

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CAMPO MOURÃO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIANA GATO STACHISSINI

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
BIODIGESTOR EM UMA PROPRIEDADE RURAL EM MAMBORÊ-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2014

MARIANA GATO STACHISSINI

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
BIODIGESTOR EM UMA PROPRIEDADE RURAL EM MAMBORÊ- PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Ambiental – COEAM, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

CAMPO MOURÃO
2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Ambiental - COEAM
Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA BIODIGESTOR EM
UMA PROPRIEDADE RURAL EM MAMBORÊ-PR**

por

MARIANA GATO STACHISSINI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

MARIA CRISTINA RODRIGUES HALMEMAN

MORGANA SUSZEK GONÇALVES

THIAGO MORAIS DE CASTRO

“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado, em todas minhas decisões, angustias, preocupações e acima de tudo em minhas conquistas, “Com certeza, o Senhor está comigo” (Sl 55,10).

O que dizer de vocês pai (Humberto), mãe (Soleni) e irmão (Eduardo)?

Obrigada por todo amor, paciência, dedicação, ensinamentos e principalmente pela confiança que me conferiram durante esse tempo de faculdade, valeu a pena todo sofrimento, todas renúncias, hoje estamos colhendo juntos os frutos da vitória.

Ao meu namorado José Camilo o agradecimento especial pelo apoio em minhas escolhas e por estar sempre ao meu lado pronto para me ouvir e aconselhar, confiando em nosso amor mesmo distante.

Nenhum caminho é longo demais quando temos amigos que nos acompanha, por isso, quero agradecer as grandes amigas que fizeram parte dessa caminhada e que serão levadas em meu coração como irmãs: Bruna, Camila, Caroline, Halana, Maiara, Thainara, Thaís e Sara, obrigada pelas conversas, sorrisos, conselhos, apoios nas horas de lágrimas, que fez dessa nossa amizade uma cumplicidade de “Luzias”, e que nossa amizade se mantenha mesmo no decorrer do tempo. Ao amigo Murilo por ter insistido pela mudança de curso e por todo companheirismo e apoio.

Agradeço também aos amigos de sala pelo companheirismo tornando o convívio diário uma amizade.

Obrigada à orientadora Profa. Dra. Maria Cristina Halmeman pela dedicação e confiança em mim depositada para conduzir esta pesquisa.

Agradeço à Mailson Kloster, pela oportunidade concedida para o desenvolvimento do trabalho em sua propriedade, estando sempre disposta à ajudar.

A todos os docentes da coordenação de Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos, troca de experiências, motivação e dedicação, que tornou possível a realização dos ideais que antes era sonho.

RESUMO

STACHISSINI, Mariana G. **Estudo sobre a implantação de um sistema biodigestor em uma propriedade rural no município de Mamborê – PR**, 2014, 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

A suinocultura é um importante agronegócio na economia nacional e internacional de carnes, gerando dejetos sólidos e líquidos como subprodutos que, quando depositados inadequadamente, tornam-se passivos ambientais. Nesse contexto, o manejo da biomassa residual gerada no sistema produtivo de suínos, aliada aos sistemas biodigestores é uma alternativa para o tratamento dos efluentes da suinocultura. Desse modo, o objetivo do trabalho foi levantar dados para implantar um sistema biodigestor em uma propriedade rural em Mamborê, PR, com um plantel de 330 matrizes em sistema de ciclo completo. Verificou-se o consumo de água e a produção de dejetos, a produção de biogás, energia elétrica e biofertilizante. Pelo sistema de criação foi obtido o valor de 30301,49 kg.dia⁻¹ de dejetos e urina, e os gastos com limpeza e desperdícios pelos bebedouros de água foi de 15,673 m³, sendo estes o total de efluente da propriedade. A partir do volume diário de dejetos foi possível estimar a quantidade de biogás, considerando dois tempos de detenção hidráulica (TDH), 22 dias e 30 dias, com a variação de temperatura da biomassa de 20°C, 25°C e 30°C, obtendo um maior valor em TDH de 22 dias à 30°C. A estimativa da energia elétrica produzida foi de 105.553,95 kWh.ano⁻¹ com TDH de 22 dias e temperatura de 20°C. O biofertilizante a ser produzido nas condições do biodigestor foi de 27500 kg. Conclui-se que a implantação do sistema do biodigestor seria uma alternativa para o produtor, pois a energia elétrica produzida com o biogás atende as necessidades da propriedade e os excedentes de energia poderiam ser comercializados e como a propriedade possui área agrícola, o uso do biofertilizante melhoraria a produtividade dos cultivos, tornando-se uma alternativa econômica e ambiental.

Palavras-chave: suinocultura. biogás. energia elétrica. biofertilizante

ABSTRACT

STACHISSINI, Mariana G. **Estudo sobre a implantação de um sistema biodigestor em uma propriedade rural no município de Mamborê – PR**, 2014, 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

The swine is an important agribusiness in the national and international economy meats, promoting solid and liquid waste byproducts that some when deposited inappropriately, become environmental liabilities. In this context, the management of residual biomass generated in the production system of pigs, coupled with the biodigester system is an alternative for the treatment of swine wastewater. Thus, the objective was to collect data to deploy a digester system at a rural property in Mamborê, PR, with a squad of 330 mothers in full- cycle system. It was verified the water consumption, waste production, biogás production, electricity and fertilizer . By the rearing system was obtained value $30301,40 \text{ kg}\cdot\text{day}^{-1}$ of manure and urine, and cleaning costs and waste of fountain water was $15,673 \text{ m}^3\cdot\text{day}^{-1}$, these being the total effluent from the property. From the daily volume of waste was possible to estimate the amount of biogas, considering two hydraulic detention time (TDH), 22 days and 30 days, with the temperature range of biomass 20°C , 25°C and 30°C , resulting in a higher value TDH 22 days at 30°C . The estimated electricity produced was $105,553.95 \text{ kWh}\cdot\text{year}^{-1}$ with TDH of 22 days and a temperature of 20°C . The bio-fertilizer to be produced under the conditions of the digester was 27500 kg. It is concluded that the implementation of the digester system would be an alternative to the producer because the electricity produced with biogas meets the needs of the property and the surplus energy could be marketed and how the property has agricultural area, improve the use of biofertilizers crop productivity, tornanso it an economical and environmental alternative.

Keywords: swine. time. biogas. electricity. biofertilizante

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de biogás.....	16
Tabela 2 – Comparação entre biogás e outros combustíveis.....	17
Tabela 3 – Composição do biofertilizante.....	21
Tabela 4 – Estimativa dos dejetos suínos.....	26
Tabela 5 – Volume de água utilizado para higiene e desperdícios em bebedouros.....	26
Tabela 6 – Produção de dejetos e urina.....	29
Tabela 7 – Taxa de crescimento, produção de metano e produção de biogás.....	31
Tabela 8 – Estimativa da produção de energia elétrica na propriedade.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 BIOMASSA COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA.....	10
3.2 BIOMASSA AGROPECUÁRIA: SUINOCULTURA.....	11
3.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	15
3.4 SISTEMAS DE OBTENÇÃO DO BIOGÁS	16
3.5 BIOFERTILIZANTE	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	23
4.2 PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 VERIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DEJETOS	29
5.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA..	30
5.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE	33
6 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O Brasil vem se destacando no mercado mundial de suinocultura, a busca por tecnologias e melhorias na produção tem sido fundamental nesse crescimento, aliado as responsabilidades na minimização dos impactos ambientais que acompanham à atividade.

Segundo Almeida (2008), o sistema de biodigestores é uma alternativa para os dejetos suínos, gerando uma fonte de energia renovável e sustentável, além de ser uma solução para os problemas ambientais dos dejetos. Para Souza et al. (2005), a partir do armazenamento dos dejetos suínos nos biodigestores anaeróbios é capturado o biogás, composto principalmente pelos gases: metano, dióxido de enxofre, gás amônia, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio. Estes têm sido utilizados como fontes de energia, substituindo em alguns casos o gás natural.

O lançamento de dejetos sem tratamento em corpos hídricos era uma realidade antes da criação da Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, que discorre sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, conhecida como Lei de Crimes Ambientais. A partir desta Lei, a suinocultura torna-se inviável sem que haja um manejo adequado dos dejetos (FONSECA et al., 2009), criando uma nova postura dos produtores diante dos impactos causados por essa atividade. Sendo assim há a necessidade de investir e buscar novas tecnologias como os biodigestores, para o tratamento dos dejetos de suinocultura.

