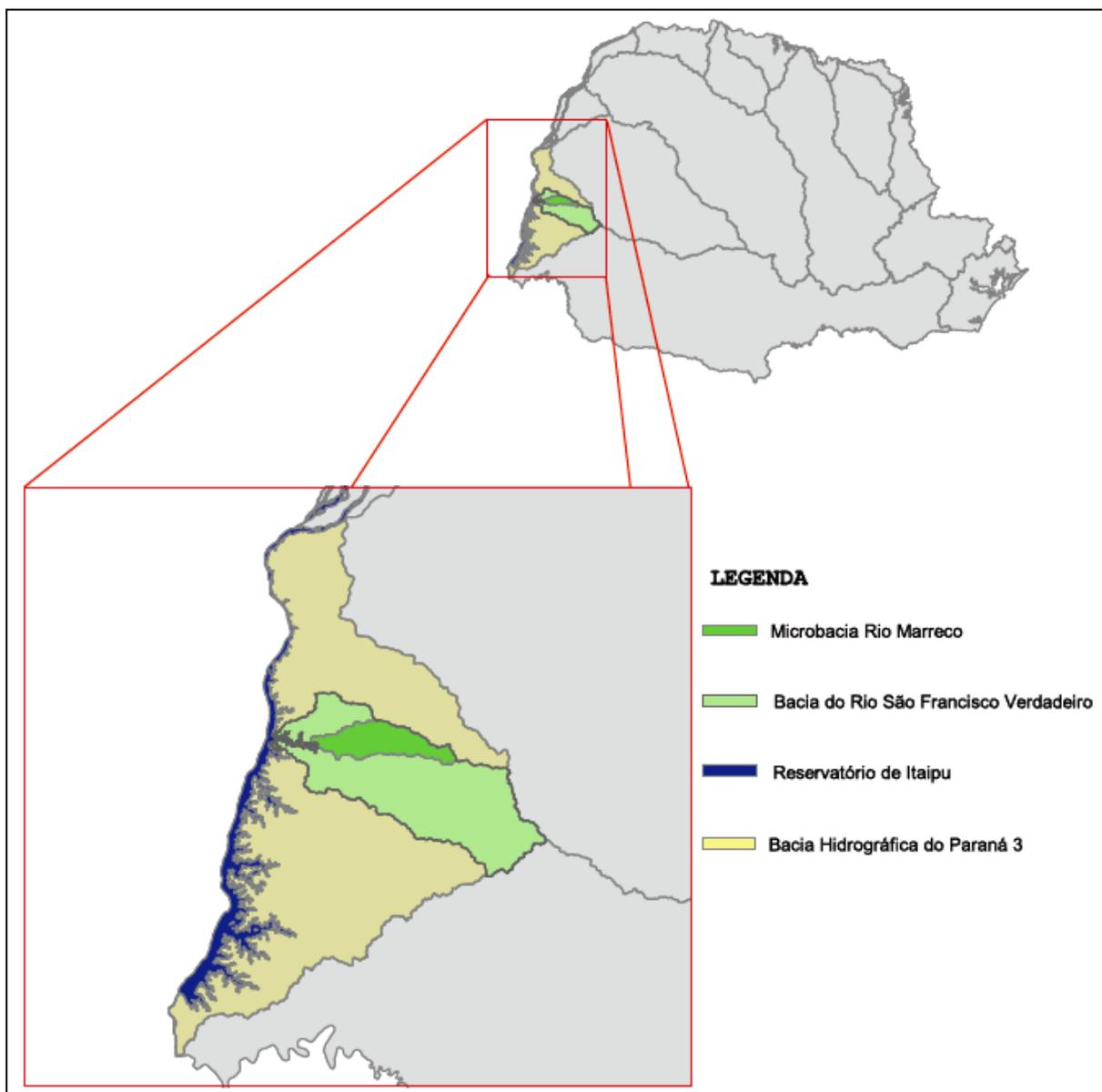


Figura 9 – Macrolocalização da microbacia hidrográfica do Rio Marreco

Fonte: Dados do autor

As nascentes do Rio Marreco encontram-se, em maior parte, no município de Toledo, que possui também o maior perímetro urbano da microbacia. Sua localização é caracterizada como uma das áreas de maior produção de grãos e suínos do estado do Paraná, liderando o ranking estadual na produção de suínos, com um rebanho de 250 mil animais, entre matrizes, machos e filhotes, o que resulta em um abate de 4.550 animais ao dia.

A organização da população no território municipal mantém relação direta com o as atividades econômicas, que apresentam aproximadamente 20% do PIB proveniente de atividades agrosilvopastoris.

O Rio Marreco está inserido no Terceiro Planalto Paranaense, o qual possui como representante mais expressivo a Serra da Esperança, no seu limite oriental. Em função da sua constituição geológica um tanto homogênea, a modelagem do relevo local não impôs grandes alternâncias na paisagem regional, sendo observadas morfologias suavemente onduladas correlacionadas aos derrames de basalto. Esta ondulação não muito pronunciada do relevo torna a localidade excelente para a prática da suinocultura, pois favorece a criação intensiva, com os animais constantemente confinados. A grande disponibilidade de água devido aos elevados índices de precipitação pluviométrica também contribui para a criação de suínos, que utiliza volumes consideráveis de água, seja nos bebedouros, seja para lavar as edificações de confinamento.

De acordo com o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a temperatura média anual da região no ano de 2011 ficou em torno de 23 °C, sendo propícia para o bom funcionamento dos biodigestores, os quais devem funcionar sob ação de uma temperatura amena, a fim de preservar a flora bacteriana anaeróbica responsável pela degradação da biomassa.

3.2 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS

O plantel de suínos foi obtido a partir do banco de dados da Empresa Brasil Foods (Sadia S.A.), que realiza a gestão das granjas em grande parte da bacia hidrográfica em estudo. As granjas foram classificadas em UPL, sendo contabilizado o número de matrizes e UCT, sendo contabilizados os suínos em fase de terminação.

3.3 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE DEJETOS E METANO

A estimativa do potencial de geração de dejetos foi realizada para cada categoria animal, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 – Produção de dejetos por categoria

Categoria	Esterco (kg dia⁻¹)	Esterco + Urina (kg dia⁻¹)	Dejetos Líquidos (L dia⁻¹)
Terminação	2,3	4,9	7,00
Matriz	5,0	14,5	21,0

Fonte: IAP (2009)

O dimensionamento preliminar do volume necessário ao armazenamento e digestão dos dejetos em cada biodigestor foi realizado considerando um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 28 dias, conforme a Equação 1.

$$Volume (m^3) = \frac{Dejetos \left(\frac{L}{dia} \right) \times TRH (dia)}{1.000 L} \quad Eq. 1$$

Já a estimativa do potencial de geração de metano produzido durante o armazenamento e o tratamento dos dejetos suínos foi realizada a partir do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006). Este guia apresenta três *tiers* para estimativas de emissão de metano a partir da biomassa residual animal, sendo elas:

- **Tier 1:** método simplificado que requer somente os dados referentes ao plantel animal por categoria e temperaturas médias locais, combinados com os fatores de emissão padrão do IPCC;
- **Tier 2:** método aprofundado que requer informações detalhadas sobre as características animais e práticas de manejo de dejetos, utilizados para desenvolver fatores de emissão específicos para as condições locais, e
- **Tier 3:** método mais complexo realizado a partir de modelagens visando o desenvolvimento de metodologias específicas para quantificar os fatores de emissão.

A escolha do método é realizada em função da disponibilidade de dados sobre as características de produção animal de cada país. A disponibilidade de

dados permitiu a realização da estimativa de emissão de metano pelo *Tier 2*, recomendada pelo IPCC para estudos mais aprofundados. A Equação 2 apresenta o cálculo da emissão de metano.

$$CH_4 = \sum_t \frac{(FE_t \times N_t)}{10^6} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

CH_4 = emissão de metano, Gg CH_4 ano⁻¹

$FE_{(t)}$ = fator de emissão, kg CH_4 animal⁻¹ ano⁻¹

$N(t)$ = plantel animal por categoria;

t = categoria animal.

