

KARINA SANDERSON

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA GLICERINA BRUTA,
PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL, NA OBTENÇÃO DE
BIOGÁS EM CODIGESTÃO COM DEJETOS SUÍNOS.**

CASCATEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2013

KARINA SANDERSON

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA GLICERINA BRUTA,
PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL, NA OBTENÇÃO DE
BIOGÁS EM CODIGESTÃO COM DEJETOS SUÍNOS.**

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.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti.

Co-orientador: Prof. Dr. Mauricio Ferreira da Rosa.

CASCATEL

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2013

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

S198a Sanderson, Karina
Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos. / Karina Sanderson — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.
47 p.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti
Co-orientador: Prof. Dr. Mauricio Ferreira da Rosa
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. Biodigestor. 2. Metano. 3 Glicerina bruta. 4. Biogás. 5. Biodiesel. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

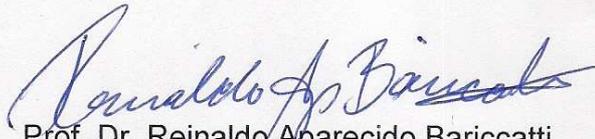
CDD 21.ed. 628.74

KARINA SANDERSON

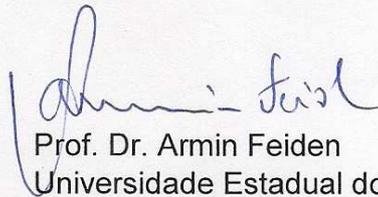
“Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos”

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, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

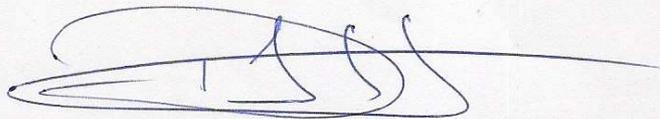
Orientador:



Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



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



Prof. Dr. Dermânio Tadeu Lima Ferreira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG/Cascavel

Cascavel, 20 de fevereiro de 2013.

À agropecuária brasileira.
À suinocultura paranaense em especial.

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e seu dom e poder da vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti pelo incentivo e orientação.

Ao Prof. Dr. Armin Feiden pela contribuição na execução deste do trabalho.

Ao amigo Msc. Cornélio Primieri, pelo apoio e amizade.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), pela infraestrutura e apoio.

A todos os responsáveis pelo Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura.

À Faculdade Assis Gurgacz (FAG), pelo apoio e cessão do espaço e equipamentos utilizados.

A todos os funcionários do Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias
(CEDETEC) em especial a Helmuth Guilherme Bleil Junior.

À minha família pelo incentivo.

Aos amigos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Matriz energética mundial e brasileira	3
2.2. A biomassa como fonte renovável de energia	5
2.2.1. Resíduos vegetais	5
2.2.2. Resíduos sólidos urbanos	5
2.2.3. Resíduos industriais	6
2.2.4. Resíduos florestais	6
2.2.5. Resíduos animais	6
2.2.5.1. Suinocultura.....	7
2.2.5.1.1. Suinocultura mundial.....	7
2.2.5.1.2. Dejetos suínos.....	7
2.3. Biodigestores	8
2.3.1. O processo da biodigestão anaeróbia.....	9
2.3.1.1. Hidrólise	10
2.3.1.2. Acidogênese	11
2.3.1.3. Acetogênese.....	11
2.3.1.4. Metanogênese	11
2.3.2. Modelos de biodigestores	12
2.3.2.1. Biodigestores tubulares	12
2.3.2.2. Biodigestores indiano	13
2.3.2.3. Biodigestores chinês	14
2.3.2.4. Viabilidade de implantação	16
2.3.3. Biogás	16
2.4. Biodiesel	18

2.4.1. Processos de produção do biodiesel	19
2.5. Glicerina	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Local do experimento	23
3.2. Dejetos suínos.....	23
3.3. Glicerina bruta	23
3.4. Estudo da concentração de glicerina bruta e dejetos suínos na produção de biogás	24
3.4.1. Preparação do meio de cultura.....	25
3.4.2. O pH	25
3.4.3. Temperatura.....	26
3.4.4. Análise de sólidos totais	26
3.5. O biodigestor em escala laboratorial	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Estudo da concentração de glicerina bruta e dejetos suínos na produção de biogás	30
4.1.1. Análise de sólidos totais (ST).....	33
4.2. Produção de biogás com dejetos suínos e glicerina bruta	35
4.3. Análise das proporções de metano presente no biogás.....	37
5. CONCLUSÕES.....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oferta interna de energia (OIE) (tep e %), Brasil 2009 – 2010.....	3
Tabela 2 - Oferta interna de energia (OIE) no mundo, (tep e %).....	4
Tabela 3 - Composição média do biogás proveniente de diferentes resíduos orgânicos	17
Tabela 4 - Quantidades estimadas diária de estrume animal e a produção de biogás	17
Tabela 5 - Fatores ideais para produção de biogás	18
Tabela 6 - Sólidos Totais (ST) e suas respectivas taxas de redução, após 21 dias.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia.	9
Figura 2 - Esquema geral da biodigestão anaeróbia.	10
Figura 3 - Corte transversal de um biodigestor tubular.	12
Figura 4 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Indiano.	14
Figura 5 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Indiano.	14
Figura 6 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Chinês.	15
Figura 7 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Chinês.	15
Figura 8 - Reação de transesterificação metílica para produção de biodiesel.	19
Figura 9 - Processo de produção do biodiesel.	20
Figura 10 - Representação da molécula de glicerina.	21
Figura 11 - Glicerina bruta.	24
Figura 12 - Microrreatores utilizados na produção de biogás.	24
Figura 13 - Estufa de acondicionamento dos microrreatores.	25
Figura 14 - Medição de pH do dejetto suíno.	26
Figura 15 - Estufa de cultura.	26
Figura 16 - Análise de sólidos totais (24 horas à 103-105 ⁰ C).	27
Figura 17 - Análise de sólidos totais (21 dias à 35 ⁰ C).	27
Figura 18 - Biodigestor em escala laboratorial.	28
Figura 19 - Cromatógrafo gasoso.	29
Figura 20 - Concentração de 20% de dejetto suíno.	30
Figura 21 - Concentração de 40% de dejetto suíno.	31
Figura 22 - Concentração de 60% de dejetto suíno.	31
Figura 23 - Produção de biogás.	35
Figura 24 - Análise de cromatografia gasosa.	37
Figura 25 - Teor de metano.	38

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIEPCS	Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína.
APHA	American Public Health Association.
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius (unidade de temperatura).
CEDETEC	Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias.
CH_3COOH	Ácido Acético.
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Glicerina.
CH_4	Metano.
CO_2	Dióxido de carbono.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FAG	Faculdade Assis Gurgacz.
g	Grama (unidade de massa).
$\text{g DQO L}^{-1} \text{d}^{-1}$	Grama de Demanda Química de Oxigênio por Litro Dia
GEE	Gases de Efeito Estufa.
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo.
H_2O	Água.
H_2S	Ácido sulfídrico.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada.
kg	Quilograma (unidade de massa).
km^2	Quilômetro quadrado (unidade de área).
kWh/m^3	QuiloWatt-hora por Metro cúbico.
KH_2PO_4	Fosfato monobásico de potássio.
K_2HPO_4	Fosfato dibásico de potássio.
KOH	Hidróxido de potássio.
L	Litro (unidade de volume).
m^3	Metro cúbico (unidade de volume).
mL	Mililitro (unidade de volume).
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

M/M	Massa/Massa
MJ/m ³	MegaJoule por Metro cúbico.
MJ/kg	MegaJoule por quilograma.
NaOH	Hidróxido de sódio.
((NH ₂) ₂ CO	Ureia.
NL CH ₄ (kg VS) ⁻¹	NanoLitro de metano por quilograma de Sólidos Voláteis.
OECD	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
OGR	Gorduras Residuais da Cadeia Alimentar.
OIE	Oferta Interna de Energia.
PVC	Policloreto de vinila.
ST	Sólidos Totais.
STV	Sólidos Totais Voláteis.
tep	Tonelada equivalente de petróleo.
UASB	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente.
UNIOESTE	Universidade do Oeste do Paraná.