Segundo Diesel et al. (2002), uma granja com aproximadamente 600 animais possui um poder poluente de cerca de 2100 pessoas, sendo que os diagnósticos apontam altos níveis de contaminação dos rios e lençóis freáticos tanto no meio rural como no urbano.

Deste modo através de caracterização de dados em uma propriedade rural no município de Mamborê, PR, foi estudada a viabilidade de implantação de um sistema biodigestor para a produção de biogás, visando sua utilização para geração elétrica e como alternativa ao tratamento do efluente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Levantamento de dados para estimativa de implantação de um sistema biodigestor para produção de biogás em uma propriedade rural em Mamborê, PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quantificar os dejetos produzidos na propriedade rural;

Estimar o potencial de biogás que poderá ser produzido a partir da quantidade de dejetos da propriedade rural;

Estimar a quantidade de energia elétrica produzida a partir do biogás obtido na propriedade rural;

Estimar o total de biofertilizantes proveniente da bioestabilização dos dejetos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMASSA COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA

A biomassa pode ser considerada como todos os materiais que têm a propriedade de se decomporem por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes bactérias (SGANZERLA, 1983).

No Brasil o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2013), subdivide as biomassas de acordo com sua fonte em: vegetais não lenhosos, vegetais lenhosos e resíduos orgânicos, pois considera que cada biomassa diferencia-se pela sua característica ou origem. A biomassa de dejetos suínos em estudo é classificada como resíduo agropecuário um subitem da fonte de biomassa dos resíduos orgânicos, que ao passar pelo processo de biodigestão (biodigestores), tem como fim energético o biogás. Os resíduos agropecuários são classificados como os materiais que resultam da produção agrícola e pecuária, os quais não tem utilidade, ou o agricultor quer se desfazer.

Na matriz energética brasileira, a biomassa, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013) representa 8,43% da geração elétrica, com os empreendimentos que utilizam o bagaço de cana-de-açúcar, licor negro, madeira, biogás e casca de arroz.

A oferta total de energia primária mundial em 2011 foi de 31,5% de óleo, 28,8% de carvão, 21,3% de gás natural, 10,0% de biocombustível e resíduos, 5,1% de nuclear e 1% de outras fontes, hoje 14% da energia consumida no mundo é proveniente de fontes alternativas sendo 11,4% de biomassa, e dentro de aproximadamente 20 anos cerca de 30% de toda energia consumida no mundo será proveniente da fonte alternativa, a utilização de biomassa para geração e cogeração está em expansão na Europa, principalmente na Áustria, Alemanha, o Reino Unido, Dinamarca, Finlândia e Suécia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Segundo a Revista Brasileira de Bioenergia (2012), o Brasil não possui dados sobre o volume de resíduos rurais. Em termos de dejetos de animais, estima-se que apenas os rebanhos confinados de bovinos, aves e suínos produzam mais de 400

milhões de toneladas por ano. Entre estrume e urina, esta biomassa tem um grande potencial energético e grande quantidade de gás metano.

Apesar de ser apontada como uma das atividades rurais mais poluidoras e com elevado passivo ambiental, a suinocultura apresenta uma oportunidade que poucos criadores conhecem que é a geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da digestão anaeróbica, e a produção de biofertilizantes (PASQUAL, 2013).

Para Coldebella (2006), a produção de energia elétrica a partir da biomassa é muito defendida pelos países em desenvolvimento, considerando que os dejetos são os principais causadores de problemas ambientais no agronegócio, estes estão sendo aproveitados como alternativa para geração de energia.

Dentro do contexto energético e ambiental mundial os biodigestores se apresentam como uma ferramenta fundamental, pois pode ser uma fonte alternativa de energia bem como solução para os passivos ambientais da atividade, como por exemplo, a suinocultura.

3.2 BIOMASSA AGROPECUÁRIA: SUINOCULTURA

Na moderna suinocultura, embora ainda existam sistemas onde algumas fases de criação são feitas ao ar livre, a absoluta maioria das criações ocorre em sistemas confinados (TRICHES, 2003).

Conhecer o processo de criação de suínos é tão importante quanto o manejo adequado, a Figura 1 a seguir contempla o conjunto de componentes dentro de uma criação de suínos.

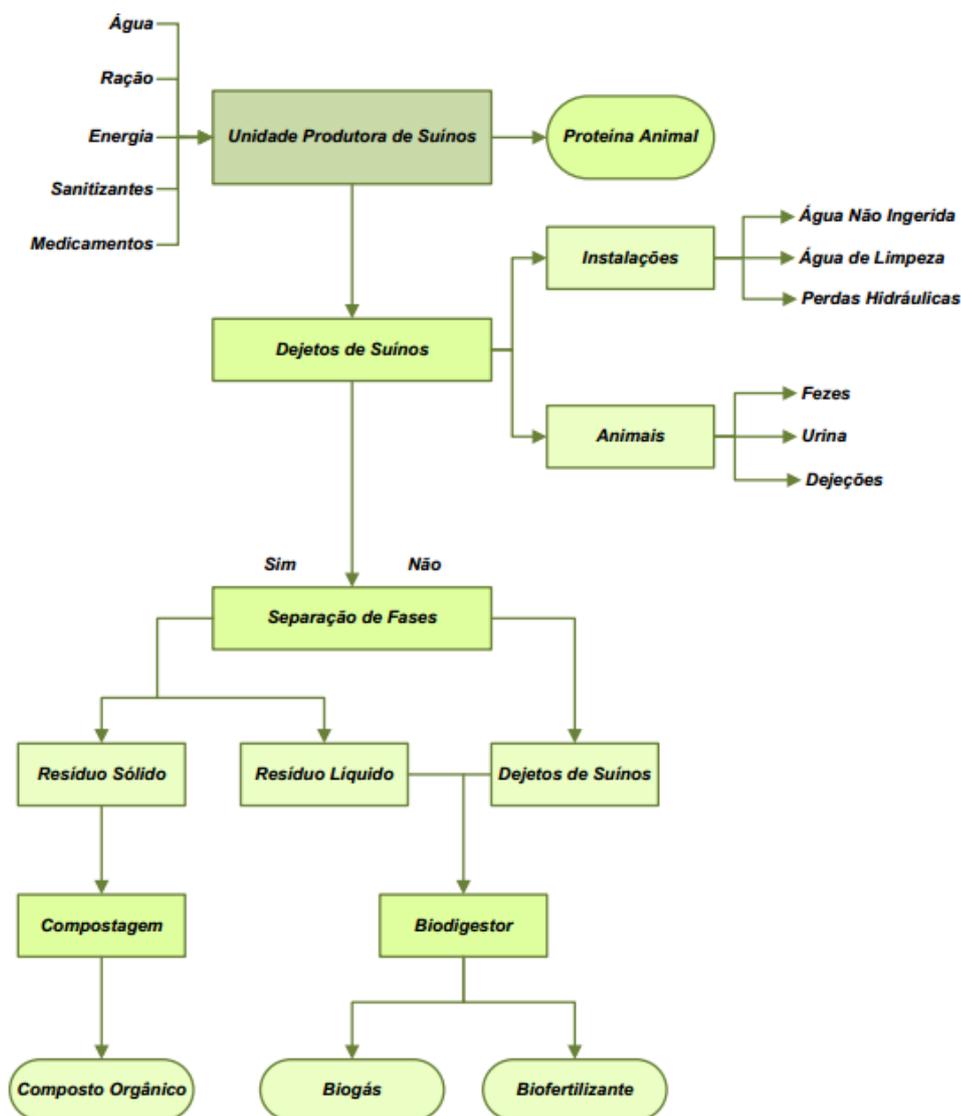


Figura 1 - Componentes do sistema de criação de suínos.
 Fonte: Fernandes (2012).

De acordo com Triches (2003), a criação de suínos é dividida em quatro fases: gestação, maternidade, creche e terminação, descrito como:

- Gestação: a média de gestação dos suínos é de 114 dias, esta fase abriga as matrizes em retorno de cio, que são as porcas que foram desmamadas e está aguardando a cobertura para nova gestação, período de 5-10 dias. Para Fernandes (2012), a gestação pode ser subdividida em duas fases: a embrionária que varia de 17 a 24 dias após a fecundação e a fase fetal.

- Maternidade: período em que as matrizes ficam, de uma semana antes do parto até o desmame dos leitões, que geralmente ocorre entre os 21 a 28 dias de idade. Os leitões saem para creche com média de 6 kg.