Já a equação 3 apresenta cálculo do Fator de Emissão.

$$FE_{(t)} = (SV_t \times 365) \times \left[B_{0(t)} \times 0,67 \frac{kg}{m^3} \times \sum_{S,k} \frac{FCM_{S,k}}{100} \times MS_{T,S,k} \right] \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

FE_t = fator de emissão de metano para a categoria animal t, kg CH_4 animal⁻¹.ano⁻¹;

SV_t = sólidos voláteis da categoria animal t, kg de matéria seca animal⁻¹.dia⁻¹;

365 = base para o cálculo anual da produção de SV, dias.ano⁻¹;

$B_{0(t)}$ = capacidade máxima de produção de metano por dejetos produzido para a categoria animal t, m³ CH_4 .kg⁻¹ de SV;

0,67 = fator de conversão de m³ CH_4 para quilograma de CH_4 ;

$FCM_{(S,k)}$ = fator de conversão de metano para cada sistema de gestão de dejetos S, pelo clima local k, %;

$MS_{(t,k,s)}$ = fração da categoria animal t's manejada utilizando o sistema de gestão S, pelo clima local k, adimensional.

Para a estimativa foram adotadas variáveis para os sólidos voláteis, capacidade máxima de produção de metano, fator de conversão e fração de manejo utilizada, determinadas a partir da classe de suínos, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Variáveis utilizadas na estimativa

Variáveis Utilizadas	UPL	UCT
Temperatura Média Anual (°C)	23,0	23,0
Fator de Conversão de Metano (%)	100	100
Peso (kg)	198	50
B_0 ($m^3CH_4 \text{ kgSV}^{-1}$)	0,45	0,45
Sólidos Voláteis (kg.dia^{-1})	0,46	0,30
Fração da categoria animal manejada	1,0	1,0

Fonte: IPCC (2006); IAPAR (2011)

- **SV - Sólidos Voláteis**

Os sólidos voláteis representam a matéria orgânica nos dejetos produzidos e consistem de frações biodegradáveis e não-biodegradáveis. Caso não existam dados de medições em campo sobre a produção de sólidos voláteis (como é o caso deste estudo), é possível obter uma estimativa deste parâmetro para a realidade da América do Sul no Anexo 10.A.2, capítulo 10, Volume 4 do IPCC, 2006.

- **B_0 – Capacidade máxima de produção de metano**

A capacidade máxima de produção de metano varia de acordo com a espécie e a alimentação. O método preferido para se obter os valores de B_0 é utilizar dados específicos de cada país, medidos a partir de metodologias padronizadas, porém, da mesma maneira que os SV, caso não existam medições padronizadas deste

parâmetro, é possível obter uma estimativa a partir dos anexos 10.A.4 a 10.A.9, capítulo 10, Volume 4 do IPCC, 2006.

- **FCM – Fator de conversão de metano para cada sistema de gerenciamento**

. O fator de conversão de metano é determinado para um sistema específico de gerenciamento de dejetos e representa o grau em que o B_0 é atingido. O valor de geração de metano para um sistema de gerenciamento específico é afetado pela condição anaeróbia presente, temperatura do sistema e o tempo de retenção da matéria orgânica no sistema.

3.4 GEORREFERENCIAMENTO DAS PROPRIEDADES RURAIS E TRAÇADO PRELIMINAR DO GASODUTO

A base de dados utilizada para a confecção dos mapas contendo hidrografia, limites do município e das microbacias, altimetria e rede viária foi disponibilizada por Paraná Cidade em formato Shape File. Para representar o perímetro do Município no Estado do Paraná e na Bacia do Paraná 3 foram utilizados dados cartográficos do Instituto de Terras e Cartografia e Geociências – ITCG.

A elaboração do traçado preliminar do gasoduto, bem como dos mapas temáticos apresentados nos Resultados e Discussões foi realizada a partir das seguintes ferramentas:

- gvSIG 1.11: manipulação, produção de dados cartográficos e elaboração dos mapas temáticos.
- Google Earth: utilização das imagens disponíveis no software com a finalidade de elaborar o traçado preliminar do gasoduto.

3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar o estudo de viabilidade econômica, consideraram-se dois cenários, sendo o 'Cenário A', em que os biodigestores são custeados pelos produtores

rurais, que vendem o biogás produzido e os custos de implantação, operação e manutenção do gasoduto fica sob a responsabilidade do consumidor da energia e, ainda o Cenário B, onde tanto os biodigestores quanto o gasoduto são custeados pelo consumidor da energia. Em ambos os cenários a quantidade de dejetos a ser digerida é exatamente a mesma e os custos adicionais para adequação do sistema de caldeiras do frigorífico visando o recebimento do metano não foram considerados, visto que este sistema já possui adequações para a substituição realizadas recentemente. A identificação de responsabilidades para cada cenário está apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 – Identificação das responsabilidades sobre investimentos

VARIÁVEIS	CENÁRIO A	CENÁRIO B
Construção e operação dos biodigestores	Produtor Rural	Consumidor
Construção do gasoduto	Consumidor	Consumidor
Compra do metano	Consumidor	Não se aplica

A análise de viabilidade econômica tem a função de indicar, por meio de técnicas específicas, os parâmetros de economicidade que permitam a decisão de se investir ou não em determinado projeto. Essas técnicas de avaliação se completam, não havendo um modelo único que atenda às inúmeras questões formuladas para a tomada de decisões (FERREIRA, 2004).

De acordo com Gitman (2002), a análise financeira é feita sobre o fluxo de caixa do empreendimento a ser avaliado. Alguns parâmetros, calculados a partir do fluxo de caixa foram utilizados para verificar a viabilidade econômica do estudo, como:

- **VPL (Valor Presente Líquido):** expresso em R\$, representa o balanço do fluxo de caixa do empreendimento ao longo dos anos, trazido para o presente. O VPL deve ser positivo para que o empreendimento seja viável, sendo que quanto maior seu valor mais viável o empreendimento será. Calcula-se o VPL a partir da Equação 4.

$$VPL = \sum_{t=1}^n [FC_t / (1 + k)^t] - I_0 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

FC – Valor futuro considerado. É o valor de despesa ou receita do fluxo de caixa que se deseja trazer para o valor presente (VPL).

n – período de análise, em anos. Analisa-se a viabilidade financeira de um empreendimento para um horizonte, por exemplo, de 10 anos. Neste caso, $n=10$;

t – tempo do fluxo de caixa correspondente ao valor futuro considerado (FC). Se $n=10$, t varia de 1 a 10;

k – taxa de remuneração do capital. É um percentual de correção dos valores no tempo.

I_0 – Investimento inicial, feito no tempo 0 do fluxo de caixa, ou seja, no momento presente, em que $t=0$.

- **TIR (Taxa Interna de Retorno):** taxa de remuneração do capital investido, resultante do fluxo de caixa do projeto. A TIR é obtida da mesma Equação 3.3, considerando-se $VPL = 0$;
- **TMA (Taxa Mínima de Atratividade):** representa o percentual de remuneração do capital investido no mercado financeiro, caso a decisão seja não investi-lo no empreendimento;
- **Relação TIR/TMA:** para verificar se um empreendimento é viável financeiramente, a TIR deve ser comparada à TMA. O empreendimento é considerado atrativo se a TIR for maior que a TMA. Quanto mais alto for o resultado deste índice, melhor é o empreendimento;
- **Payback Descontado (PD):** expresso em anos, é o tempo necessário para que os fluxos de caixa positivos cubram os fluxos de caixa negativos do projeto, considerando a taxa de juros.

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

4.1 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS

O levantamento do plantel de suínos considerou os sistemas de UPL, em que as matrizes foram contabilizadas e de UCT, onde foram contabilizados os suínos em fase de terminação. Os dados individuais estão apresentados no Apêndice A.

Ao todo foram identificadas 121 propriedades rurais com atividade de suinocultura, sendo 116 em sistemas de UCT, com plantel de 94.255 suínos e 5 em sistemas de UPL, com plantel de 874 suínos, totalizando um plantel instalado de 95.129 suínos. Das propriedades identificadas, 97 estavam localizadas na microbacia do Rio Marreco e 24 na microbacia do Rio São Francisco Verdadeiro, sendo estas últimas incluídas no estudo pela proximidade quanto ao traçado do gasoduto, contribuindo para a redução unitária dos custos de implantação.

As granjas foram classificadas quanto ao porte, de acordo com os procedimentos para o licenciamento ambiental da suinocultura pelo Instituto Ambiental do Paraná - Instrução Normativa IAP/DIRAM 105.006/09 (Quadro 9).

Quadro 9 – Classificação quanto ao porte das granjas

PORTE	UPL	UCT
Mínimo	Até 50	Até 200
Pequeno	51 a 100	201 a 500
Médio	101 a 300	501 a 1.500
Grande	301 a 500	1.500 a 4.000

Fonte: IAP (2009)

Todas as UPL identificadas foram classificadas como médio porte. Já para as UCT, foram identificadas 25 granjas de pequeno porte, 86 de médio porte e 5 granjas de grande porte. A localização destas granjas é apresentada na Figura 10.