RESUMO

SANDERDON, Karina, M.sc., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2013. **Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos.** Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Coorientador: Prof. Dr. Mauricio Ferreira da Rosa.

A biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos é um processo bioquímico que utiliza ação bacteriana para quebrar compostos complexos e produzir biogás, composto basicamente por metano e dióxido de carbono. O processo de digestão anaeróbia pode ser aplicado para bioestabilizar uma grande variedade de substratos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos, buscando um novo mercado para que se possa aproveitar a glicerina bruta na síntese de novos produtos. O processo foi conduzido sob concentrações de glicerina de 0%, 5%, 10%, 20% 30% e 40% (M/M) e concentrações de dejetos suínos de 20%, 40% e 60% (M/M), com pH 7,2 e temperatura de 35⁰C. Os períodos de fermentação foram de 21 e 30 dias. Foram utilizados microrreatores de 50 mL hermeticamente fechados acoplados a uma seringa de 10 mL para avaliar a melhor condição na produção de biogás. Foi também realizada a análise de sólidos totais para avaliar redução da massa de sólidos nos tratamentos propostos, sendo conduzida segundo metodologia descrita em APHA (1992). Através de um sistema de biodigestão em escala de laboratório, sendo constituído por um reator de 20 L de volume total, um medidor de gás e um reservatório para armazenamento do mesmo, avaliou-se a produção de biogás para a amostra com 5% de glicerina bruta e a amostra controle (0% de glicerina). Com o auxílio de um cromatógrafo gasoso analisou-se o teor em metano das mesmas. Observou-se que a quantidade de dejetos suínos tem grande influência na produção de biogás e a concentração com melhor rendimento foi a amostra com 60%. A glicerina bruta em conjunto aos dejetos suínos numa proporção de 5% M/M pode ser usada como suplemento na biodigestão anaeróbica, proporcionando um aumento significativo na produção de biogás, no seu teor em metano e na remoção de sólidos totais. Por outro lado, verificou-se que as concentrações de 20%, 30% e 40% (M/M) de glicerina foram inibitórias em todos os estudos, ocorrendo dificuldades e pouca produção de biogás. A análise cromatográfica da amostra com 5% de glicerina bruta mostrou-se satisfatória em relação ao teor de metano, apresentando 58,87% de CH₄ no biogás.

Palavras-chave: Biodigestor, metano, glicerina bruta.

ABSTRACT

SANDERDON, Karina, M.sc., State University of West Paraná, February of 2013. **Evaluation of the efficiency of glycerine, from the production of biodiesel, biogas in obtaining co-digestion in manure.** Adviser: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Co-adviser: Prof. Dr. Mauricio Ferreira da Rosa

The anaerobic digestion of organic waste is a biochemical process that uses bacterial action to break down complex compounds and produce biogas, consisting primarily of methane and carbon dioxide. The anaerobic digestion process bioestabilizar can be applied to a variety of substrates. This study aimed to evaluate the efficiency of crude glycerin, from the production of biodiesel, biogas in obtaining codigestão pig manure, seeking a new market so you can enjoy the crude glycerin in the synthesis of new products. The process was conducted under different concentrations of glycerin 0%, 5%, 10%, 20% 30% and 40% (M / M) and various concentrations of pig manure 20%, 40% and 60% (M / M), pH 7.2 and a temperature of 350C, the fermentation time was 21 and 30 days. Were used microrreatores 50 mL airtight coupled to a 10 mL syringe to evaluate the best condition in the biogas production and the analysis of total solids for evaluating reduction of solids mass in proposed treatments, analysis was determined using methods described in APHA (1992). Through a system of biodigestion in laboratory scale, consisting of a reactor of 20 l of total volume, a gas meter and a reservoir for storage thereof, evaluated the production of biogas for the sample with 5% glycerine Gross and the control sample (0% glycerin), with the aid of a gas chromatograph analyzed the methane content thereof. We observed the amount of pig manure has great influence on biogas production and the concentration of the sample was better yield of 60%. The crude glycerin together to pig manure in a ratio of 5% M / M can be used as a supplement in anaerobic digestion, providing a significant increase in the production of biogas with its content of methane and removal of total solids. Moreover, it was found that the concentration of 20%, 30% and 40% (M / M) of glycerol, was inhibitory in all studies, there was little difficulty and biogas production. Chromatographic analysis of the sample with 5% crude glycerin was satisfactory in relation to methane content, showing 58.87% of CH₄ in biogas.

Key-words: Biodigestor, methane, glycerine.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as questões ambientais vem aumentando e, com isso, o mundo tem buscado um desenvolvimento sustentável, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável, trazendo novas perspectivas e viabilidades para direcionar o modelo energético. As fontes renováveis de energia, sem dúvida, terão uma participação cada vez mais relevante na matriz energética global devido às pressões legais, sociais e econômicas que esse setor vem sofrendo. Novos incentivos vêm sendo lançados para desenvolvimento e utilização de fontes energéticas renováveis e menos poluidoras, como eólica, solar, ondas e biomassa (SOUZA, 2004).

Outra fonte renovável de energia que se tornou foco de atenção pelas suas características de redução de poluição e a fácil produção foi o biodiesel. A crise política e econômica de países produtores de petróleo fez com que países importadores procurassem investir seriamente em pesquisa e desenvolvimento de soluções alternativas para reduzir sua dependência desse minério e uma das alternativas foi a utilização de óleo vegetal ao invés de óleo diesel. No Brasil, a utilização dessa tecnologia vem crescendo cada vez mais já que nosso país é um dos maiores produtores de soja e possui grandes perspectivas para a produção de outras sementes oleaginosas (CAMPOS, 2005).

Porém, na produção de biodiesel a partir de qualquer triglicerídeo é gerada a glicerina bruta, em uma proporção de 100 kg de glicerina para 1m³ de biodiesel, aproximadamente 10% (FREITAS & PENTEADO, 2006) e o crescimento da produção mundial de biodiesel está gerando um excedente da mesma, podendo tornar-se um problema ambiental caso não se encontrem aplicações viáveis para ela. A glicerina bruta obtida no processo de produção de biodiesel vem impregnada dos excessos utilizados de álcool, de água e de impurezas inerentes à matéria-prima (FREITAS & PENTEADO, 2006). Só depois de purificada a glicerina pode ser utilizada na área química e no setor alimentício, porém, a tecnologia exigida para extração das impurezas tem custo elevado e é dominada apenas por algumas empresas brasileiras.

Devido à sua composição rica em carbono e de fácil degradação, a glicerina possui propriedades favoráveis à codigestão anaeróbia. Com o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis regionalmente associados à vocação agrícola do Brasil e suas condições climáticas favoráveis, a geração de biogás, juntamente com outras formas de energia

relacionadas à biomassa, pode se constituir em importante alternativa de aproveitamento da glicerina bruta para o fornecimento de energia.