- Creche: os leitões são transferidos para creche logo após o desmame, e são separados em lotes homogêneos pelo tamanho. A fase que compreende o desmame até atingirem o peso de 25-30 kg, varia de 60-70 dias.

- Terminação: fase de saída da creche até o abate, quando os suínos estão pesando de 100-110 kg, com idade em torno de 150 e 160 dias.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2010) desde os primórdios da civilização o Brasil consome e produz carne suína. No início foi principalmente no estado de Minas Gerais nas regiões de garimpo, mas a carne suína se consolidou mesmo no final do século XIX e início do XX, com a imigração europeia, vindos principalmente da Alemanha e Itália para região Sul, trazendo seus hábitos alimentares de consumo de carne suína, que continuam até os dias atuais fazendo parte da alimentação dos brasileiros.

O número de suinocultores cresce a cada dia no país, sustentando o mercado interno e externo. Com isso os produtores buscam por melhoras na qualidade de produção e conseqüentemente se preocupam com o aumento da geração dos resíduos suínos. Para Gaspar (2003), os principais problemas causados pela suinocultura ao meio ambiente são dois, a poluição do solo e a contaminação dos corpos d'água, essa poluição se deve à composição físico-química dos dejetos, ricos em determinados elementos químicos como o fósforo (P), que em excesso provocam a eutrofização do ambiente.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (2013), no ano de 2011 o Brasil ocupava a quarta posição no ranking mundial de produção suína, com 3.227 mil toneladas (em equivalente- carcaça), esse valor mostra a quantidade de efluente que o sistema de produção gera que pode ser utilizado como fonte de energia, ao invés do país investir em recursos hídricos para obtenção de energia, o qual tem um alto custo para construção de hidroelétricas, e deixa de lado algumas interessantes fontes energéticas.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), o rebanho suíno brasileiro no ano de 1970 era de 31.524 milhões de suínos e no ano de 2006 esse rebanho subiu para 31.949 milhões, sendo subdivididas nas regiões: Norte (1,6 milhões de cabeças), Nordeste (3,9 milhões de cabeças), Centro-Oeste (3,7 milhões de cabeças), Sudeste (5,2 milhões de cabeças) e Sul (16,8 milhões de cabeças). Os valores ressaltam a importância que a região Sul tem sobre a suinocultura.

Dentro desse contexto regional de criação de suínos o estado do Paraná tem uma contribuição relevante para esses valores, que de acordo com a Secretária da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (2013), o estado no ano de 2011 representou 13,9% do total nacional de rebanhos suínos, ficando em terceiro lugar perdendo somente para Santa Catarina (20,3%) e para o Rio Grande do Sul (14,4%).

De acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2011), o município de Mamborê possuía em 2011 um efetivo de 46.100 cabeças de suínos. Esses números destacam o grande potencial brasileiro e do estado do Paraná dentro do mercado da suinocultura e sua importância no contexto socioeconômico da atividade, pois gera renda e empregos, mas também alerta para a necessidade de um manejo adequado na produção e nos resíduos gerados, pois os efluentes produzidos pela suinocultura possuem uma alta carga de contaminação ao meio ambiente se não forem tratados corretamente.

O estado do Paraná possui 6 usinas em operação tendo como combustível o biogás, porém dessas, somente três a partir de biomassa de dejetos suínos. A Granja Colombari corresponde a duas dessas, instalada no município de São Miguel do Iguçu possui um registro (REG) de 80kW de potência compartilhada, e um o registro de mini micro geradores (REG – RN482) , também de 80kW de potência compartilhada sendo totalmente utilizada por José Carlos Colombari. A terceira é a usina Ajuricaba, uma cooperativa que integra os produtores rurais, de suínos e bovinos, do município de Marechal Candido Rondon, sendo registrada (REG) com potência compartilhada de 80kW, sendo totalmente utilizada pela prefeitura municipal (ANEEL, 2013).

No Brasil o Decreto Federal nº 5.163/04 regulamenta a comercialização de energia elétrica. O processo de outorga e concessões de autorizações de geração de energia elétrica, em seu Art. 1º através do inciso 1º, indica a ANEEL como expedidor dos seguintes atos: I - a convenção de comercialização; II - as regras de comercialização; e III - os procedimentos de comercialização. Para o estado do Paraná a ANEEL através da Resolução Autorizativa nº1.482 de 20 de julho de 2008, autorizou a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) a implantar o projeto piloto de geração distribuída com saneamento ambiental, que prevê a compra de energia produzida em pequenas propriedades rurais, a partir do biogás de dejetos de animais.

3.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Os estudos sobre a geração de biogás através da decomposição da matéria orgânica são muito antigos. De acordo com a Companhia de Abastecimento do Estado de São Paulo (2009), Thomas Shirley em 1667 foi o primeiro a descobrir o biogás, porém somente tempos mais tarde é que foi apresentado à sociedade por Ulysse Gayson, aluno de Louis Pasteur, que realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35°C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria.

Para Sganzerla (1983), a cidade de Bombaim na Índia, pode ser considerada o “berço do biodigestor”, sendo o primeiro biodigestor instalado. E em 1950, Patel instalou ainda na Índia o primeiro biodigestor de sistema contínuo. Nogueira (1986) ressalta que os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão, de maneira intensa e com finalidades energéticas foram à Índia e a China nas décadas de 50 e 60.

Dentro desse histórico de desenvolvimento hoje a China e a Índia dominam as melhores tecnologias de biodigestores, Coldebella (2006) ressalta que esses dois países tem diferentes visões de utilização, os Chineses buscam o fertilizante indispensável para produção dos alimentos necessários para seu excedente populacional e a Índia busca suprir o seu déficit energético.

A União Europeia aposta na produção de biogás como forma promissora de satisfazer as políticas energéticas, que aponta para 20% de energia renovável até 2020. Na Alemanha o crescimento de 4,5% da energia renovável foi o maior da Europa. Nos EUA o programa AgStar, um programa da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), tem sido bem sucedido em estimular a implantação do sistema de digestão anaeróbia, principalmente nos estados da Califórnia, Pensilvânia, Wisconsin e Nova York (WORLD GAS CONFERENCE, 2012).

A produção de biogás em 2009 na Europa foi de 8,3 milhões de toneladas, sendo convertidas em energia elétrica 25,2 TWh (Terra Watt por hora), a partir de biogás (WORLD GAS CONFERENCE, 2012).

No Brasil, a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), instalou em novembro de 1980 o primeiro biodigestor modelo Chinês, na granja suína do Torto, em Brasília–DF. Esta experiência pioneira veio demonstrar que é possível instalar uma unidade produtora de biogás e biofertilizante de baixo custo (SGANZERLA, 1983).

3.4 SISTEMAS DE OBTENÇÃO DO BIOGÁS

O biogás segundo Coldebella (2006) é um combustível gasoso que apresenta conteúdo energético semelhante ao gás natural, sendo composto basicamente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

A produção de biogás de acordo com Santos (2000) ocorre desde que haja boas condições para o desenvolvimento e fermentação a partir das bactérias anaeróbias, e para cada fonte de matéria orgânica se obtém um valor de biogás. A Tabela 1 apresenta a produção de biogás a partir dos resíduos da suinocultura.

Tabela 1 - Produção de Biogás.

Espécie Pecuária	Unidade Referência	Produção Específica de biogás (m ³ /kg/SV ¹)	Produção Diária (m ³ /animal/dia)
Suínos	Porca reprodutora em ciclo fechado	0,454	0,866
	Porca reprodutora em criação de leitões	0,454	0,933
	Porco em exploração de engorda	0,454	0,799

SV¹: sólidos voláteis – chorume diluído em água de lavagem
 Fonte: Santos(2000)

De acordo com Nishimura (2009), os sólidos voláteis (SV) são os substratos de ação das bactérias metanogênicas, responsáveis pela produção de biogás, por isso quanto maior for à concentração de sólidos voláteis, maior será à produção de

biogás no biodigestor. Os SVs representam entre 70 a 75% dos sólidos totais para efluente suíno.

Para Santos (2000), 1 m³ de biogás equivale a 6,5 kWh, partindo desse princípio Coldebella (2006) calcula a eficiência da transformação de biogás em energia como sendo a razão dada pela Equação (1):

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{energia produzida (kWh.m}^{3-1}\text{)}}{6,5 \text{ (kWh.m}^{3-1}\text{)}} \times 100 \quad (1)$$

Para Oliveira e Higarashi (2006), um biodigestor funcionando de maneira adequada pode produzir biogás com eficiência variando entre 0,35 e 0,60 m³ por m³ de biomassa.