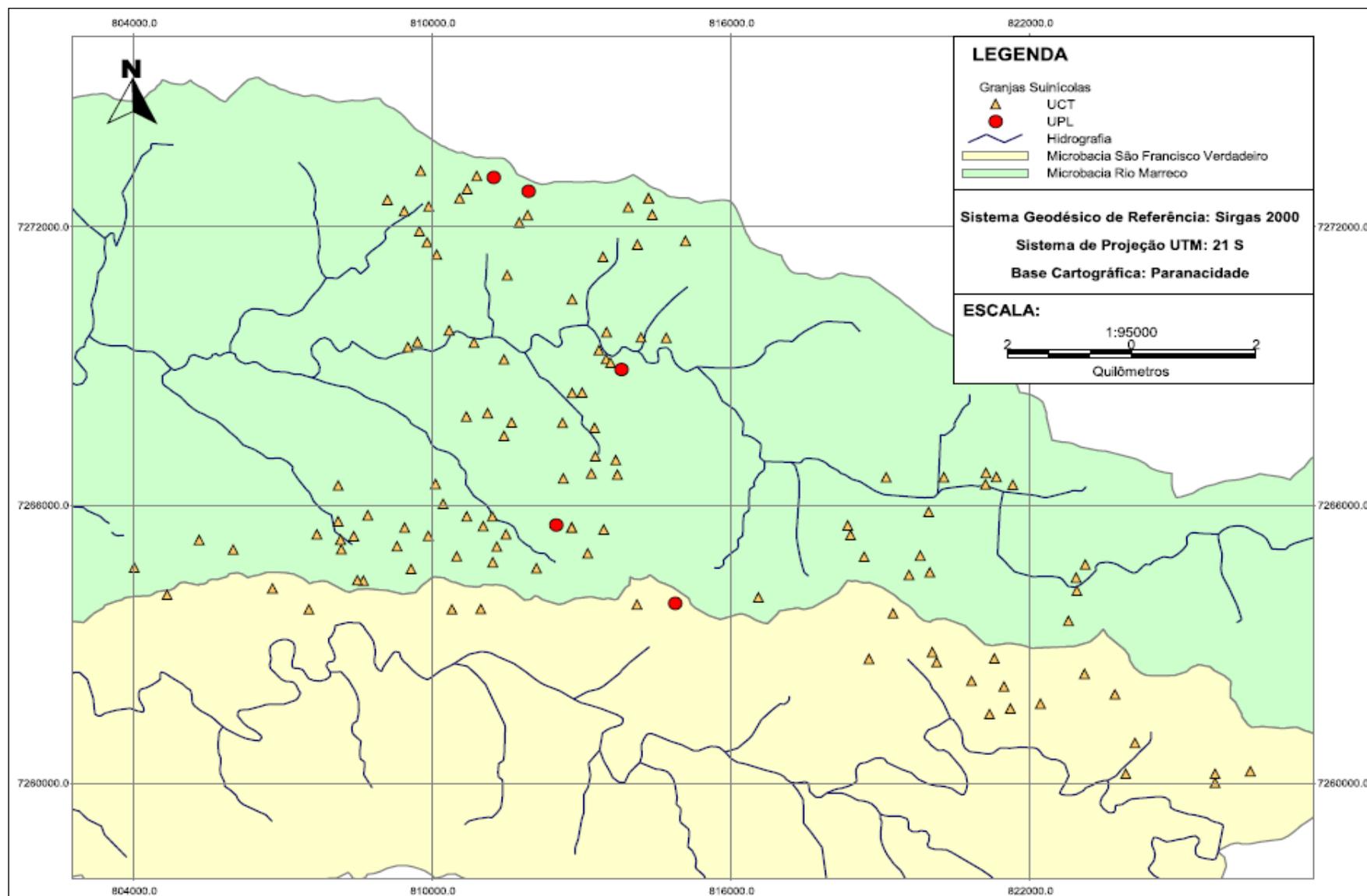


Figura 10 – Localização das propriedades rurais.

Fonte: Dados do autor

4.2 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE DEJETOS E METANO

A partir das equações 1, 2 e 3 foram realizadas as estimativas do potencial de dejetos e metano para cada propriedade rural, assim como o volume de biodigestor necessário ao armazenamento e digestão dos dejetos. Os dados obtidos estão apresentados no Apêndice B.

São produzidos diariamente 678,1 m³ de dejetos no perímetro da microbacia hidrográfica do Rio Marreco, que se tratados de forma controlada em biodigestores rurais possuem um potencial de produção de 12.905,3 m³ de metano. Este material, dotado de valor econômico, pode ser utilizado como fonte alternativa de energia em substituição total ou parcial de fontes convencionais, podendo ser aproveitado diretamente no aquecimento em caldeiras e fornos industriais, convertido em energia elétrica após tratamento para a remoção de H₂O e H₂S e combustão em um grupo motogerador ou comprimido e utilizado como gás veicular.

As figuras 11 e 12 apresentam a produção de dejetos e metano pelas propriedades rurais distribuídas ao longo da bacia. Esta produção descentralizada pode dificultar a obtenção de viabilidade econômica na implantação de projetos individuais de aproveitamento energético do metano gerado, pois os custos de implantação são significativos e a energia consumida, principalmente no perímetro rural, tem seus custos subsidiados pelo Governo Federal e que, mesmo trazendo benefícios ambientais gerados da utilização de uma fonte renovável, pode inviabilizar o investimento.

Uma alternativa a este panorama é a implantação de condomínios de agroenergia, onde o transporte do gás metano é realizado por meio de gasodutos, um conjunto de tubulações enterradas a uma profundidade média de 0,5 metros do solo, que possibilita o envio deste gás até as unidades consumidoras.

Para coletar e transportar o metano gerado nas propriedades foi estimado, por meio de georreferenciamento, a necessidade de 123,51 km de gasodutos (Figura 13). Este sistema é composto por gasodutos secundários, que possuem a função de conectar cada propriedade ao gasoduto tronco, que, por fim, transporta o metano até o consumidor final. O custo de implantação do sistema foi adotado por meio de orçamento em R\$ 17,00 por metro para os gasodutos secundários e R\$ 35,00 por metro para o gasoduto tronco, totalizando R\$ 4.126.160 em investimentos, sob a responsabilidade do consumidor da energia.