Diante do exposto e com o intuito de evitar futuros problemas derivados da acumulação de glicerina e para tornar a produção de biodiesel mais competitiva, justifica-se a busca por alternativas de aproveitamento da glicerina bruta gerada nesta produção. Por isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos. Desta forma, torna-se necessário aperfeiçoar os diferentes parâmetros operacionais envolvidos no processo de fermentação anaeróbia para obtenção de biogás a partir da glicerina bruta produzindo energia limpa, renovável e contribuindo para a matriz energética brasileira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Matriz energética mundial e brasileira

A matriz energética no Brasil, em termos de sustentabilidade, apresenta uma configuração privilegiada. Cerca de 45% do consumo energético é atendido por fontes renováveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Oferta interna de energia (OIE) (tep e %), Brasil 2009 – 2010

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		ESTRUTURA %	
	2009	2010	2009	2010
NÃO RENOVÁVEL	128.572	146.169	52,7	54,7
Petróleo e Derivados	92.422	100.864	37,9	37,7
Gás Natural	21.145	27.564	8,7	10,3
Carvão Mineral e Derivados	11.572	13.899	4,7	5,2
Urânio (U ₃ O ₈) e Derivados	3.434	3.842	1,4	1,4
RENOVÁVEL	115.357	121.235	47,3	45,3
Hidráulica e Eletricidade	37.064	37.790	15,2	14,1
Lenha e Carvão Vegetal	24.610	25.428	10,1	9,5
Derivados da cana-de-açúcar	44.447	47.446	18,2	17,7
Outras Renováveis	9.237	10.570	3,8	4,0
TOTAL	243.930	267.404	100,0	100,0

(Fonte: BRASIL, 2010)

A Tabela 1 mostra a composição da Oferta Interna de Energia (OIE) de 2010 e 2009. Neste contexto, as fontes renováveis passaram a uma participação de 45,3% na demanda total de energia de 2010, contra os 47,3% verificados em 2009. O pequeno decréscimo da participação das fontes renováveis de energia ocorreu devido ao baixo crescimento da geração hidráulica, da demanda de lenha e da produção de etanol. A lenha teve uma boa recuperação na indústria metalúrgica e em outros setores, porém apresentou retração no uso residencial em razão do crescimento de mais de 3 % no consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP). O agregado “outras renováveis” apresentou um aumento devido à produção de biodiesel (50%) e a geração eólica (76%). Nas fontes não renováveis, o gás natural cresceu mais de 30%,

influenciado pelos usos na geração elétrica e industrial. O carvão mineral acompanhou a recuperação da siderurgia e também apresentou uma alta expressiva (BRASIL, 2010).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010), o Brasil teve um forte aumento na participação da energia hidráulica e do gás natural, ao passo que nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) houve forte incremento da energia nuclear, seguida do gás natural. No Brasil, a redução de 7,9% do petróleo e seus derivados na matriz entre 1973 e 2010 (Tabela 2) evidencia que o país, seguindo a tendência mundial, desenvolveu recursos renováveis para substituição de energéticos fósseis. Observou-se aumento da geração hidráulica e do uso de derivados da cana (etanol carburante e bagaço para fins térmico).

Tabela 2 - Oferta interna de energia (OIE) no mundo, (tep e %)

FONTE	BRASIL		OECD		MUNDO	
	1973	2010	1973	2008	1973	2008
Petróleo e Derivados	45,6	37,7	52,5	37,5	46,1	33,1
Gás Natural	0,4	10,3	19,0	23,4	16,0	21,1
Carvão Mineral	3,1	5,2	22,6	20,8	24,5	27,0
Urânio	0,0	1,4	1,3	10,9	0,9	5,8
Hidráulica e Eletricidade	6,1	14,1	2,1	2,1	1,8	2,2
Biomassa/Eólica/outras	44,8	31,2	2,5	5,2	10,7	10,7
TOTAL (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
TOTAL – milhões tep	82	267	3.724	5.422	6.115	12.267

(Fonte: BRASIL, 2010)

Em relação à presença de fontes renováveis na matriz energética o Brasil está em vantagem, possui 45,3% de participação em 2010, contra 7,3% na OECD (2008) e 12,9% no mundo (2008). No Brasil os combustíveis fósseis respondem por 53,2% da matriz e, no mundo, por 81,2% (BRASIL, 2010).

Devido ao atual estágio de distribuição energética e as futuras projeções do custo dos combustíveis fósseis cumpre a nós uma constante pesquisa com o objetivo de ampliar e melhorar a atual tecnologia voltada à bioenergia no Brasil.

2.2. A biomassa como fonte renovável de energia

A biomassa é uma fonte renovável de energia e a sua produção e utilização vem ganhando uma atenção especial nesses últimos anos pois está diretamente relacionada com a fixação do dióxido de carbono atmosférico, agindo na redução das emissões desse gás, que é um dos responsáveis pelo efeito estufa (CERVI, 2009).

Segundo Cortez *et al.* (2008), a biomassa voltada para a geração de fontes alternativas de energia é proveniente de resíduos sólidos urbanos, animais, vegetais, industriais e florestais e apresenta diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia. Atualmente, as tecnologias de biomassa usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva.

2.2.1 Resíduos vegetais

A biomassa de resíduos vegetais é resultante das atividades da colheita dos produtos agrícolas tais como milho, arroz, algodão, madeira, etc., sendo aproveitada como combustível sólido para geração energética por meio da tecnologia de gaseificação, em que se produz um gás de baixo poder calorífico (4 a 6 MJ/m³) (McKENDRY, 2002).

O Brasil é um grande produtor agrícola, e nos últimos anos a área plantada e a produção agrícola tiveram um crescimento importante. Porém, o Brasil não aproveita mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais. Parte dos resíduos não aproveitados energeticamente encontra usos na ração animal e nas áreas de medicina e fertilizantes (CORTEZ *et al.*, 2008).

2.2.2. Resíduos sólidos urbanos

A biomassa de resíduos sólidos urbanos é proveniente dos resíduos domiciliares e dos resíduos comerciais. Os aterros sanitários representam de 6 a 8% do total de emissões de metano (PIEROBON, 2007). Há um crescimento em torno de 5% ao ano na quantidade de lixo gerado no Brasil. O teor de matéria orgânica (C, H, O, N) do lixo brasileiro está em 60% aproximadamente, o que lhe confere bom potencial energético (CORTEZ *et al.*, 2008). A geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil, segundo Monteiro *et al.* (2001), pode atingir valores de até 1,3 kg/habitante/dia nas grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba.

2.2.3. Resíduos industriais

Os resíduos industriais são provenientes de processos industriais como o beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, resíduos da indústria madeireira, das indústrias de alimentos e de bebidas, entre outros, e são gerados tanto nos processos produtivos quanto nas atividades auxiliares, como manutenção, operação, limpeza, obras e outros serviços (PHILIPPI JR, 2005). Segundo o mesmo autor, o gerenciamento ideal dos resíduos industriais deve basear-se na adoção de medidas preventivas de eliminação ou minimização de resíduos, passando pela reciclagem, tratamento e a disposição final. Cortez *et al.* (2008), sugerem que a conversão energética dos resíduos agroindustriais pode ser obtida pela queima direta desses resíduos em fornos e caldeiras ou através da biodigestão anaeróbia.

2.2.4. Resíduos Florestais

Os resíduos florestais são os materiais deixados para trás na coleta da madeira (folhas, galhos e material resultante da destoca) e pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira. Atualmente, no Brasil não é fácil obter estatísticas precisas sobre os resíduos florestais, já que o volume e os tipos de pedaços e/ou fragmentos gerados dependem de vários fatores como diâmetro das toras e o uso final das peças serradas. De modo geral, os resíduos gerados em uma cadeia produtiva de serrados constituem-se 7% de casca, 10% de serragem e 28% de pedaços, sem se considerar as perdas na extração da madeira (CORTEZ *et al.*, 2008).