Brites e Gaferia (2007) destacam o poder calorífico do biogás sendo de 5000 a 6000 Kcal/m³, e devido essa composição, apresenta um potencial energético que permite diversas aplicações. Para Fernandes (2012), as principais aplicações do biogás são as utilizações como: gás para fogões, iluminação, geradores a gás, ou serem convertidos em energia elétrica, e ser utilizados na propriedade.

Devido a este potencial calorífico, torna-se interessante comparar a capacidade calorífica do biogás com outras fontes energéticas encontradas na natureza como exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre biogás e outros combustíveis.

Combustíveis	Equivalência ao Biogás (1 m³)
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 desidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: Barrera (1993).

A produção de biogás varia para cada tipo de biomassa: dejetos bovinos produzem $270 \text{ m}^3 \cdot \text{tonelada}^{-1}$; dejetos suínos $530 \text{ m}^3 \cdot \text{tonelada}^{-1}$ e dejetos de aves $285 \text{ m}^3 \cdot \text{tonelada}^{-1}$ (SGANZERLA, 1983).

Para se obter o biogás usado como fim energético, segundo Brites e Gaferia (2007) é necessário que haja uma digestão anaeróbia, processo que envolve a degradação biológica da matéria orgânica, em condições de ausência de oxigênio. É neste contexto que entram os biodigestores, que de acordo com Sganzerla (1983), são sistemas que irão proporcionar as condições ideais para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a matéria orgânica e tenha-se como subproduto o biogás e o biofertilizante.

De acordo com Seixas, Folle e Marchetti (1980), a decomposição anaeróbica se desenvolve no decorrer de três fases:

1-) Período de hidrólise: liberação de enzimas extracelulares, pelas bactérias, que causam hidrólise das partículas orgânicas;

2-) Período de acetogênese: nesta fase as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras entre outros;

3-) Período de metanogênese: as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em metanol.

Há dois tipos de processos de digestão anaeróbia de acordo com Brites e Gaferia (2007):

- mesofílica: onde o digestor tem uma temperatura entre 30 a 35°C e os resíduos permanecem no digestor durante 15 a 30 dias, onde essa digestão tende a ser mais robusta que a termofílica e tem uma produção menor de gás;

- termofílica, onde o digestor tem uma temperatura de 55°C durante 14 e 15 dias, com maior produção de metano, maior rendimento, porém necessitando de um investimento maior em equipamentos;

Devido à produção de biogás ser por bactérias alguns fatores devem ser considerados, como: impermeabilidade do ar; temperatura; pH; teor de água; nutrientes; tempo de detenção hidráulica; para que as mesmas tenham condições de sobrevivência em um biodigestor. O Quadro 1 destaca esses fatores e suas principais características.

Condições	Características
Impermeabilidade ao ar	O biodigestor deve ser bem vedado, pois a decomposição da matéria orgânica em presença de oxigênio produz apenas dióxido de carbono.
Temperatura	As bactérias são sensíveis à temperatura, a faixa ideal para produção de biogás é entre 35 e 45°C.
Alcalinidade e pH	A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução, proveniente do CO ₂ , produzido durante a digestão anaeróbia, é importante pois à medida que se produzem ácidos no meio, o carbonato reage com estes, o que permite um controlo de acidez do meio, as bactérias sobrevivem numa faixa de PH entre 6,5 e 8,0.
Teor de água	O teor de água dentro do biodigestor deve variar entre 60 % a 90 % do peso do conteúdo total.
Nutrientes	Os principais nutrientes das bactérias são o carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 a 30:1.
Tempo de detenção	O tempo necessário para que a matéria orgânica produza biogás, dentro do biodigestor (entre 10 a 30 dias).

Quadro 1 - Condições necessárias para produção de biogás.

Fonte: Adaptado de Brites e Gaferia (2007).

De acordo com Sganzerla (1983), há dois sistemas básicos de biodigestores, o contínuo e batelada. O contínuo recebe cargas diárias ou periódicas e descarrega a massa fermentada automaticamente por vasos comunicantes, sendo assim considerado o melhor para a maioria das biomassas. O intermitente recebe carga total, retendo-a até o completo processo de biodigestão, sendo então esvaziado e recarregado novamente.

Os modelos de biodigestores mais difundidos são os chineses e indianos. O Quadro 2 compara as características gerais de ambos modelos.

(continua)

Sistema Chinês	Sistema Indiano
Materiais para construção	
Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento e ferro.	
Sistema	
Abastecimento periódico, esvaziamento não periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódico.

(conclusão)

Possibilidade de auto-instalação	
Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.
Isolamento térmico	
Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estábulos.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
Perdas de gás	
A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.
Matérias-primas usadas	
Esterco e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibroso), excrementos humanos.	Estercos, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivos.
Produtividade	
Tempo de digestão 40-60 dias; produção de 150-350l/m ³ do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque pode produzir até 600l/m ³ /dia	Tempo de digestão 40-60 dias, produção 400-600l/m ³ /dia.
Manutenção	
Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
Custo	
Razoável se for possível a ajuda mútua.	Mais caro (depende do custo da campânula).
Melhorias Possíveis	
Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Quadro 2 - Comparação característica dos biodigestores.

Fonte: Barrera (1993).

Um novo modelo foi desenvolvido pela Marinha brasileira, conhecido popularmente como modelo Canadense, modelo tubular, (Figura 2). Tem uma largura maior e profundidade menor, tendo assim uma área de exposição solar maior, e a cúpula é de plástico maleável (tipo PVC), que durante a produção de gás infla (LINDEMEYER, 2008).

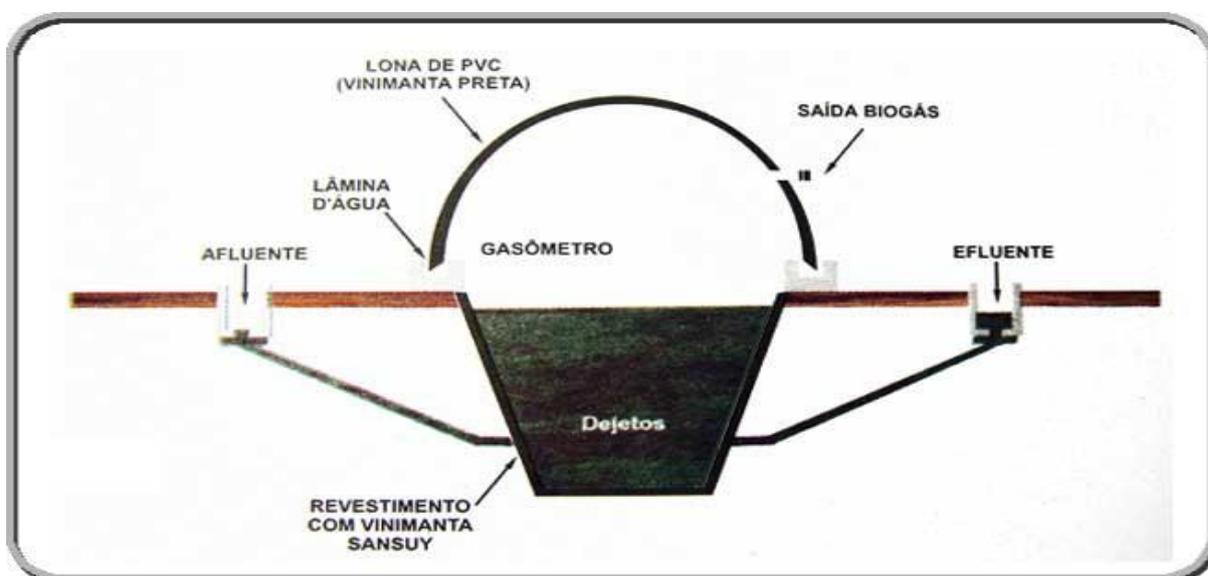


Figura 2 - Biodigestor com gasômetro de PVC.

Fonte: Perdomono, Oliveira e Kunz (2003).

3.5 BIOFERTILIZANTE

Simultaneamente à obtenção do biogás, a digestão anaeróbia produz, como resíduo, uma substância parecida com lodo, que quando diluída, pode ser utilizada como fertilizante agrícola, ou biofertilizante que apresenta grandes quantidades de nitrogênio e de fósforo (Brites e Gaferia, 2007).

A composição do biofertilizante pode variar de acordo com a biomassa utilizada. Na Tabela 3 de Sganzerla (1983), estão dispostos os valores sumarizados das análises para os parâmetros de: pH; matéria orgânica e substâncias químicas (nitrogênio, fósforo e potássio), presentes na composição do biofertilizante.