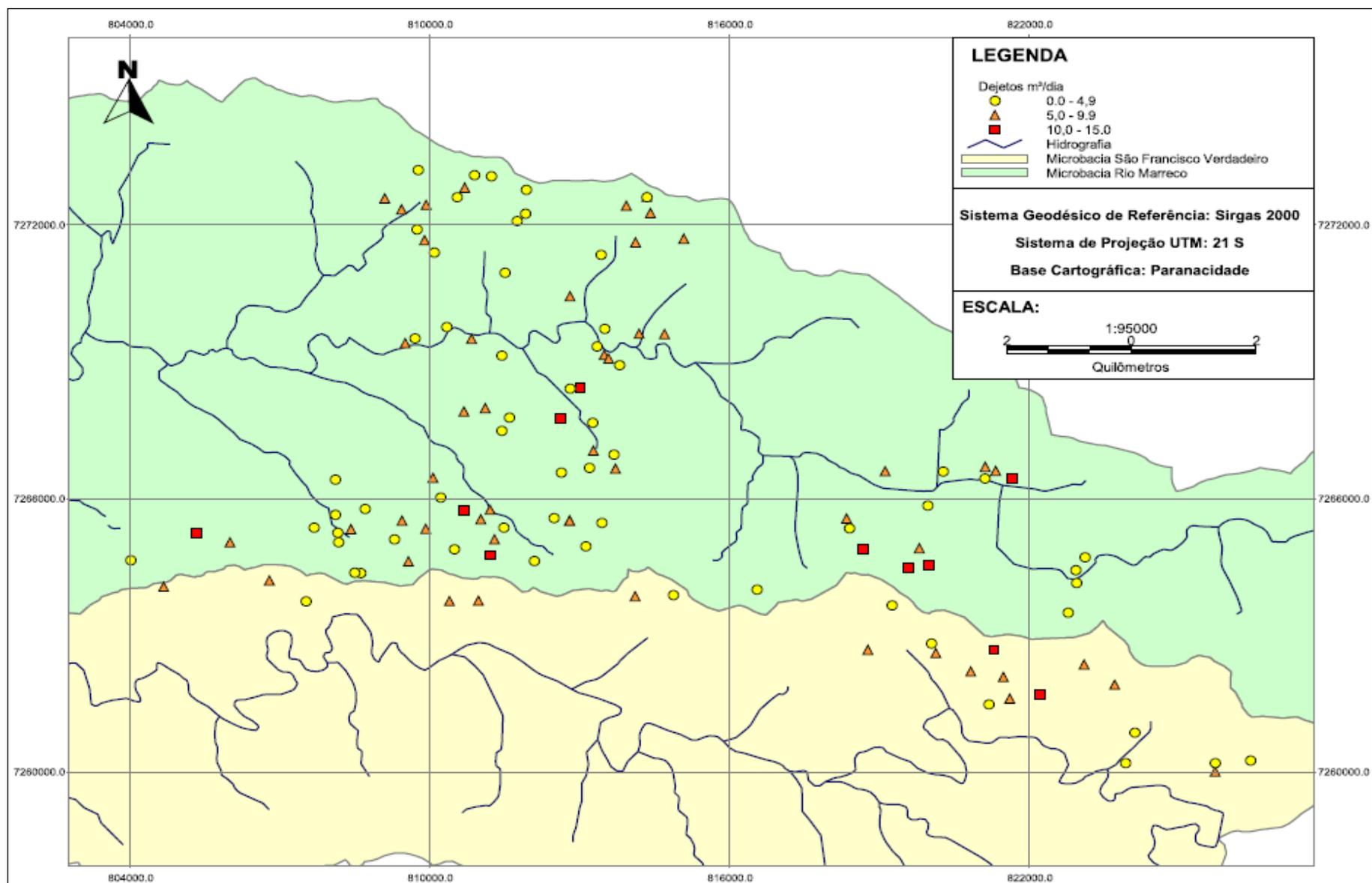


Figura 11 – Estimativa da produção de dejetos.

Fonte: Dados do autor

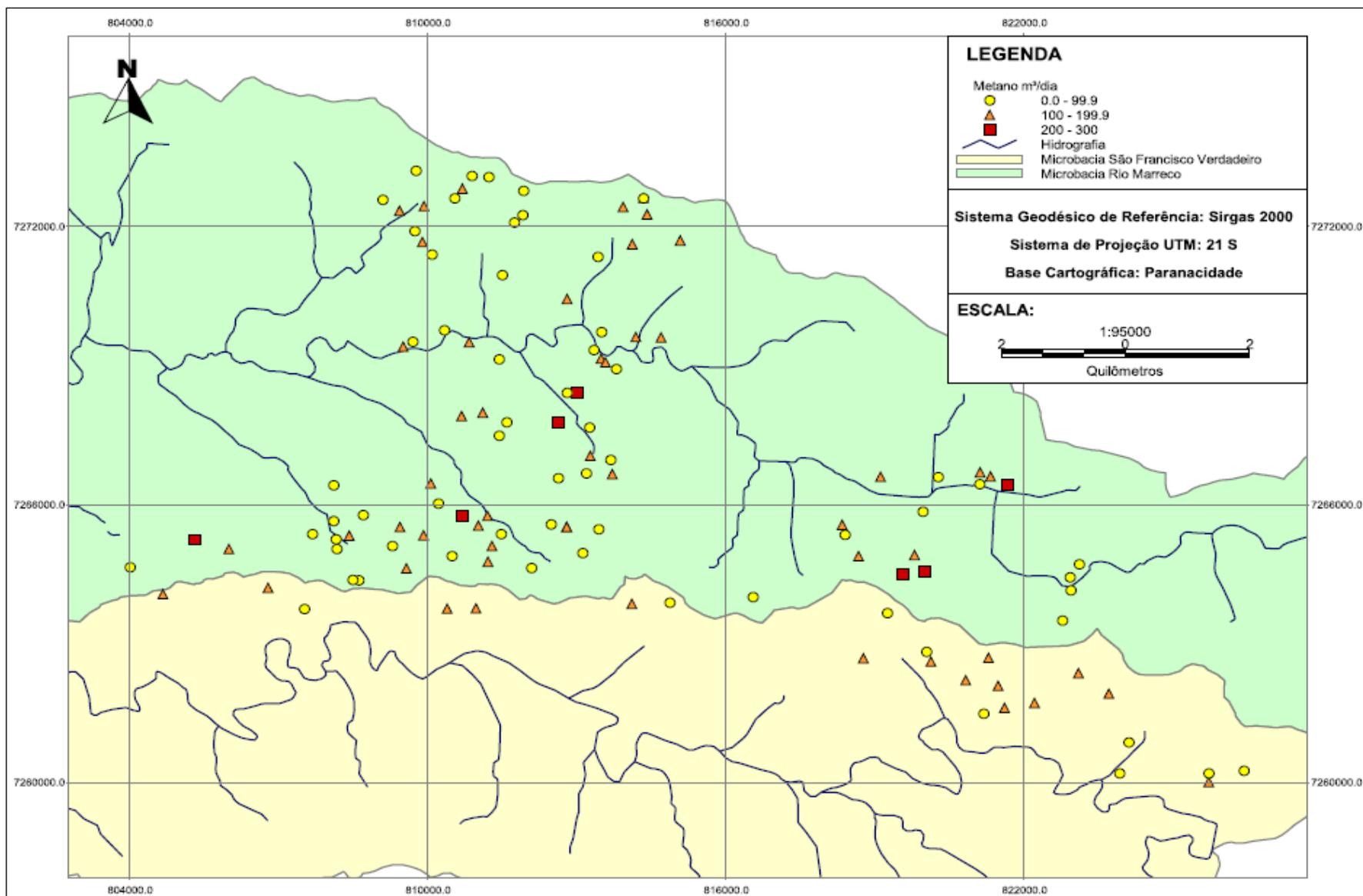


Figura 12 – Estimativa da produção de metano.