2.2.5. Resíduos animais

A biomassa de resíduos animais provém da produção de excrementos, no caso de criações em confinamento. Os mais importantes resíduos são constituídos por estercos e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético. Este tipo de resíduo é importante matéria-prima para a produção de biogás e o esterco seco pode ser queimado diretamente, apresentando um poder calorífico típico de 14,6 MJ/kg (SOUZA *et al.*, 2004).

2.2.5.1. Suinocultura

2.2.5.1.1. Suinocultura mundial

O crescimento da população bem como o aumento da renda nos países em desenvolvimento vem proporcionando um aumento no consumo de alimentos de origem animal em todo o mundo. Segundo Delgado *et al.* (1999), o aumento na demanda por produtos animais pode proporcionar uma oportunidade de intensificação sustentável para os pequenos produtores de alimentos.

Especificamente em relação à produção mundial de carne suína, dados da ABIPECS (2011) apontam um crescimento de 11% nos últimos nove anos, passando de 90,3 milhões de toneladas em 2003, para 101,1 milhões em 2011. Entre os maiores países produtores de carne suína, a China lidera com 49,5 milhões de toneladas, ou seja, aproximadamente metade do total mundial, seguida pela União Européia, com uma produção de 22,5 milhões de toneladas em 2011. Os Estados Unidos ocupam o terceiro lugar mundial com 10,3 milhões de toneladas, e na quarta posição, e mantendo o crescimento, está o Brasil, que fechou 2011 com uma produção de 3,2 milhões de toneladas de carne suína.

O Brasil tem sido apontado como um país de grande potencial para o crescimento da atividade suinícola em virtude de sua vasta extensão territorial, enquanto muitos países europeus estão tendo que reduzir o seu plantel em razão de problemas ambientais (SEGANFREDO, 2007).

2.2.5.1.2. Dejetos suínos

Os dejetos da suinocultura são compostos, basicamente, por: (1) fezes e urina dos animais; (2) resíduos de rações; (3) água, proveniente do excesso dos bebedouros e da utilizada na limpeza das baias; e (4) pêlos, poeiras e outros materiais minerais decorrentes do processo de criação (DIESEL, 2002). As quantidades e qualidades dos dejetos produzidos variam de acordo com a categoria e as técnicas de criação do produtor, da quantidade de água utilizada nas instalações, das estações do ano e condições climáticas, do tipo de dieta, idade, raça e do grau de confinamento dos animais (GOULART, 1997).

Nos países europeus a legislação ambiental é muito rígida com relação aos dejetos da suinocultura. No Brasil, somente a partir de 1991 o Ministério Público passou a dar uma

maior ênfase ao assunto, fiscalizando e cobrando o cumprimento da legislação, aplicando advertências e multas, e até mesmo determinando o fechamento de granjas (DIESEL, 2002). Mesmo considerada potencialmente poluidora, não existe no Brasil uma legislação federal específica para a suinocultura. São vários os instrumentos legais, tanto nas esferas federal quanto estadual, que interferem no ordenamento da atividade, referente principalmente à localização das instalações, aos padrões de emissão dos efluentes líquidos e a disposição final dos dejetos (HADLICH, 2004).

Logo, a questão ambiental relacionada com o manejo de dejetos suíno afeta toda e qualquer granja produtora. Com base nas características quantitativas e qualitativas torna-se evidente a necessidade de um tratamento prévio dos resíduos produzidos por suínos, para posterior aplicação no solo. A digestão anaeróbia pode ser utilizada nesse tratamento pois, além de reduzir o poder poluente e os riscos sanitários dos dejetos, tem como subprodutos o biogás e o biofertilizante (LUCAS JR. e SANTOS, 2000).

2.3. Biodigestores

Os biodigestores são equipamentos constituídos de uma câmara fechada onde é depositado o material orgânico em solução aquosa, que sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara (DEGANUTTI *et al.*, 2002). O biodigestor, além de proporcionar condições adequadas para que as bactérias metanogênicas produzam o biogás, utiliza os resíduos não aproveitáveis de uma propriedade agrícola agindo como usina de saneamento e gerando fertilizantes (AZEVEDO, 2010; COLDEBELLA *et al.*, 2008).

Com o aumento do interesse na biodigestão, diversos modelos de biodigestores foram propostos e a tecnologia de biodigestores avançou bastante, cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás tanto no campo como no tratamento sanitário (SARAVANAN & SREEKRISHNAN, 2006). Os biodigestores podem ser divididos em dois grandes grupos: biodigestores de uso agrícola e de uso sanitário. Porém, os biodigestores de uso sanitário podem ser utilizados no campo e nas indústrias para tratamento de dejetos industriais, principalmente em indústrias de alimentos (FAISAL & UNNO, 2001).

Dentre os biodigestores de uso agrícola com sistema de abastecimento contínuo, os mais utilizados no Brasil são os modelos chinês, indiano e tubular. Esses biodigestores talvez sejam os mais antigos que existem. (CERVI, 2009).

2.3.1. O processo da biodigestão anaeróbia

Considera-se a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos um processo bioquímico no qual diferentes microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, produzem biogás, composto em maior proporção de metano e dióxido de carbono (FORESTI *et al.*, 1999). Os produtos resultantes da digestão anaeróbia são o biogás, utilizado como fonte de energia, a biomassa, utilizada como fertilizante na agricultura e efluente tratado, conforme mostra a Figura 1.

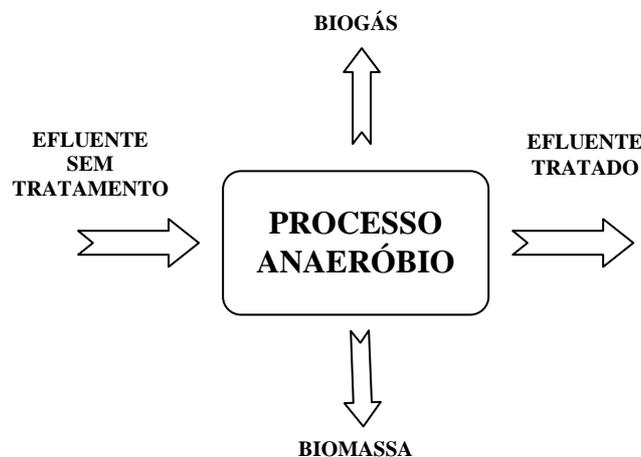


Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia.

(Fonte: Adaptado de SILVA, 2009)

Segundo Azevedo (2009) o processo de fermentação anaeróbia exige condições adequadas para seu metabolismo, sendo necessário proporcionar condições favoráveis tais como: fonte de energia, carbono para a síntese de novo material celular e elementos inorgânicos (nutrientes), como o nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio e magnésio. Em alguns casos, nutrientes orgânicos (fatores de crescimento) podem ser necessários para a síntese celular. As bactérias podem ser classificadas segundo a utilização de substratos ou características metabólicas ou fisiológicas comuns. No processo de produção de biogás, são classificadas como mesofílicas e/ou termofílicas, anaeróbias, dentre outras.

No processo global de conversão da matéria orgânica, através da digestão anaeróbia, podem-se distinguir quatro fases distintas para formação do metano: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese (SILVA, 2009). A Figura 2 demonstra o esquema geral da biodigestão anaeróbia, adaptado de Chernicharo (1997).