Tabela 3 - Composição do biofertilizante.

Parâmetro	Valor
pH	7,5
Matéria orgânica	85%
Nitrogênio	1,8%
Fósforo	1,6%
Potássio	1,0%

Fonte: Sganzerla (1983).

Para Coldebella (2006), o biofertilizante estimula a multiplicação bacteriana dando vida ao solo, essa intensa atividade das bactérias fixa o nitrogênio atmosférico, transformando-o em sais aproveitáveis pelas plantas, sendo fixadas nas raízes das leguminosas e tendo seu desempenho melhorado.

No Brasil a legislação sobre a produção e comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes é a Lei nº6.894 de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº6.934 de 13 de julho de 1981. A Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento em seu Art. 1º faz-se aprovar as especificações, garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos, conforme os anexos desta Instrução Normativa.

No estado do Paraná de acordo com a Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR, 2013) é a Lei nº9.056 de 02 de agosto de 1989, que dispõe sobre a produção, distribuição e comercialização de fertilizantes, corretivos e inoculantes, ou biofertilizantes destinados à agricultura.

A aplicação de biofertilizante para cada cultura irá variar de acordo com as necessidades por nutrientes, análises laboratoriais auxiliam nas quantidades exatas que devem ser adicionadas ao cultivo (BARROS, 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

O estudo foi realizado através de levantamento de dados em uma propriedade rural no município de Mamborê, Estado do Paraná. A propriedade possui uma área total 137,97 hectares, sendo destinados para suinocultura e agricultura.

A propriedade conta com o sistema de produção de ciclo completo, atualmente o plantel é de 330 matrizes, com média de 2,2 partos por ano (cada matriz com média de 13 leitões). A Figura 3 ilustra as etapas de criação dos suínos da propriedade rural.

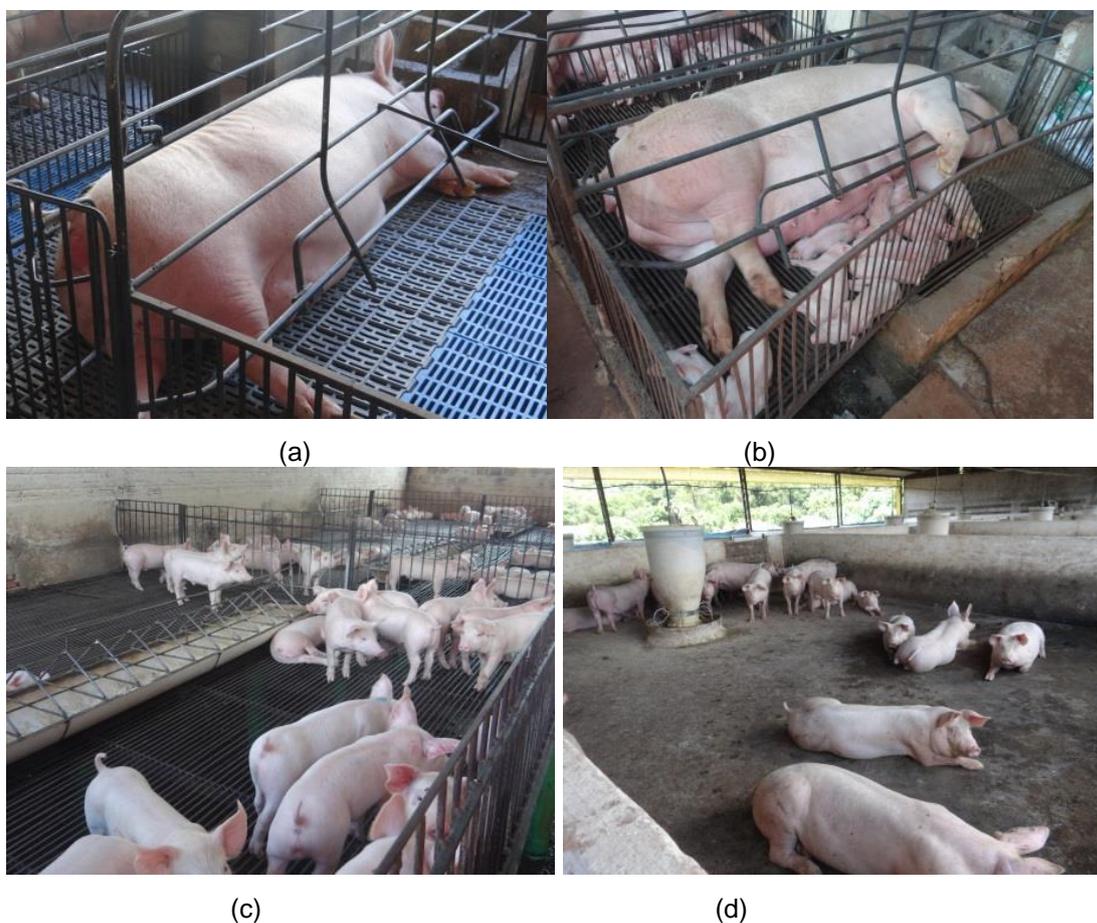


Figura 3: Etapas de criação: (a) lactação; (b) gestação; (c) leitões; (d) terminação.

A água utilizada pela propriedade provém de uma nascente, onde o sistema para dessedentação dos animais é do tipo bebedouro chupeta, ilustrada na Figura 4.



Figura 4: Aspecto do bebedouro tipo chupeta.

A base nutricional dos suínos é preparada na própria propriedade sendo 5,5 toneladas por dia, composta por milho, farelo de soja, núcleo (40kg/ton.) um suplemento alimentar, aditivo adsorvente de micotoxinas, Neobiotic-P325 (usado para o controle de disenterias causadas por bactérias), Ivermectina (controle de parasitas, vermes).

Os dejetos atualmente passam pelo sistema de lagoas de tratamento de acordo com orientações do Instituto Ambiental Paranaense passadas ao produtor, composta por quatro lagoas, sendo todas revestidas por geomenbrana de polietileno.

A esterqueira passa por limpeza uma vez por ano, o resíduo da limpeza é disposto em montes próximos das áreas de cultivo.

4.2 PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

Para verificar a quantidade de resíduos agropecuários na propriedade foram realizadas análises conforme as etapas descritas na Figura 5:

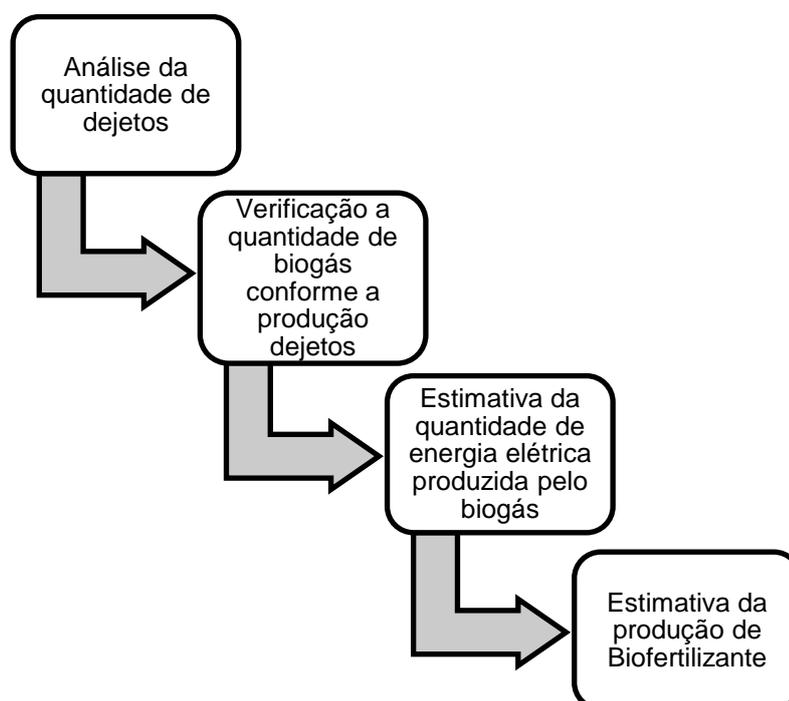


Figura 5 - Fluxograma Metodológico.

Como exposto na Figura 5, as etapas que se sucedem estão descritas a seguir:

Etapa 1: Estimou-se de acordo com o plantel, a quantidade de dejetos produzidos na propriedade. Em uma suinocultura a produção total de efluentes é dada pela soma dos dejetos, a água de lavagem das baias e os desperdícios dos bebedouros.