Fonte: Dados do autor

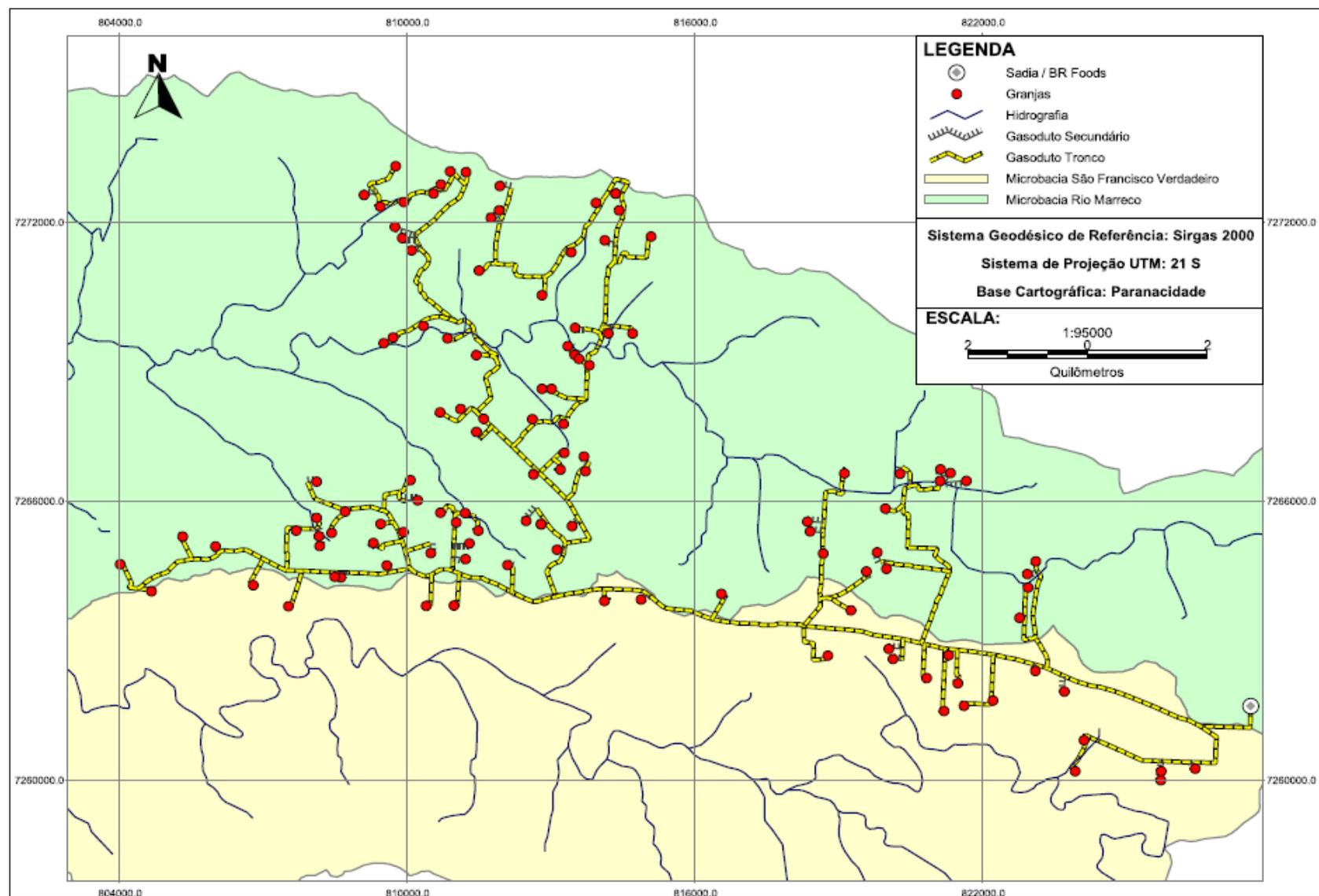


Figura 13 – Identificação da produção, transporte e consumo do metano.

Fonte: Dados do autor

4.3 IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONSUMIDOR

Em função da vocação econômica da bacia hidrográfica, são inúmeras as possibilidades de aproveitamento energético do metano em substituição às fontes convencionais. Dentro do perímetro da bacia hidrográfica podem ser encontradas atividades industriais e comerciais como fecularias, cerâmicas, frigoríficos, postos de combustíveis e ainda, centros urbanos consumidores de energia elétrica.

A forma como a energia é utilizada pelo consumidor final influencia diretamente a análise de viabilidade econômica, devido, principalmente, aos diferentes requisitos de purificação do biogás, custos envolvidos na aquisição da fonte convencional de energia e, ainda, a distância percorrida pelo metano entre as fontes produtoras e consumidoras. Deste modo, buscou-se identificar um consumidor com potencial de aproveitamento de toda a energia gerada pelos dejetos suínos e possibilidade de substituição do metano como fonte de energia térmica, elétrica ou veicular, permitindo o desenvolvimento de estudos futuros.

Neste sentido, foi selecionado para o estudo o frigorífico de aves e suínos da empresa Sadia S.A., localizado no município de Toledo/PR. Sendo por vários anos o maior frigorífico de aves da América Latina, e, com capacidade de abate de 360 mil aves por dia, este frigorífico apresenta um consumo expressivo de lenha e cavaco como fonte de energia térmica para as caldeiras. Os dados do consumo, custo, poder calorífico e umidade estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Dados do consumo energético do frigorífico de aves e suínos

Dados	Lenha	Cavaco
Espécie	Eucalipto	Pinus
Consumo (kg mês ⁻¹)	9.800.000	2.820.000
Custo (R\$ kg ⁻¹)	0,04	0,09
PCI (kcal kg ⁻¹)	2.200	2.400
Umidade (%)	40	40

Os 387.159,0 metros cúbicos de metano gerados mensalmente na bacia hidrográfica possuem um potencial de geração mensal de 3.887.076.360,0 quilocalorias, considerando o poder calorífico de 10.040 quilocalorias por metro

cúbico de metano. Assim, a energia gerada pela digestão anaeróbia dos dejetos suínos possui um potencial de substituição de 18,0% da lenha ou 57,4% do cavaco consumidos mensalmente pelo frigorífico, conforme apresentado no Quadro 11. De forma a melhor viabilizar a implantação do projeto, priorizou-se à substituição do insumo energético de maior custo, neste caso o cavaco.

Quadro 11 – Variáveis utilizadas na conversão energética

Dados	Lenha	Cavaco
Energia consumida (kcal mês ⁻¹)	21.560.000.000,0	6.768.000.000,0
Consumo equivalente de metano (m ³ mês ⁻¹)	21.147.410,4	674.103,6
Potencial de substituição (kg mês ⁻¹)	1.764.000	1.620.000
Potencial de substituição (%)	18,0	57,4

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

4.4.1 Cenário A

No Cenário A, os investimentos para a implantação dos biodigestores modelo canadense são de responsabilidade dos produtores rurais. A composição dos custos para implantação destes considerou volumes padronizados comercialmente, necessários para o armazenamento e digestão dos dejetos. Os custos obtidos por meio de orçamentos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição do custo de implantação dos biodigestores

Item	Custo em relação ao volume	
	Até 250 m³	Entre 250 e 500 m³
Geomembrana de PEAD / PEBD	R\$ 24.790	R\$ 24.790
Sistema de drenagem e inspeção	R\$ 7.180	R\$ 8.990
Sistema de drenagem e inspeção	R\$ 7.180	R\$ 8.990
Movimentação de terra	R\$ 10.200	R\$ 15.500
Obras civis	R\$ 9.200	R\$ 10.790
Total	R\$ 51.370	R\$ 60.070

Já a composição das receitas considerou a venda do biogás para o sistema consumidor, ao preço de R\$ 0,23 por metro cúbico de metano produzido. Além disso, foi considerada a geração de biofertilizante na propriedade rural, de acordo com as variáveis apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Variáveis utilizadas na estimativa de geração de biofertilizante

Biofertilizante	Produção	Custo
	(kg/m³)	(R\$/1.000 kg)
Nitrogênio (N)	1,91	700,00
Fósforo (P ₂ O ₅)	1,45	430,00
Potássio (K ₂ O)	0,80	1.700,00

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

A partir dos valores obtidos com os investimentos e receitas foram gerados os indicadores econômicos apresentados no Apêndice C. O fluxo de caixa considerou um período de projeto de 10 anos, em função da vida útil da geomembrana utilizada na implantação dos biodigestores e taxas de aquisição do capital no mercado e atratividade mínima em 2%, disponibilizada aos produtores rurais a partir de linhas de financiamento para tecnologias de energias renováveis do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

Das 121 propriedades rurais, 107 (88,4%) apresentaram volumes de biodigestores inferiores a 250 m³, com necessidade de investimento em R\$ 51.370,00. O valor obtido para o pagamento do metro cúbico do metano em R\$ 0,23 foi adotado com intuito de viabilizar a totalidade das propriedades da bacia, sem inviabilizar a implantação do sistema de coleta e transporte do metano pelo gasoduto. Ainda assim, aproximadamente 2,5% das propriedades apresentaram viabilidade negativa, especialmente as UCT com plantel inferior a 300 suínos e UPL com plantel inferior a 130 suínos.

De maneira geral, as propriedades apresentaram bons indicadores econômicos do ponto de vista do investimento pelo produtor, que variaram em função do plantel animal, com média de VPL em R\$ 89.065, TIR em 26% e relação TIR/TMA de 13,0. O tempo necessário para que o investimento fosse recuperado, considerando a taxa de juros de 2%, ficou entre 2 e 11 anos, com média de 4 anos.

A propriedade 42, com 1.930 suínos em UCT, ou seja, o maior plantel da bacia, apresentou os melhores indicadores econômicos, com receita anual de R\$ 38.247 e tempo de retorno do capital em 2 anos. Já a propriedade 117, com 109 suínos em sistema de UPL, ou seja, o menor plantel da bacia, apresentou os piores indicadores, com receita anual de R\$ 4.668 e tempo de retorno do capital em 13 anos.

A análise de viabilidade econômica para a implantação do gasoduto considerou uma taxa de aquisição do capital no mercado e atratividade mínima em 8,5%, visto que a taxa disponibilizada para o financiamento em projetos de tecnologia de energias renováveis do BNDES é disponibilizada somente para pessoas físicas com atividade na área rural. Os valores obtidos estão apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 – Indicadores econômicos da implantação do gasoduto

Investimento (gasoduto)	4.126.160	R\$
Custo (compra metano)	1.083.400	R\$/ano
Custo evitado (cavaco)	1.749.180	R\$/ano
Balanço	665.780	R\$/ano
IINDICADORES ECONÔMICOS		
VPL	242.255	R\$
TIR	9,8	%
TIR/TMA	1,15	adimensional
PD	9	anos

A implantação do gasoduto sob a responsabilidade do consumidor também apresentou viabilidade positiva pelos indicadores VPL e TIR, com balanço de R\$ 665.780 economizados anualmente com a substituição do cavaco como fonte convencional pelo metano. Além disso, o tempo necessário para o retorno do capital foi de 9 anos, permitindo um lucro significativamente maior após este período de pagamento do projeto, visto que o tempo médio de vida usual do material utilizado na implantação do gasoduto é de 30 anos.