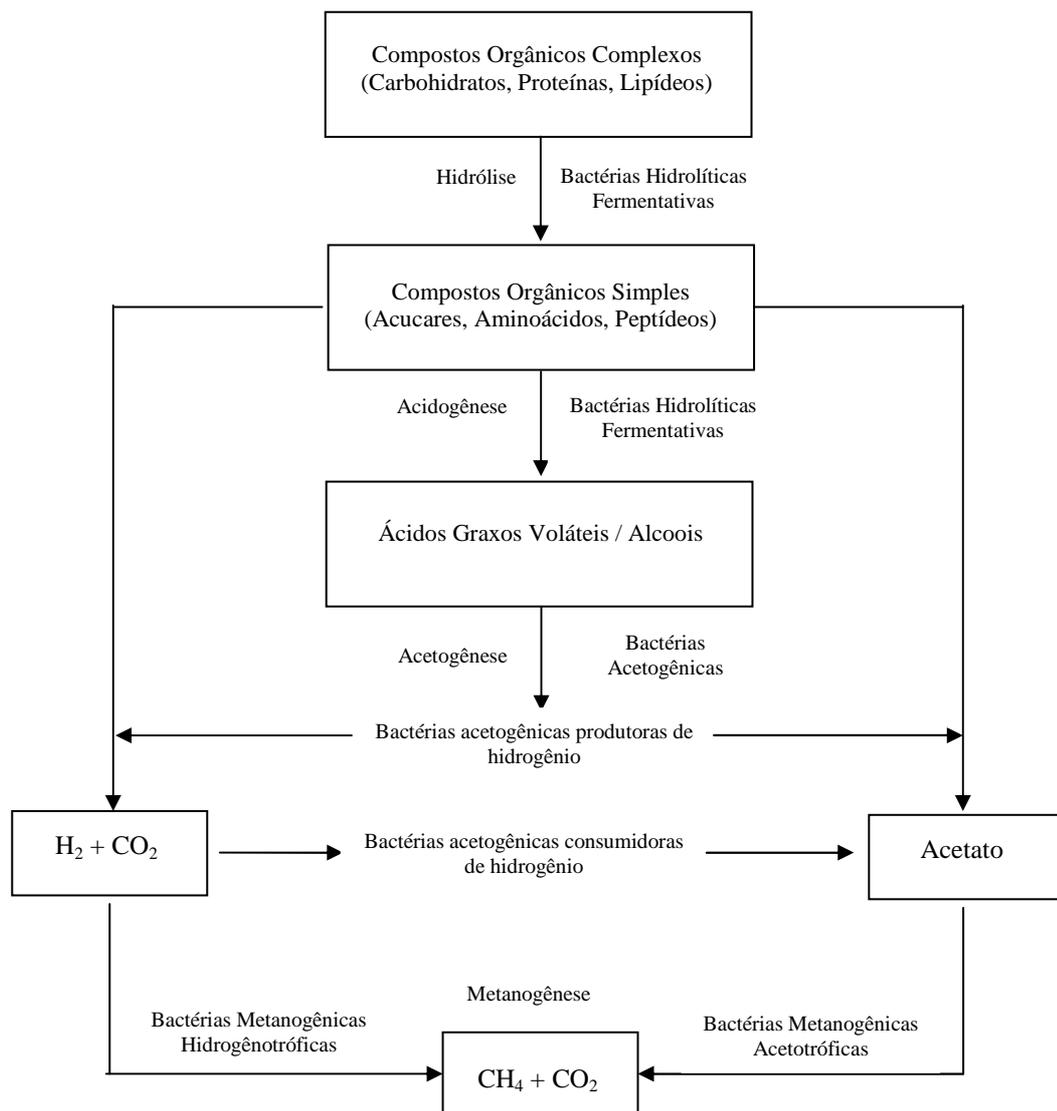


Figura 2 - Esquema geral da biodigestão anaeróbia.
(Fonte: adaptado de CHERNICHARO, 1997)

2.3.1.1. Hidrólise

Nesta fase as bactérias anaeróbias facultativas (bactérias hidrolíticas) transformam os polímeros orgânicos em compostos simples e solúveis de menor peso molecular (monômeros) e através de enzimas extracelulares, estes últimos em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose (CHERNICHARO, 1997).

2.3.1.2. Acidogênese

A acidogênese caracteriza-se por ser um processo bioquímico em que as bactérias obtêm energia transformando matéria orgânica hidrolisada (CHERNICHARO, 1997). Na acidogênese as bactérias formadoras de ácidos (bactérias fermentativas) são conhecidas como produtoras de hidrogênio e convertem os produtos oriundos da hidrólise em ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio (AZEVEDO, 2010).

2.3.1.3. Acetogênese

A acetogênese é uma etapa reguladora do processo que, por intermédio das bactérias acetogênicas, convertem os produtos da acidogênese em substratos para a produção de metano: ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, que serão os substratos para as bactérias metanogênicas (SILVA, 2009).

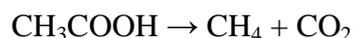
2.3.1.4. Metanogênese

A fase de metanogênese constitui a etapa final no processo de degradação anaeróbia e pode ser subdivididas em dois grupos: as hidrogenotróficas e as acetotróficas. As bactérias acetotróficas produzem metano a partir da redução de ácido acético, enquanto que as que produzem metano a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono são classificadas como hidrogenotróficas (AZEVEDO, 2010).

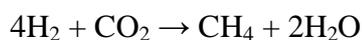
As bactérias que produzem metano a partir de hidrogênio crescem mais rapidamente em comparação com as que utilizam ácido acético, de modo que as metanogênicas acetotróficas normalmente limitam a velocidade de transformação de material orgânico complexo (CHERNICHARO, 1997).

Têm-se, portanto, as seguintes reações:

Metanogênese acetotrófica:



Metanogênese hidrogenotrófica:



Estes microrganismos são anaeróbios estritos, sendo muito sensíveis a choques térmicos e a valores de pH muito baixos ou altos, bem como a altas concentrações de ácidos

orgânicos (CHERNICHARO, 1997). O volume de metano produzido é um indicador do bom ou mau funcionamento do processo de digestão anaeróbia. Quando ocorre um desbalanceamento do processo o primeiro sinal é a redução na quantidade de gases produzidos, o que ocorre antes mesmo da elevação na concentração de ácidos voláteis (FORESTI *et al.*, 1999).

Durante a digestão anaeróbia, além dos processos fermentativos que levam à produção de biogás, outros processos podem se desenvolver. Pode-se incluir outra fase, que depende da composição química da carga orgânica a ser tratada. Matéria orgânica que contenha composto de enxofre é submetida à fase de sulfetogênese, redução de sulfato e formação de sulfetos (CHERNICHARO, 1997).

2.3.2. Modelos de biodigestores

2.3.2.1. Biodigestores tubulares

Os biodigestores tubulares são divididos em duas partes: uma superior para a fase gás, denominada campana, destinada para armazenar o biogás produzido pela fermentação anaeróbica e uma inferior para a fase líquida, denominada fossa, destinada à mistura líquida, excremento de animais mais água (RIBEIRO, 2011). Segundo Gunnerson *et al.* (1989) o biodigestor tubular foi usado pela primeira vez em 1957, na República da África do Sul. Os biodigestores tubulares passaram a ser utilizados no Brasil no início da década de 80 na região oeste dos estados do Paraná e Santa Catarina (CERVI, 2009). A Figura 3 ilustra o corte transversal de um biodigestor tubular.