Na etapa 1 foi estimado o total dos dejetos a partir do cálculo proposto por Oliveira (1993) e sumarizados na coluna Esterco + Urina ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$) da Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa dos dejetos suínos.

Categoria	Esterco (kg.dia⁻¹)	Esterco + Urina (kg.dia⁻¹)	Dejetos líquidos (L.dia⁻¹)
25-100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitões	0,35	0,35	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993).

A água utilizada para limpeza e a perda de bebedouros foi estimada de acordo com o proposto por Perdomo et al. (2003), apresentado na Tabela 5, utilizando os valores de Unidade Produtora de Suínos em Ciclo Completo (UCC)

Tabela 5 - Volume de água utilizado para limpeza e perda em bebedouros.

Sistema de Produção	Fezes e Urina (L/matriz)	Limpeza (L/matriz)	Perda de bebedouros (L/matriz)
UPL¹	19,0	16,0	7,9
UPT²	6,8	2,8	1,3
UCC³	55,0	32,0	15,5

UPL¹- Unidades Produtoras de Leitões; UPT² - Unidades Produtoras de Terminados; UCC³ - Unidades Produtoras de Suínos em Ciclo Completo.

Fonte: Perdomo et al. (2003).

O volume total de efluentes produzido na propriedade rural foi a somatória dos esterco + urina (kg.dia⁻¹) da Tabela 4, com o volume gasto com a limpeza e desperdiçados nos bebedouros calculados na Tabela 5.

Etapa 2: Para a quantificação do biogás a ser produzido pela propriedade foram utilizadas as equações propostas pelos autores Chen & Hashimoto.

O valor do coeficiente cinético (k) para dejetos suínos foi calculado conforme a Equação (2), (CHEN & HASHIMOTO, 1980), onde S_0 é a concentração de sólidos voláteis (SV) em kg.m⁻³.

Para determinação do S_0 , foi realizado ensaio no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão-PR, utilizando uma amostra do efluente suíno da propriedade rural em estudo, em triplicata, onde determinou-se os valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis, realizados com a metodologia proposta por Piveli e Kato (2005).

$$k = 0,5 + 0,0043 \cdot e^{0,0051 \cdot S_0} \quad (2)$$

A taxa de crescimento máximo específico (μ_m) foi obtida conforme a Equação 3, proposta por Hashimoto et al. (1981), onde T é a temperatura da biomassa, que para este cálculo utilizou-se 20°C, 25°C e 30°C.

$$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129 \quad (3)$$

Para se obter o valor da taxa de produção do metano γ_V (m^3 de CH_4 da câmara de digestão/ dia) foi utilizada a Equação 4. O valor da taxa máxima de produção de metano, B_0 , (m^3 de $CH_4 \cdot kg^{-1}$ de SV) utilizado para os cálculos foi de $0,516 m^3$ de CH_4/ kg de SV (MØLLER, 2004), e para o tempo de detenção hidráulica (TDH) utilizou-se 22 dias e 30 dias.

$$\gamma_V = \frac{B_0 \cdot s_0}{TDH} \left(1 - \frac{K}{TDH \cdot \mu_m - 1 + K} \right) \quad (4)$$

Onde:

γ_V = taxa de produção de metano (m^3 de CH_4 da câmara de digestão. dia^{-1});

B_0 = taxa máxima de produção de metano (m^3 de $CH_4 \cdot Kg^{-1}$ de SV);

s_0 = concentração de SV do efluente ($kg \cdot m^{-3}$);

TDH = tempo de retenção hidráulica (dias);

μ_m = taxa de crescimento específico (dia^{-1});

K= coeficiente cinético (adimensional).

Por fim a estimativa de biogás foi calculada pela Equação 5, considerando 65% de metano no biogás (NISHIMURA , 2009).

$$\text{Produção de biogás (m}^3 \text{ biogás.m}^{-3} \text{ da câmara de digestão.dia}^{-1}) = \frac{\gamma_v}{0,65} \quad (5)$$

Etapa 3: A partir do biogás produzido foi possível estimar a energia elétrica utilizando o valor proposto por Coldebella (2006), admitindo um poder calorífico igual a $6,5 \text{ kWh.m}^{-3}$ e eficiência do equipamento de 21%.

Etapa 4: A partir da quantidade de matrizes da propriedade foi estimada a quantidade de biofertilizantes, pelo cálculo proposto por Kozen (1983), considerando cada doze matrizes produzidos diariamente 1000 Kg de biofertilizantes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VERIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DEJETOS

Para verificar o total de biogás na propriedade rural foram realizados cálculos utilizando o proposto na metodologia deste trabalho.

Com os valores proposto pela Tabela 4 de Oliveira (1993), foram calculadas quantidades de dejetos produzidos na unidade $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$, por fases de criação dos suínos da propriedade rural em ciclo completo, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Produção de dejetos e urina.

Categoria	Geração por animal esterco+urina ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$)	Numero de Animais	Total
25-100kg	4,90	2700	13230
Porcas em gestação	11,00	330	3630
Porcas em lactação	18,00	80	1440
Leitões	6,00	2000	12000
Machos	0,35	4	1,40
			30301,40

Com os cálculos realizados tem-se a produção $30301,40 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ de esterco e urina para o plantel em ciclo completo. Oliveira (1993) destaca que a quantidade de urina é a maior variante dentro do cálculo de dejetos, pois ela depende diretamente da quantidade de água ingerida pelos suínos.

Para Kozen (1980) a média de produção de dejetos líquidos por suínos é de $8,6 \text{ litros}\cdot\text{dia}^{-1}$, se utilizássemos esse valor para calcular a produção de dejetos líquidos, para o plantel de suínos da propriedade de 5114 animais, sem considerar as fases de criação, seria possível uma produção de $43980 \text{ litros}\cdot\text{dia}^{-1}$ ou $43,980 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$.

A ocorrência de desperdícios em bebedouros dos animais e o serviço de lavagem das baias demandam um consumo de água, que ao unir-se com os dejetos formará o efluente do sistema de criação. Utilizando os valores de unidade produtora

em ciclo completo da Tabela 5 conforme Perdomo et al. (2003), com 330 matrizes, obteve-se o volume gasto com limpeza e perda de bebedouros de $15,673 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$.

O volume total de dejetos produzidos na propriedade é a somatória da produção de dejetos produzida, em $\text{kg}.\text{dia}^{-1}$ com a água de limpeza e desperdício dos bebedouros em $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$.

5.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA

A estimativa do biogás foi realizada a partir das equações propostas por Chen e Hashimoto (1980), dentro dessas equações há algumas variáveis (TDH, temperatura da biomassa, sólidos voláteis, número de animais e volume de dejetos) que foram levadas em consideração nos cálculos para que houvesse o resultado do biogás.

No cálculo do coeficiente cinético (k), pela Equação 2, há a necessidade do valor da concentração de sólidos voláteis, sendo utilizado o valor de $6,73 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$ médio da triplicata, obtido através de ensaio de uma amostra coletada na entrada do efluente para esterqueira na propriedade rural, resultando um $k= 0,5045$ (adimensional).

Ao confrontar o valor obtido de sólidos voláteis com outros autores este valor estaria abaixo do proposto por eles. O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) na Instrução Normativa 105.006, de 5 de janeiro de 1998, por exemplo, propõe mínimos e máximos de alguns parâmetros físico-químicos para dejetos brutos de suínos, utilizando como referência Konzen (1980), onde considera como mínimo o valor de $8429 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ ($8,429 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$) para sólidos voláteis. Já Oliveira e Higarashi (2006) ressaltam que o grau de diluição é uma influência direta aos valores de sólidos totais e conseqüentemente nos sólidos voláteis, sendo assim utilizam uma variação de 10 a $75 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$ para os cálculos de estimativa de biogás em seu trabalho. Considerando a pouca diferença com esses autores, e alguns fatores como a diluição por desperdício de água, e maior consumo de água nos meses de dezembro a fevereiro, coincidindo com o período de coleta da amostra e que podem ter de alguma maneira influenciado o valor médio da amostra, manteve-se o valor obtido por ensaio no cálculo do coeficiente cinético (k).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos para as Equações 3, 4 e 5 propostas na metodologia.

Tabela 7 - Taxa de crescimento, produção de metano e produção de biogás.