4.4.2 Cenário B

No Cenário B, os investimentos tanto para a implantação dos biodigestores, quanto para a implantação do gasoduto são de responsabilidade do consumidor da energia, no caso a Sadia S.A. A hipótese testada neste cenário foi a melhoria nos indicadores econômicos em função do investimento nos biodigestores e a eliminação da necessidade de compra do metano, ficando para os produtores rurais, por um período mínimo de 10 anos, as receitas com o biofertilizante gerado.

A análise de viabilidade econômica deste cenário considerou a mesma taxa de aquisição do capital no mercado e atratividade mínima em 8,5%, tanto para os biodigestores quanto para o gasoduto, em função das características do investidor, e os valores obtidos estão apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores e gasoduto

Investimento (biodigestores)	6.337.570	R\$
Investimento (gasoduto)	4.126.160	R\$
Investimento Total	10.463730	R\$
Custo (compra metano)	0,00	R\$/ano
Custo evitado (cavaco)	1.749.180	R\$/ano
Balanço	1.749.180	R\$/ano
IINDICADORES ECONÔMICOS		
VPL	1.013.248	R\$
TIR	10,6	%
TIR/TMA	1,25	adimensional
PD	9	anos

A implantação do projeto sob esta ótica apresentou viabilidade positiva pelos indicadores VPL e TIR, com balanço de R\$ 1.749.180 economizados anualmente, neste caso, sem a necessidade de compra do metano, sendo que o tempo necessário para o retorno do capital também foi de 9 anos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que existem possibilidades viáveis para a utilização do metano gerado pelos dejetos suínos e a maneira como este material é gerenciado, considerando uma bacia hidrográfica em sua totalidade ou apenas parte dela como unidade de planejamento, influencia no volume total de gás metano produzido e, assim, na identificação de consumidores em potencial.

No Cenário A, aproximadamente 98% dos produtores rurais apresentaram indicadores econômicos atrativos, sendo possível concluir que quanto maior o plantel instalado melhor é a viabilidade, devido à redução unitária dos custos de implantação. O valor adotado para o pagamento por metro cúbico de metano aos produtores rurais com plantéis inferiores a 500 suínos, de forma a garantir a viabilidade de implantação, permitiu que produtores com plantéis acima de 1.000 suínos apresentassem indicadores significativos, com tempo de retorno do capital entre 2 a 3 anos. Contudo, a implantação do gasoduto pelo consumidor da energia apresentou um VPL de R\$ 242.255 e relação TIR/TMA de 1,15, indicando viabilidade econômica baixa, porém, positiva. Já no Cenário B, o custeamento da implantação dos biodigestores pelo consumidor da energia, transferindo para si os lucros unitários, apresentou melhor viabilidade econômica com VPL de R\$ 1.013.248 e relação TIR/TMA de 1,25. O tempo de retorno do capital investido foi de 9 anos para os dois cenários estudados, permitindo a obtenção de retorno monetário mesmo após o término do período de projeto, visto o tempo de vida útil do sistema.

Faz-se necessário considerar ainda que, em ambos os casos, os ganhos ambientais obtidos com o tratamento dos dejetos em relação às emissões de gases de efeito estufa evitadas e a redução das fontes pontuais de poluição das águas e do solo é de extrema importância para garantir a salubridade da microbacia. Além disso, a eliminação de custos com requisitos de área, equipamentos e operadores para o manuseio do cavaco, aliados à melhoria na imagem da empresa, devido, sobretudo, à substituição energética por fontes mais sustentáveis e geradas na própria bacia hidrográfica também devem ser levadas em consideração.

Recomenda-se, para estudos futuros, avaliar as demais possibilidades de utilização do metano como fonte de energia elétrica e veicular, podendo elevar significativamente os indicadores econômicos por substituir insumos de maior custo no mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE CARNE SUINA. **Produção Brasileira de Carne Suína**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/>> Acesso em: mai 2012.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993.

BATISTA, L. F. **Manual técnico construção e operação de biodigestores**. Brasília, 1981.

BENETTI, J. E.; FIORENTIN, M.; LAVARDA, C. E. F. **Diagnóstico da gestão ambiental à luz do Tratado de Kyoto: o caso da unidade produtora de leitões**. Revista de Contabilidade e Controladoria. Curitiba, v. 3, n. 1, jan. 2011.

BRAGA, B. et al. A energia e o meio ambiente. In: **Introdução à Engenharia Ambiental** Ed. Prentice Hall, São Paulo: 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMF: Belo Horizonte, 2007.

DEGANUTTI R., PALHACI M. C. J. P., ROSSI, M. et. al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Anais do 4^o Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, 2002.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Wiley-VCH: Weinheim, 2008.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre: Embrapa e Emater, 2002.

ELANGO, D. et al. **Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage**. Chennai, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Suínos e Aves: Sistema de Produção de Suínos**, Concórdia, v. 2, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fonteshtml/Suinos/SPSuinos/html>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. **Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração**. Rio de Janeiro: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004

FONSECA, F. S. T, et al. **Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas - MA: um estudo de caso**. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, Jul. 2009.

GERARDI, M. **The microbiology of anaerobic digesters**. New York: Wiley-Interscience, 2002.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**, São Paulo: Harbra, 2002.

HAANDEL, A. C. van; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande do Sul, 1994.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo.php?conteudo=860>> Acesso em: mar 2012.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Instrução Normativa IAP/DIRAM 105.006: **Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura**. Curitiba, 2009.

INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Suinocultura**. Fortaleza: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use.** Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

ITAIPU BINACIONAL. **Projeto condomínio de agroenergia para agricultura familiar.** Itaipu Binacional. Foz do Iguaçu, 2009.

JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** São Paulo: CETESB, 1975.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico,** São Paulo: Atlas, 1983.

LELLIS, M. M. **Fontes alternativas de energia elétrica no contexto da matriz energética brasileira: meio ambiente, mercado e aspectos jurídicos.** Itajubá, 2007. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá.

LONGO, E. S. **Estudo da Viabilidade Econômica na Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás Proveniente da Suinocultura na Comunidade da Linha Aparecidinha – Santa Helena/PR.** Foz do Iguaçu, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade União das Américas.

NEVES, V. L. V. **Construção de biodigestores para produção de biogás a partir de fermentação de esterco bovino.** Araçatuba, 2010. Trabalho de Graduação, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba.

PACHECO, J.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates,** São Paulo: CETESB, 2006.

PELCZAR, M.; REID, R.; CHAN, E. S. **Microbiologia: Conceitos e Aplicações.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

PIRES, N. J. R. M. **T.T.E: Final Project Biogas.** Disponível em: <<http://morango.esb.ucp.pt>>, acesso em: jan 2012.

RAPPORT, J et al. **Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste**. Departamento de Biologia e Engenharia Agrícola da Universidade da Califórnia: Sacramento, 2006.

RATHUNDE, P. H. **Viabilidade Econômica da Geração Distribuída do Biogás de Dejetos Animais no Município de Cruz Machado**. Curitiba, 2009. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário Franciscano.

SCHUCH, S.L. **Condomínio de Agroenergia: Potencial de Disseminação na Atividade Agropecuária**. Cascavel, 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2007.

SEIXAS, J. et al. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA, 1980. .

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Relatório Consolidado da Aplicação da Metodologia Sebrae de Redução de Desperdício e Metodologia Sebrae de Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/customizado/gestao-ambiental>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

SILVA, C. R. A. S. et al. **A biomassa como alternativa energética para o Brasil**. São Paulo: Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 2004.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**. Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996.