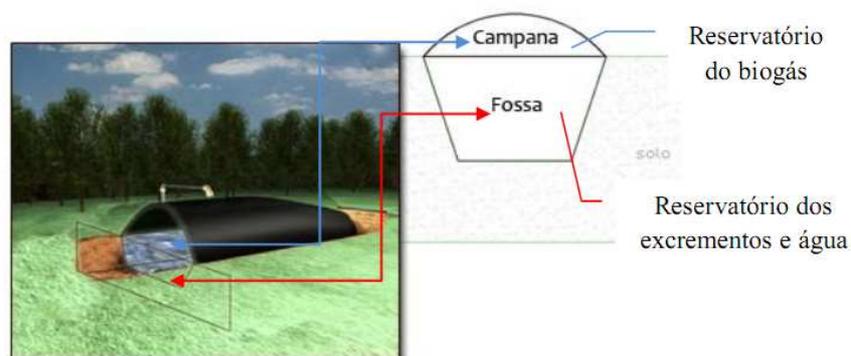


Figura 3 - Corte transversal de um biodigestor tubular.
(Fonte: RIBEIRO, 2011)

Segundo Feiden *et al.* (2004) no biodigestor tubular, também chamado de *plug-flow*, a matéria orgânica tem fluxo contínuo, entrando em uma das extremidades do biodigestor, passando pelo mesmo e sendo descarregada na outra extremidade. O fluxo se processa sem misturas longitudinais. As partículas permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para que isso ocorra os biodigestores devem ser longos, com uma elevada relação comprimento-largura, para auxiliar a hidrodinâmica. Os autores também relatam que nos biodigestores tubulares ocorre formação de crosta porque nestes, conceitualmente, não há mistura, pelo menos no sentido longitudinal. Dessa forma, os biodigestores tubulares têm sido utilizados com sistemas de eixos longitudinais equipados com pás que fazem a mistura da biomassa.

2.3.2.2. Biodigestores indiano

O modelo de biodigestor indiano caracteriza-se por possuir uma câmara de fermentação cilíndrica, de alvenaria, dividida por uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da divisória é permitir que a biomassa circule por todo o interior da câmara de fermentação. Outra propriedade deste modelo é a campânula flutuante ou gasômetro móvel, local onde o biogás fica armazenado, a qual pode estar imersa no próprio material orgânico ou em água (LIMA, 2008). Esta característica reduz as perdas durante o processo de produção do gás (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

No biodigestor indiano, à medida que o volume de biogás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro desloca-se verticalmente, aumentando o volume e mantendo no interior a pressão do gás constante. O fluxo de biomassa para alimentação do biodigestor indiano deverá ser contínuo e possuir concentração não superior a 8% de sólidos totais (ST) para promover a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitando assim entupimentos dos canos de entrada e saída do material (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

A Figura 4 mostra a vista frontal, em corte, do biodigestor modelo indiano. A Figura 5 representa o biodigestor tridimensionalmente, em corte, mostrando todo seu interior.

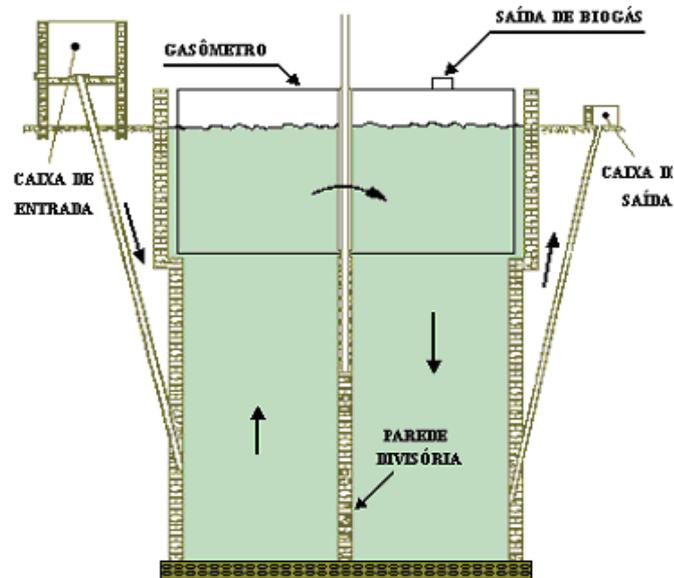


Figura 4 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Indiano.
(Fonte: PECORA, 2006)



Figura 5 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Indiano.
(Fonte: DEGANUTTI *et. al.*, 2002)

2.3.2.3. Biodigestores chinês

O biodigestor modelo chinês foi inspirado no modelo indiano com adaptação do seu projeto para as condições locais da China. (LIMA 2008). É constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto e fundo em formato de calotas esféricas, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás (DEGANUTTI *et. al.*, 2002). Essas características tornam seu aspecto construtivo mais difícil que o modelo indiano (LIMA,

2008). O reator funciona com base no princípio de prensa hidráulica. Aumentos de pressão do gás no interior do biodigestor resultam no deslocamento da matéria orgânica da câmara de fermentação para a caixa de saída e em sentido contrário, quando ocorre descompressão (BENINCASA, 1998).

Este modelo dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo custos de construção. Logo, se a estrutura não for bem vedada e impermeabilizada, podem ocorrer problemas com fugas do biogás. O modelo chinês não é utilizado em instalações de grande porte devido ao fato de que neste biodigestor, uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Deganutti *et al.* (2002) também relata que o modelo chinês possui o mesmo processo do modelo indiano no que diz respeito ao fornecimento da biomassa. Ela deve ser fornecida de forma contínua e a sua concentração não pode ser superior a 8% de sólidos totais (ST) para evitar entupimentos dos canos de entrada, facilitando, assim, a circulação do resíduo. A Figura 6 mostra a vista frontal em corte do biodigestor chinês, realçando os elementos fundamentais para sua construção. Na Figura 7 a representação tridimensional em corte, para se ter a noção exata do interior do biodigestor.

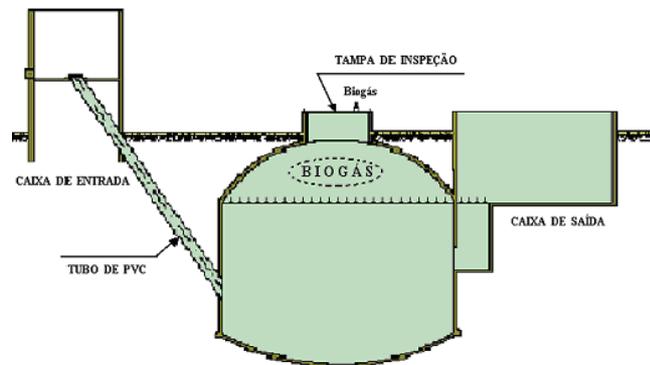


Figura 6 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo Chinês.
(Fonte: PECORA, 2006)

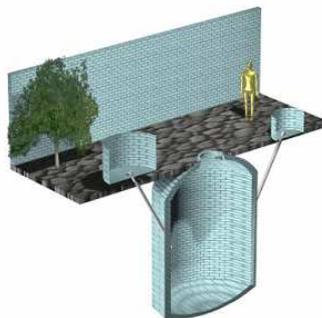


Figura 7 - Vista tridimensional do biodigestor modelo Chinês.
(Fonte: DEGANUTTI *et al.*, 2002)

2.3.2.4. Viabilidade de implantação

Os estudos econômicos da implantação de biodigestores ainda são insuficientes considerando-se a implantação deste processo em atividades de pequena e média escala. Essa tecnologia é utilizada em larga escala na região Sul do Brasil, devido à grande atividade de suinocultura existente (CERVI, 2009).

Jordan *et al.* (2004) analisaram um biodigestor com capacidade de produção de 150 m³ diários de biogás e mostraram em seus estudos que o investimento inicial seria de R\$ 20.000,00 e tempo de retorno de aproximadamente 15 meses. Souza *et al.* (2007), utilizaram metodologia e tipo de investimentos diferentes como biodigestores, motor elétrico e conjunto de irrigação, e calcularam um investimento inicial de R\$60.000,00, com período de retorno que varia entre 1 ano e 8 meses a 2 anos e meio, dependendo do tempo de uso diário do gerador.