Temperatura da biomassa (°C)	μ_m (dia ⁻¹)*	Produção de metano(m ³)		Produção de biogás (m ³ .m ⁻³ da câmara de digestão.dia ⁻¹)	
		TDH** 22 dias	TDH 30 dias	TDH 22 dias	TDH 30 dias
20	0,131	0,208	0,099	0,321	0,152
25	0,196	0,218	0,105	0,335	0,161
30	0,261	0,222	0,108	0,342	0,166

μ_m : taxa de crescimento específico.

TDH**: tempo de retenção hidráulica.

Analisando a Tabela 5, pode-se observar que com o aumento da temperatura da biomassa de 20°C para 30°C a produção de metano (m³) e a produção de biogás, tiveram um aumento em ambos TDHs. De acordo com Coldebella (2006) a temperatura é o fator mais importante dentro da produção de biogás, pois influencia diretamente a atividade biológica dos microrganismos, sendo 35°C a faixa ótima para microrganismos anaeróbios.

Ao compararmos os valores de TDH de 22 dias com o de 30 dias para produção de metano, observa-se que há um decréscimo significativo no TDH de 30 dias de 51,35%, e um decréscimo de 51, 46% na produção de biogás, para temperatura da biomassa de 30°C.

O decréscimo acontece, pois em altas temperaturas a velocidade das reações biológicas é mais intensa, necessitando assim de um tempo menor de detenção hidráulica (COLDEBELLA, 2006). Os autores Cortez, Lora e Gomes (2008), destacam que a produção de biogás duplica para cada aumento de 10°C na faixa de 15°C a 35°C, pelo fato que temperaturas elevadas aceleram as reações biológicas, resultando uma operação mais eficiente em um tempo de detenção menor, e ressaltam que a maioria dos biodigestores trabalham na faixa mesofílica. (20°C a 35°C).

Realizou-se um cálculo de projeção do volume câmara de digestão proposto por Kunz e Oliveira (2008), que utiliza o tempo de detenção hidráulica (TDH) em dia multiplicando a vazão diária de dejetos (m³.dia⁻¹) da propriedade.

Desse modo o valor obtido foi de uma câmara de digestão de 660 m³ para a propriedade rural em estudo, considerando TDH de 22 dias e uma vazão de aproximadamente 30 m³ de dejetos por dia.

Conforme Oliveira (2005) para um plantel de 161 matrizes em ciclo completo produzindo 13,64 m³ de dejetos, os resultados mostraram a necessidade uma câmara de digestão de 300 m³, o que demonstra que os valores estimados para propriedade atendem outros estudos já realizados para o volume da câmara de digestão.

Para estimativa da energia produzida a partir do biogás (Tabela 8) considerou-se o biogás com um teor de metano entre 50 e 80%, admitindo-se poder calorífico de 6,5 kWh.m⁻³ com eficiência de 21% dos sistemas de cogeração (COLDEBELLA, 2006).

Tabela 8 - Estimativa de produção de energia elétrica na propriedade.

Produção de biogás m ³ .dia ⁻¹	Produção de biogás m ³ .ano ⁻¹	Poder calorífico kWh.ano ⁻¹	Eficiência (21%) kWh.ano ⁻¹
0,321	77328,9	502.637,85	105.553,95

* TRH=22 dias; T= 20 °C

Conforme Lima (2007) para aumentar a produção diária de biogás em um sistema de produção de suínos, recomenda-se aumentar a carga de alimentação diária de sólidos voláteis para valores entre 55 e 65 kg por m³ de biomassa, reduzir o tempo de retenção para 22 dias e aumentar a temperatura da biomassa para 35°C

Para calcular a produção de energia elétrica, utilizou-se a produção do biogás com TDH para 22 dias, com a temperatura igual a 20 °C, pois de acordo com Oliveira (2005), nos Estados da Região Sul, a faixa de temperatura da biomassa situa-se entre 20 e 25°C.

Desse modo, obteve-se um total de 105.553,95 kWh.ano⁻¹. Como o consumo anual da propriedade para o ano de 2013 foi de 82.802 kWh.ano⁻¹, a propriedade rural seria autossuficiente em energia elétrica, comercializando o excedente de energia elétrica, justificando um estudo sobre os custos de implantação de um sistema biodigestor na propriedade.

Para Lima (2007) a população brasileira de suínos gera dejetos suficientes para produzir cerca de 4 milhões de m³.dia⁻¹ de biogás, se considerar um consumo

médio mensal de 170 kWh, a energia elétrica produzida a partir da suinocultura brasileira poderia atender mais de 350 mil residências.

5.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE

A produção de biofertilizantes da propriedade rural em estudo seria de 27500 kg, considerando o proposto por Kozen (1983). Como a propriedade rural conta com uma área de plantio de soja, e na entre safra de milho, o produtor poderia aproveitar esse biofertilizante em sua área.

Para disposição no solo de acordo com a Instrução Normativa 105006 de 15 de setembro de 2004, do Instituto Ambiental Paranaense IAP, o produtor deve atender alguns critérios, como:

- valores máximos admissíveis de metais pesados: Zn (2500 mg.kg^{-1} de matéria seca) e Cu (1000 mg.kg^{-1} de matéria seca).

- alguns parâmetros agronômicos devem ser analisados como: pH, relação C/N, matéria orgânica total, nitrogênio total, P_2O_5 total, carbono total, K_2O . Estes parâmetros devem ser quantificados e utilizados para o cálculo da taxa de aplicação ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), que possa assim ser utilizada na cultura por recomendação.

- a área de aplicação deve considerar alguns aspectos ambientais do solo, sua classe de risco ambiental e as características físico-químicas do solo a ser aplicado. Nas áreas de aplicação deve-se seguir os critérios disposto no Anexo 1 desta Normativa.

- há exigência de monitoramento, devendo ser realizado uma vez por ano, através de análise de fertilidade do solo, os parâmetros de zinco e cobre a cada dois anos.

Para Corrêa et al. (2011), a obtenção de bons resultados agronômicos e ambientais está elencada ao conjunto das práticas agrícolas, não deve-se considerar apenas o volume de biofertilizante aplicado, e sim as características do resíduo orgânico, bem como a análise, manejo e conservação do solo, a necessidade nutricional e a produtividade esperada para cada espécie vegetal.

Para sistemas de produção de pastagens deve ser respeitada a legislação do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Instrução

Normativa n.º 25, de julho de 2009, a qual define como devem ser usados compostos de resíduos de origem animal e da criação de animais (cama de aves, esterco de aves ou de suínos), sendo o uso destes resíduos permitido em pastagens e capineiras apenas com incorporação ao solo, o pastoreio deve ser permitido somente após 40 dias da incorporação do fertilizante no solo.

No estado do Paraná a Lei n.º 9056 de 02 de agosto de 1989, aprovada pelo Decreto n.º 6710, dispõe sobre a produção, distribuição e comercialização no Estado, de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, destinados à agricultura, estão condicionados a prévio cadastramento perante a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento e adotam outras providências, a venda do biofertilizante também seria outra opção para o produtor rural.

A venda de créditos de carbono é outra opção que está sendo discutida em torno nos biodigestores atrelada ao mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). De acordo com Souza (2005) em uma reunião realizada na EMBRAPA Suínos e Aves, os pesquisadores discutiram a tendência que o mercado está para à alternativa de uso dos biodigestores como crédito de carbono.

O Brasil para Cavalcanti (2011) está entre os principais países que pode se beneficiar dos créditos de carbono, além disso, ampliar o ponto de vista ambiental e sustentável da suinocultura. Para não colocar em descrédito as tecnologias dos biodigestores e o crédito de carbono, é necessário que o país desenvolva bons projetos, buscando sempre parceria de empresas e suinocultores.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o levantamento de dados da propriedade rural em estudo permite concluir que o proprietário ao adotar um sistema biodigestor modelo marinha/canadense com uma câmara de digestão de 660 m³, mantendo o funcionamento do biodigestor à temperatura de biomassa de 20°C e com um TDH de 22 dias, estaria obtendo a energia necessária para suprir as necessidades de sua propriedade bem como vender o excedente de energia elétrica, e utilizando o biofertilizante em sua área de plantio como alternativa para melhorar a produtividade de suas culturas, visando à alternativa econômica e ambiental.

Acompanhar as características físico-químicas (DBO, DQO, fósforo total, pH, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos totais) do efluente, bem como a temperatura da biomassa, o TRH, a diluição do efluente, irão garantir a eficiência econômica e ambiental do sistema biodigestor.