APÊNDICE A

Tabela 4 - Plantel de suínos em sistema de UCT

Prop.	Sistema de Criação	Plantel	Prop.	Sistema de Criação	Plantel
1	UCT	1.280	36	UCT	915
2	UCT	310	37	UCT	735
3	UCT	1.800	38	UCT	610
4	UCT	540	39	UCT	1.020
5	UCT	980	40	UCT	780
6	UCT	970	41	UCT	1.120
7	UCT	300	42	UCT	1.930
8	UCT	530	43	UCT	980
9	UCT	1.060	44	UCT	520
10	UCT	610	45	UCT	1.520
11	UCT	270	46	UCT	315
12	UCT	380	47	UCT	1.100
13	UCT	1.400	48	UCT	580
14	UCT	600	49	UCT	1.010
15	UCT	800	50	UCT	450
16	UCT	540	51	UCT	430
17	UCT	1.400	52	UCT	660
18	UCT	500	53	UCT	630
19	UCT	500	54	UCT	550
20	UCT	390	55	UCT	340
21	UCT	840	56	UCT	1.100
22	UCT	580	57	UCT	980
23	UCT	380	58	UCT	290
24	UCT	650	59	UCT	500
25	UCT	700	60	UCT	850
26	UCT	1.300	61	UCT	1.020
27	UCT	460	62	UCT	630
28	UCT	920	63	UCT	490
29	UCT	430	64	UCT	980
30	UCT	620	65	UCT	800
31	UCT	680	66	UCT	380
32	UCT	600	67	UCT	630
33	UCT	1.600	68	UCT	600
34	UCT	550	69	UCT	1.360
35	UCT	1.500	70	UCT	500

Tabela 4 - Plantel de suínos em sistema de UCT (continuação)

Prop.	Sistema de Criação	Plantel	Prop.	Sistema de Criação	Plantel
71	UCT	430	94	UCT	360
72	UCT	860	95	UCT	1.025
73	UCT	865	96	UCT	600
74	UCT	1.120	97	UCT	870
75	UCT	400	98	UCT	890
76	UCT	940	99	UCT	1.360
77	UCT	840	100	UCT	1.000
78	UCT	390	101	UCT	1.000
79	UCT	800	102	UCT	910
80	UCT	800	103	UCT	620
81	UCT	1.610	104	UCT	950
82	UCT	980	105	UCT	1.440
83	UCT	1.000	106	UCT	1.000
84	UCT	1.430	107	UCT	1.010
85	UCT	520	108	UCT	940
86	UCT	460	109	UCT	1.130
87	UCT	480	110	UCT	450
88	UCT	1.500	111	UCT	1.460
89	UCT	580	112	UCT	280
90	UCT	1.000	113	UCT	900
91	UCT	800	114	UCT	620
92	UCT	450	115	UCT	1.050
93	UCT	430	116	UCT	1.430

Tabela 5 - Plantel de suínos em sistema de UPL

Prop.	Sistema de Criação	Plantel	Prop.	Sistema de Criação	Plantel
117	UPL	109	120	UPL	136
118	UPL	211	121	UPL	187
119	UPL	231			

APÊNDICE B

Tabela 6 – Estimativa do potencial de geração de dejetos e metano

Prop.	Dejetos (m ³ /dia)	Biodigestor (m ³)	Metano (m ³ /dia)	Prop.	Dejetos (m ³ /dia)	Biodigestor (m ³)	Metano (m ³ /dia)
1	8,96	251	172,8	36	6,41	179	123,5
2	2,17	61	41,9	37	5,15	144	99,2
3	12,60	353	243,0	38	4,27	120	82,4
4	3,78	106	72,9	39	7,14	200	137,7
5	6,86	192	132,3	40	5,46	153	105,3
6	6,79	190	131,0	41	7,84	220	151,2
7	2,10	59	40,5	42	13,51	378	260,6
8	3,71	104	71,6	43	6,86	192	132,3
9	7,42	208	143,1	44	3,64	102	70,2
10	4,27	120	82,4	45	10,64	298	205,2
11	1,89	53	36,5	46	2,21	62	42,5
12	2,66	74	51,3	47	7,70	216	148,5
13	9,80	274	189,0	48	4,06	114	78,3
14	4,20	118	81,0	49	7,07	198	136,4
15	5,60	157	108,0	50	3,15	88	60,8
16	3,78	106	72,9	51	3,01	84	58,1
17	9,80	274	189,0	52	4,62	129	89,1
18	3,50	98	67,5	53	4,41	123	85,1
19	3,50	98	67,5	54	3,85	108	74,3
20	2,73	76	52,7	55	2,38	67	45,9
21	5,88	165	113,4	56	7,70	216	148,5
22	4,06	114	78,3	57	6,86	192	132,3
23	2,66	74	51,3	58	2,03	57	39,2
24	4,55	127	87,8	59	3,50	98	67,5
25	4,90	137	94,5	60	5,95	167	114,8
26	9,10	255	175,5	61	7,14	200	137,7
27	3,22	90	62,1	62	4,41	123	85,1
28	6,44	180	124,2	63	3,43	96	66,2
29	3,01	84	58,1	64	6,86	192	132,3
30	4,34	122	83,7	65	5,60	157	108,0
31	4,76	133	91,8	66	2,66	74	51,3
32	4,20	118	81,0	67	4,41	123	85,1
33	11,20	314	216,0	68	4,20	118	81,0
34	3,85	108	74,3	69	9,52	267	183,6
35	10,50	294	202,5	70	3,50	98	67,5

Tabela 6 – Estimativa do potencial de geração de dejetos e metano (continuação)

Prop.	Dejetos (m³/dia)	Biodigestor (m³)	Metano (m³/dia)	Prop.	Dejetos (m³/dia)	Biodigestor (m³)	Metano (m³/dia)
71	3,01	84	58,1	97	6,09	171	117,5
72	6,02	169	116,1	98	6,23	174	120,2
73	6,06	170	116,8	99	9,52	267	183,6
74	7,84	220	151,2	100	7,00	196	135,0
75	2,80	78	54,0	101	7,00	196	135,0
76	6,58	184	126,9	102	6,37	178	122,9
77	5,88	165	113,4	103	4,34	122	83,7
78	2,73	76	52,7	104	6,65	186	128,3
79	5,60	157	108,0	105	10,08	282	194,4
80	5,60	157	108,0	106	7,00	196	135,0
81	11,27	316	217,4	107	7,07	198	136,4
82	6,86	192	132,3	108	6,58	184	126,9
83	7,00	196	135,0	109	7,91	221	152,6
84	10,01	280	193,1	110	3,15	88	60,8
85	3,64	102	70,2	111	10,22	286	197,1
86	3,22	90	62,1	112	1,96	55	37,8
87	3,36	94	64,8	113	6,30	176	121,5
88	10,50	294	202,5	114	4,34	122	83,7
89	4,06	114	78,3	115	7,35	206	141,8
90	7,00	196	135,0	116	10,01	280	193,1
91	5,60	157	108,0	117	2,29	64	22,6
92	3,15	88	60,8	118	4,43	124	43,7
93	3,01	84	58,1	119	4,85	136	47,8
94	2,52	71	48,6	120	2,86	80	28,2
95	7,18	201	138,4	121	3,93	110	38,7
96	4,20	118	81,0				

APÊNDICE C

Tabela 7 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores

Prop.	Investimento (R\$)	Metano (R\$/ano)	Biofertilizante (R\$/ano)	Receita Total (R\$/ano)	VPL (R\$)	TIR (%)	TIR/ TMA	PD (anos)
1	51.370	14.507	10.859	25.366	176.482	48%	24,2	2
2	51.370	3.513	2.630	6.143	3.813	3%	1,7	9
3	60.070	20.400	15.271	35.671	260.346	59%	29,4	2
4	51.370	6.120	4.581	10.701	44.755	16%	8,1	5
5	51.370	11.107	8.314	19.421	123.079	36%	18,0	3
6	51.370	10.993	8.229	19.223	121.299	36%	17,8	3
7	51.370	3.400	2.545	5.945	2.033	3%	1,4	10
8	51.370	6.007	4.496	10.503	42.975	16%	7,8	5
9	51.370	12.013	8.993	21.006	137.320	39%	19,7	3
10	51.370	6.913	5.175	12.088	57.216	20%	9,8	4
11	51.370	3.060	2.291	5.351	-3.308	1%	0,4	11
12	51.370	4.307	3.224	7.531	16.273	8%	3,8	7
13	60.070	15.867	11.877	27.744	189.143	45%	22,5	2
14	51.370	6.800	5.090	11.890	55.435	19%	9,6	5
15	51.370	9.067	6.787	15.854	91.037	28%	14,2	3
16	51.370	6.120	4.581	10.701	44.755	16%	8,1	5
17	60.070	15.867	11.877	27.744	189.143	45%	22,5	2
18	51.370	5.667	4.242	9.909	37.635	14%	7,1	6
19	51.370	5.667	4.242	9.909	37.635	14%	7,1	6
20	51.370	4.420	3.309	7.729	18.054	8%	4,1	7
21	51.370	9.520	7.126	16.646	98.158	30%	15,0	3
22	51.370	6.573	4.921	11.494	51.875	18%	9,1	5
23	51.370	4.307	3.224	7.531	16.273	8%	3,8	7
24	51.370	7.367	5.515	12.881	64.336	21%	10,7	4
25	51.370	7.933	5.939	13.872	73.236	24%	11,9	4
26	51.370	14.733	11.029	25.762	180.042	49%	24,6	2
27	51.370	5.213	3.903	9.116	30.514	12%	6,0	6
28	51.370	10.427	7.805	18.232	112.398	34%	16,8	3
29	51.370	4.873	3.648	8.521	25.174	10%	5,2	6
30	51.370	7.027	5.260	12.287	58.996	20%	10,0	4
31	51.370	7.707	5.769	13.476	69.676	23%	11,4	4
32	51.370	6.800	5.090	11.890	55.435	19%	9,6	5
33	60.070	18.133	13.574	31.707	224.744	52%	26,0	2
34	51.370	6.233	4.666	10.899	46.535	17%	8,3	5