2.3.3. Biogás

O biogás é produzido através da digestão anaeróbia de matéria orgânica realizada por bactérias na ausência de oxigênio e constitui uma fonte de energia alternativa, bem como contribui na solução dos problemas ambientais (AZEVEDO, 2010). Os produtos finais do processo anaeróbio são compostos inorgânicos, incluindo o metano, dióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio, ácido sulfídrico e hidrogênio, sendo o metano utilizado como fonte alternativa de energia (SOUZA *et al.*, 2007). O metano (CH₄) é um dos gases de efeito estufa (GEE) com potencial de aquecimento global vinte e uma vezes maior que o do dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 2001).

O histórico do biogás registra que na antiguidade, civilizações desenvolvidas como a egípcia utilizavam a fermentação anaeróbia e obtinham o biogás, que era empregado nas iluminações das pirâmides (SCHNEIDER, 2009). O químico Alessandro Volta, em 1776, obteve na Itália a primeira comprovação experimental produzindo metano através da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados (COLDEBELLA *et al.*, 2008).

Segundo Salomon (2007), devido à crise ambiental, a aprovação do Protocolo de Kyoto, a implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a crescente elevação do preço dos combustíveis convencionais, o biogás deixou de ser encarado como subproduto da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos e vem sendo considerado uma

nova fonte na produção de energia alternativa. A produção de biogás através da biodigestão anaeróbia representa um avanço importante no sentido da solução do problema da disponibilidade energética no meio rural, tanto no uso para a cocção e aquecimento, quanto para a geração de energia elétrica (CERVI, 2009).

O biogás é uma mistura gasosa onde o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) estão em maiores proporções. O potencial energético do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás. O poder calorífico do biogás é de aproximadamente 6 kWh/m^3 , o que corresponde a aproximadamente meio litro de óleo diesel (NOGUEIRA, 1986). Sua composição média encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição média do biogás proveniente de diferentes resíduos orgânicos

Gases	Porcentagem % (V/V)
Metano (CH_4)	40 - 70
Dióxido de carbono (CO_2)	30 - 40
Nitrogênio (N_2)	0 - 3
Oxigênio (O_2)	0 - 1
Ácido sulfídrico (H_2S)	0 - 1
Hidrogênio (H_2)	0 - 1

(Fonte: SILVA, 1998)

O biogás é um gás corrosivo, consequência da presença de sulfeto de hidrogênio (ácido sulfídrico – H_2S), exigindo assim cuidados especiais, inclusive com o aumento de custos quando da concepção e manutenção de sistemas de reaproveitamento devido à menor vida útil dos equipamentos utilizados (CAMPOS, 1999).

Para melhor produção do biogás o material utilizado deve apresentar relação carbono-nitrogênio (C/N) em torno de 30 carbonos para cada nitrogênio (PEREIRA, 2011). Na Tabela 4 estão indicadas as quantidades estimadas diária de estrume animal e a produção correspondente de biogás.

Tabela 4 - Quantidades estimadas diária de estrume animal e a produção de biogás

Animal	Quant / dia Kg	Gás / Kg M^3	Gás / animal / dia M^3
Bovino	10 a 20	0,037	0,367
Equino	12	0,036	0,367
Suíno	2,25	0,063	0,178
Aves	0,18 a 0,20	0,005	0,011

(Fonte: PEREIRA, 2011)

A maior produção de gás dependerá de fatores ideais conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores ideais para produção de biogás

Melhor diluição	1:1 ou 1:1,5 de água
pH (acidez)	7,0 a 8,0
Temperatura	30 a 35 ⁰
Período de fermentação	35 a 42 dias em geral

(Fonte: PEREIRA, 2011)

2.4. Biodiesel

O biodiesel é um combustível obtido de matérias-primas tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos.

O biodiesel é produzido na forma pura (100% biodiesel ou B100), porém é comumente misturado com diesel em baixos níveis, variando entre 2% (B2) e 20% (B20) nos Estados Unidos. Em outras partes do mundo encontram-se concentrações mais altas, particularmente na Europa, onde misturas com níveis de até B100 são utilizadas (METHANOL INSTITUTE & GLOBAL BIOFUELS CENTER, 2007).

O renascimento do biodiesel começou nos anos 90, na Europa, quando plantas comerciais foram inauguradas na França, Alemanha, República Checa, Suíça e Áustria. Os países europeus, particularmente a Alemanha, permanecem como os maiores produtores e consumidores de biodiesel (METHANOL INSTITUTE & GLOBAL BIOFUELS CENTER, 2007).

Acompanhando o movimento mundial e apoiado em suas experiências anteriores, o Brasil dirigiu sua atenção, no final dos anos 90, para os projetos destinados ao desenvolvimento do biodiesel.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, lançado em 06 de dezembro de 2004 pelo Governo Federal, busca a implantação de forma sustentável, técnica e economicamente, a produção e uso do biodiesel, visando à inclusão social e ao desenvolvimento regional a partir da geração de emprego e renda.

A Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005) insere o biodiesel na matriz energética brasileira fixando um percentual mínimo obrigatório de 5%, em volume, de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do

território nacional. O prazo para aplicação é de 8 anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual mínimo obrigatório intermediário de 2%, em volume. De acordo com a Resolução nº 06 de 16 de setembro de 2009, a partir de primeiro de janeiro de 2010 será obrigatória a adição de 5% de biodiesel ao óleo diesel, o que antecipa o prazo previsto na Lei 11.097 (BRASIL, 2009).

2.4.1. Processos de produção do biodiesel

Um dos processos para a produção do biodiesel é baseado em uma reação química de transesterificação, que é, sinteticamente, a reação de um óleo vegetal com um álcool simples, geralmente metanol ou etanol. A reação é catalisada por um ácido ou uma base, na maioria das vezes utiliza-se o KOH (hidróxido de potássio) ou NaOH (hidróxido de sódio). Nessa reação as moléculas principais dos óleos e gorduras, os chamados triacilgliceróis, são separados em ácidos graxos e glicerina. Os ácidos graxos são reagrupados e formam uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel), dependendo do álcool utilizado, e, como coproduto, a glicerina bruta, numa proporção mássica biodiesel : glicerina de 10 : 1 (ROBRA, 2006). Sob o ponto de vista técnico e econômico, a reação via metanol é muito mais vantajosa que a reação via etanol (FREITAS & PENTEADO, 2006).

A Figura 8 mostra a rota tecnológica de transesterificação metílica em que se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se como produtos os ésteres metílicos e o glicerol (glicerina). R1, R2 e R3 são cadeias longas de átomos de carbono e hidrogênio.

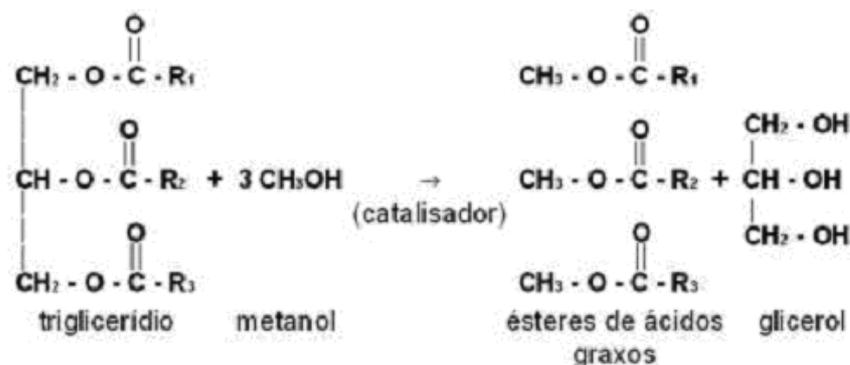


Figura 8 - Reação de transesterificação metílica para produção de biodiesel.
(Fonte: GERPEN *et al.*, 2004)

Para Parente (2003), o processo de produção de biodiesel, partindo de uma matéria-prima, envolve as etapas operacionais de preparação da matéria prima, reação de

transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do biodiesel. A Figura 9 mostra o fluxograma do processo de produção do biodiesel.