Como sugestão para um trabalho futuro, faz-se necessário verificar os custos para instalação do sistema biodigestor, o sistema de conversão do biogás para energia elétrica e o tempo de retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. **Legislação de defesa Agropecuária**, 2013 Disponível em:<<http://www.adapar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=198#biofertilizantes>> Acesso em: 22 nov. 2013.

ALMEIDA, Gustavo V. B. P. **Biodigestão Anaeróbica na Suinocultura**. 2008. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Curso de Medicina Veterinária. Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas, UniFMU; São Paulo-SP, 2008. Disponível em:< <http://arquivo.fmu.br/prodisc/medvet/gvbpa.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de Energia Elétrica**, 2013. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>. Acesso em: 22 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Produção mundial de carne suína**; 2013. Disponível em:< <http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mundial/producao-2.html>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

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

BARROS, Talita D. **Biofertilizantes**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica; 2013. Disponível em:< <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

BECK, Anderson de Medeiros. O biogás de suínos como alternativa energética sustentável. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27. , 2007, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR650481_0089.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2013.

BRASIL. Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 jul. 2004. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2004/Decreto/D5163.ht>. Acesso em: 03 dez. 2013.

_____. Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 jul. 2009.

_____. Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 fev. 1998. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 20 nov. 2013.

_____. Resolução Normativa nº 1.482 de 29 de julho de 2008. Autoriza Programa Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, apresentado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), como projeto piloto de implantação de geração distribuída de baixa tensão. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 mai. 2009. Disponível em<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/rea20081482.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2013.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009. Estabelece as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 142, 28 jul. 2009. Seção 1, p. 20. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_25_09.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2014.

CAVALCANTI, Marly. Mercado de crédito de carbono e a atividade suinícola: uma análise de projetos e regiões do Brasil 2010. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011. Rio de Janeiro, RJ. **Anais eletrônicos...**Rio de Janeiro: CNEG. Disponível em:<http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0351_1740.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2014.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. **Fontes de Biomassa**. Disponível em:<<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/fontes.htm#residuosorganicos>>. Acesso em: 03 nov. 2013.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. *Kinetics of Methane Fermentation*. In: Proceedings of Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conservation, 1978.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. *Substrate Utilization Kinetic Model for Biological Treatment Processes*. Biotechnology and Bioengineering, 1980.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel- PR, 2006. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=92>. Acesso em: 25 jul. 2013.

COMPANHIA DE ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Biogás**, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/17-Defini%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

CORRÊA, Juliano C.; NICOLOSO, Rodrigo da S.; MENEZES, June F. S.; BENITES, Vinícius de M.; **Crítérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais**. Comunicado Técnico 486, Embrapa/Suínos e Aves. Concórdia-SC, julho 2011. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_v4d91o4i.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2014.

CORTEZ, Luís A. B.; LORA, Electo E.S.; GÓMEZ, Edgardo O. **Biomassa para energia**. Campinas -SP. Ed. UNICAMP, 2008. 732 p.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Claudio R.; PERDOMO, Carlos C.; **Coletânea de tecnologia sobre dejetos suínos**. Concórdia EMBRAPA, 2002 31p. EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 14. Disponível em: <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **A suinocultura no Brasil**; 2010. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=19>. Acesso em: 31 out. 2013.

FERNANDES, Dangelma M. **Biomassa e Biogás**. 2012. 209 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel-PR, 2012. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=950>. Acesso em: 31 out. 2013.

FONSECA, Fernando S. de T.; ARAÚJO, Ana R. Alves de; HENDGES, Tiago L.; Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na

cidade de Balsas-Ma, um estudo de caso. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, SOBER, 47. Porto Alegre, 26 a 30 de julho de 2009. **Anais eletrônicos...**SOBER, Porto Alegre, 2009; Disponível em:<<http://www.sober.org.br/palestra/13/687.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2013.

HASHIMOTO, A. G.; CHEN, Y. R.; VAREL, V. H. *Theoretical aspects of Methane Production: State of The Art*. In: *Livestock Wastes: A Renewable Resource*, ASAE, 1981.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Instrução Normativa 105.006. de 05 de janeiro de 1998**. Licenciamento e/ou autorização de ambiental de empreendimentos de suinocultura. Instituto Ambiental Paranaense. Disponível em:< http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105006_2004.pdf> . Acesso em: 29 jan. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>> Acesso em: 31 out. 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA, **Key world energy statistic**, 2013. Disponível em:<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2013.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2011/index.html>. Acesso em: 18 nov. 2013.

KONZEN, Egídio A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPACNPISA, EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica, 6, 1983.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo A. V. de; **Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais**. Embrapa/Suínos e Aves. Concórdia-SC, junho 2008. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/444153/1/CUsersPiazzonDocuments17238.pdf>>. Acesso 10 fev. 2014.

LIMA, Paulo C. R. Biogás da suinocultura: uma importante fonte de geração de energia. **Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília-DF**, 2007. Disponível em:

<http://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1724/biogas_suinocultura_li ma.pdf?sequence=4>. Acesso em: 16 jan. 2014.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. *Methane Productivity of Manure, Straw, and Solid Fractions of Manure*. **Science Direct. Biomass and Bioenergy** **26**, 2004 p. 485-495.

NISHIMURA, Rafael; **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de sistema computacional**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande-MS, 2009.

PASQUAL, Janaína C. Geração distribuída de energia elétrica a partir de dejetos suínos: a experiência de uma Unidade Produtora de Leitões (UPL) em Santa Catarina. **Revista Biomassa&Bioenergia**, nº 02, 2013, ano 2, edição 6. Disponível em:<www.biomassabioenergia.com.br>. Acesso em: 21 out. 2013.

RESÍDUOS RURAIS, Tratamento adequado pode gerar energia e renda. **Revista Brasileira de Bioenergia**, n. 14, ano 6, p. 6-13, CENBIO, São Paulo-SP, 2012. Disponível em:< <http://cenbio.iee.usp.br/download/revista/RBB14.pdf>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

OLIVEIRA, Paulo .A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia-SC: EMBRAPA, 1993. 188p. EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27.

OLIVEIRA, Paulo A. V. **Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistema de produção**. Comunicado Técnico 417. Concórdia –SC: EMBRAPA, 2005. Disponível em<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86221/1/DCOT-417.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

OLIVEIRA, Paulo. A.V., Higarashi, Martha M.; **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia SC, 42p., 2006. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2014.

PERDOMONO, Carlos C; OLIVEIRA, Paulo A. V; KUNZ, Airton. **Sistemas de Tratamento de Dejetos Suínos: Inventário Tecnológico**. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia-SC, 2003.

PIVELI, Roque P.; KATO, Mario T.; Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental-ABES**, São Paulo-SP, 2005.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. Portugal: Centro para a Conservação de energia, 2000.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO PARANÁ. **Suínocultura Paranaense**, 2013. Disponível em:< <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=185>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

SEIXAS, Jorge; FOLLE, Sérgio; MARCHETTI, Delmar. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA-DID, Circular técnica n 4, 1980.

SOUZA, Jean C. P. V.B. **Biodigestor é indicado para geração de crédito de carbono**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, Suínos e Aves. 2005. Concórdia, SC. Disponível em:< <http://www.embrapa.gov.br/imprensa/noticias/2005/folder.2005-06-30.8880213159/foldernoticia.2005-06-30.9185161360/noticia.2005-07-07.6858175366/>> . Acesso em: 11 mar. 2014.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SOUZA, Cecília F.; JUNIOR, Jorge de Lucas; FERREIRA, Willians P. M. Biodigestão Anaeróbia de dejetos suínos sobre efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal –SP, v.25, n.2, p. 530-539, maio/ago. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010069162005000200027&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 jul. 2013.

SOUZA, Cecília de F.; CARVALHO, Cínara da C. S.; CAMPOS, Josiane A.; MATOS, Antônio T.; FERREIRA, Willians P. M.; Caracterização dos dejetos suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**. v. 56, p.129-133, mar/abr 2009. Disponível em:< <http://www.gpqa.ufv.br/Publicacoes/residuossolidos/Caracterizacao%20de%20dejetos%20de%20suinos%20em%20fase%20de%20terminacao.PDF>> Acesso em: 16 jan. 2014.

WORLD GAS CONFERENCE, 25., 2012, Kuala Lumpur, Malaysia. *Gas: Sustaining Future Global Growth*. 2009-2012 **Triennium Work Report**, June 2012. Disponível em:< <http://www.igu.org/IGU%20Events/wgc/wgc-2012/publications-from-wgc->

2012/Renewable-Gas-The-Sustainable-Energy-Solution.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2013.