Tabela 7 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores (continuação)

Prop.	Investi mento (R\$)	Metano (R\$/ano)	Bioferti lizante (R\$/ano)	Receita Total (R\$/ano)	VPL (R\$)	TIR (%)	TIR/ TMA	PD (anos)
35	60.070	17.000	12.726	29.726	206.944	49%	24,3	2
36	51.370	10.370	7.763	18.133	111.508	33%	16,7	3
37	51.370	8.330	6.236	14.566	79.467	25%	12,7	4
38	51.370	6.913	5.175	12.088	57.216	20%	9,8	4
39	51.370	11.560	8.654	20.213	130.199	38%	18,9	3
40	51.370	8.840	6.617	15.457	87.477	27%	13,7	3
41	51.370	12.693	9.502	22.195	148.000	42%	21,0	2
42	60.070	21.873	16.374	38.247	283.487	63%	31,6	2
43	51.370	11.107	8.314	19.421	123.079	36%	18,0	3
44	51.370	5.893	4.412	10.305	41.195	15%	7,6	5
45	60.070	17.227	12.895	30.122	210.504	49%	24,6	2
46	51.370	3.570	2.672	6.242	4.703	4%	1,9	9
47	51.370	12.467	9.332	21.799	144.440	41%	20,5	2
48	51.370	6.573	4.921	11.494	51.875	18%	9,1	5
49	51.370	11.447	8.569	20.015	128.419	37%	18,7	3
50	51.370	5.100	3.818	8.918	28.734	12%	5,8	6
51	51.370	4.873	3.648	8.521	25.174	10%	5,2	6
52	51.370	7.480	5.599	13.079	66.116	22%	11,0	4
53	51.370	7.140	5.345	12.485	60.776	21%	10,3	4
54	51.370	6.233	4.666	10.899	46.535	17%	8,3	5
55	51.370	3.853	2.885	6.738	9.153	5%	2,6	8
56	51.370	12.467	9.332	21.799	144.440	41%	20,5	2
57	51.370	11.107	8.314	19.421	123.079	36%	18,0	3
58	51.370	3.287	2.460	5.747	253	2%	1,0	10
59	51.370	5.667	4.242	9.909	37.635	14%	7,1	6
60	51.370	9.633	7.211	16.845	99.938	31%	15,3	3
61	51.370	11.560	8.654	20.213	130.199	38%	18,9	3
62	51.370	7.140	5.345	12.485	60.776	21%	10,3	4
63	51.370	5.553	4.157	9.710	35.854	14%	6,8	6
64	51.370	11.107	8.314	19.421	123.079	36%	18,0	3
65	51.370	9.067	6.787	15.854	91.037	28%	14,2	3
66	51.370	4.307	3.224	7.531	16.273	8%	3,8	7
67	51.370	7.140	5.345	12.485	60.776	21%	10,3	4
68	51.370	6.800	5.090	11.890	55.435	19%	9,6	5
69	60.070	15.413	11.538	26.951	182.022	44%	21,8	2
70	51.370	5.667	4.242	9.909	37.635	14%	7,1	6

Tabela 7 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores (continuação)

Prop.	Investi mento (R\$)	Metano (R\$/ano)	Bioferti lizante (R\$/ano)	Receita Total (R\$/ano)	VPL (R\$)	TIR (%)	TIR/ TMA	PD (anos)
71	51.370	4.873	3.648	8.521	25.174	10%	5,2	6
72	51.370	9.747	7.296	17.043	101.718	31%	15,5	3
73	51.370	9.803	7.339	17.142	102.608	31%	15,6	3
74	51.370	12.693	9.502	22.195	148.000	42%	21,0	2
75	51.370	4.533	3.394	7.927	19.834	9%	4,4	7
76	51.370	10.653	7.975	18.628	115.958	34%	17,2	3
77	51.370	9.520	7.126	16.646	98.158	30%	15,0	3
78	51.370	4.420	3.309	7.729	18.054	8%	4,1	7
79	51.370	9.067	6.787	15.854	91.037	28%	14,2	3
80	51.370	9.067	6.787	15.854	91.037	28%	14,2	3
81	60.070	18.247	13.659	31.906	226.525	52%	26,2	2
82	51.370	11.107	8.314	19.421	123.079	36%	18,0	3
83	51.370	11.333	8.484	19.817	126.639	37%	18,5	3
84	60.070	16.207	12.132	28.338	194.483	46%	23,1	2
85	51.370	5.893	4.412	10.305	41.195	15%	7,6	5
86	51.370	5.213	3.903	9.116	30.514	12%	6,0	6
87	51.370	5.440	4.072	9.512	34.074	13%	6,6	6
88	60.070	17.000	12.726	29.726	206.944	49%	24,3	2
89	51.370	6.573	4.921	11.494	51.875	18%	9,1	5
90	51.370	11.333	8.484	19.817	126.639	37%	18,5	3
91	51.370	9.067	6.787	15.854	91.037	28%	14,2	3
92	51.370	5.100	3.818	8.918	28.734	12%	5,8	6
93	51.370	4.873	3.648	8.521	25.174	10%	5,2	6
94	51.370	4.080	3.054	7.134	12.713	6%	3,2	8
95	51.370	11.617	8.696	20.313	131.089	38%	19,0	3
96	51.370	6.800	5.090	11.890	55.435	19%	9,6	5
97	51.370	9.860	7.381	17.241	103.498	31%	15,7	3
98	51.370	10.087	7.551	17.637	107.058	32%	16,1	3
99	51.370	15.413	11.538	26.951	190.722	52%	25,8	2
100	51.370	11.333	8.484	19.817	126.639	37%	18,5	3
101	51.370	11.333	8.484	19.817	126.639	37%	18,5	3
102	51.370	10.313	7.720	18.034	110.618	33%	16,5	3
103	51.370	7.027	5.260	12.287	58.996	20%	10,0	4
104	51.370	10.767	8.060	18.826	117.739	35%	17,4	3
105	60.070	16.320	12.217	28.537	196.263	46%	23,2	2
106	51.370	11.333	8.484	19.817	126.639	37%	18,5	3

Tabela 7 – Indicadores econômicos da implantação dos biodigestores (continuação)

Prop.	Investi mento (R\$)	Metano (R\$/ano)	Bioferti lizante (R\$/ano)	Receita Total (R\$/ano)	VPL (R\$)	TIR (%)	TIR/ TMA	PD (anos)
107	51.370	11.447	8.569	20.015	128.419	37%	18,7	3
108	51.370	10.653	7.975	18.628	115.958	34%	17,2	3
109	51.370	12.807	9.587	22.393	149.780	42%	21,2	2
110	51.370	5.100	3.818	8.918	28.734	12%	5,8	6
111	60.070	16.547	12.386	28.933	199.823	47%	23,6	2
112	51.370	3.173	2.375	5.549	-1.527	1%	0,7	10
113	51.370	10.200	7.635	17.835	108.838	33%	16,3	3
114	51.370	7.027	5.260	12.287	58.996	20%	10,0	4
115	51.370	11.900	8.908	20.808	135.539	39%	19,5	3
116	60.070	16.207	12.132	28.338	194.483	46%	23,1	2
117	51.370	1.894	2.774	4.668	-9.436	-2%	-0,9	13
118	51.370	3.667	5.370	9.037	29.805	12%	5,9	6
119	51.370	4.014	5.879	9.894	37.500	14%	7,1	6
120	51.370	2.363	3.461	5.825	952	2%	1,2	10
121	51.370	3.250	4.759	8.009	20.572	9%	4,5	7