Figura 9 - Processo de produção do biodiesel.
(Fonte: PARENTE, 2003)

2.5. Glicerina

A glicerina ou glicerol é um subproduto do biodiesel e é gerada em uma proporção de 100 kg de glicerina para 1 m³ de biodiesel (PARENTE, 2003; ROBRA, 2006). Em seu estado puro é um líquido viscoso, incolor, inodoro, higroscópico (absorve água do ar) e com sabor adocicado. O seu nome oficial pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) é propano-1,2,3-triol.

A molécula de glicerina (Figura 10) possui três grupos hidroxílicos (OH-) hidrofílicos que são responsáveis por sua solubilidade em água. Seu ponto de fusão é 17,8 °C e evapora com decomposição a 290 °C sendo miscível com água e etanol (LARSEN, 2009).

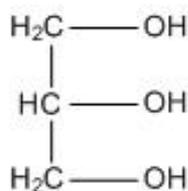


Figura 10 - Representação da molécula de glicerina.

(Fonte: Adaptado de LARSEN, 2009)

A glicerina é uma matéria-prima de alto valor agregado apresentando cerca de 1.500 aplicações em diversos setores, como na fabricação de produtos farmacêuticos (composição de cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes, antibióticos, cremes de pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens), alimentícios (umectante e para conservante) e higiene oral (emoliente e umectante em pastas de dente). É empregada no processamento de tabaco, na composição dos filtros de cigarros e como veículo de aromas. É utilizada como lubrificante de máquinas processadoras de alimentos, na fabricação de tintas e resinas, na fabricação de dinamites, etc. (CLAUDE *et al.*, 2000; LARSEN, 2009)

Entretanto, para atender às exigências das indústrias a glicerina bruta proveniente da fabricação do biodiesel precisa atingir um elevado grau de pureza e este grau de pureza só pode ser alcançado através de processos complexos e dispendiosos como a destilação e, especialmente no caso da glicerina oriunda da transesterificação de óleos e gorduras residuais da cadeia alimentar (OGR), o processo é tecnicamente complexo e economicamente inviável e é dominada por apenas algumas empresas brasileiras. (ROBRA, 2006). Segundo Larsen (2009), os custos de implantação de uma fábrica para purificação da glicerina bruta são maiores que os necessários para instalação da própria planta de produção do biodiesel.

Sendo a maior parte da glicerina comercializada um coproduto, logo, a oferta da glicerina é determinada pela demanda do produto principal. A demanda mundial de glicerina, no ano 2011 foi de cerca de 200 mil toneladas. O Brasil, ao produzir biodiesel para adição de 5% no óleo diesel (aproximadamente 2,6 milhões de toneladas do biocombustível por ano), gera quase 300 mil toneladas de glicerina por ano em média. No entanto, esta quantidade não é totalmente absorvida e o excedente de glicerina vem saturando o mercado, sendo sua oferta maior que a procura, levando assim à queda do preço desse subproduto e a estocada do mesmo sem um destino certo (SANTOS, 2011).

Diante do exposto e com o intuito de evitar futuros problemas derivados da acumulação de glicerina e para tornar a produção de biodiesel mais competitiva, justifica-se a busca por alternativas de aproveitamento da glicerina bruta gerada nesta produção.

Uma das alternativas seria a compostagem da glicerina bruta junto a outros resíduos orgânicos, de preferência sólidos, para a produção de adubo orgânico com teor de potássio elevado, devido à recuperação do hidróxido de potássio (KOH) usado como catalisador no processo de transesterificação. Outra alternativa seria a geração de biogás através da biodigestão da glicerina bruta junto a outros resíduos líquidos ou pastosos de fácil degradabilidade microbiana (ROBRA, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias (CEDETEC) da Faculdade Assis Gurgacz (FAG) na cidade de Cascavel- PR e consistiu em coletar a matéria prima, preparar os meios para a fermentação e executar as análises inerentes ao processo. As etapas do experimento serão descritas ao longo deste tópico.

3.2. Dejetos suínos

Os dejetos suínos foram cedidos pela Granja Scheid, localizada na Linha Sanga Guarani, no distrito de Bom Princípio da cidade de Toledo – PR. A propriedade possui cerca de 600 suínos e produz em média 3 m³/dia de dejetos. Os suínos são criados em pocilgas e nessa instalação ficam alojados em baias coletivas, com cerca de 30 animais cada. A pocilga é feita de alvenaria e foi construída de tal forma a facilitar o manejo dos dejetos, com piso de concreto em desnível direcionado para uma caixa coletora, evitando-se, assim, contaminação de áreas vizinhas. Os dejetos são armazenados na esterqueira construída com lona de policloreto de vinila (PVC), aonde chegam por gravidade. Os suínos são alimentados com ração controlada proporcional à idade e à espécie e que atenda às suas necessidades nutricionais e todos os suínos tem acesso a água potável, limpa e fresca. Os dejetos foram recolhidos frescos e conservados em caixa térmica de poliestireno (ISOPOR) até o momento do uso.

3.3. Glicerina bruta

A glicerina bruta (Figura 11) foi cedida pela usina de biodiesel do CEDETEC. Sua origem é proveniente da transesterificação metílica de óleo de soja e seu armazenamento foi realizado em tambor plástico à temperatura ambiente.



Figura 11 - Glicerina bruta.
(Fonte: AUTOR, 2012)

3.4. Estudo da concentração de glicerina bruta e dejetos suíno na produção de biogás

Para a condução do experimento, primeiramente, foi necessário pesquisar a concentração do dejetos suíno e da glicerina, conforme descrito na metodologia de Azevedo (2010). Para isso utilizaram-se microrreatores feitos com recipientes de vidro com volume de 50 mL hermeticamente fechados e dotados de seringas de 10 mL, cuja função foi medir o volume de biogás produzido.

Nos microrreatores adicionaram-se o dejetos suíno em concentrações de 20%, 40% e 60%, o meio de cultura composto por glicerina bruta em concentrações de 0%, 5%, 10%, 20%, 30% e 40% M/M e solução de sais minerais (nutrientes) (Figura 12).



Figura 12 - Microrreatores utilizados na produção de biogás.
(Fonte: AUTOR, 2012)

Os microrreatores foram acondicionados na estufa de cultura modelo TE 394/2, marca TECNAL, sob temperatura de 35° C por 21 dias (Figura 13). O volume de biogás foi avaliado diariamente observando o deslocamento do êmbolo da seringa.



Figura 13 - Estufa de acondicionamento dos microrreatores.
(Fonte: AUTOR, 2012)

3.4.1. Preparação do meio de cultura

O meio de cultura foi composto por glicerina bruta ($C_3H_8O_3$) em concentrações de 5%, 10%, 20%, 30% e 40% M/M como fonte de carbono e solução de sais minerais (nutrientes). A solução de sais minerais seguiu a metodologia de Azevedo (2010), onde em 1 litro de água destilada diluíram-se 2 g de fosfato dibásico de potássio (K_2HPO_4), 20 g de fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4) e 3,5 g de ureia ($(NH_2)_2 CO$). Após a adição dos sais esperou-se a completa homogeneização dos mesmos e adicionou-se a glicerina bruta nas concentrações a serem estudadas.

3.4.2. O pH

O experimento foi conduzido sem variação no pH. Segundo Soares (1997) e Chernicharo (1997) o pH não pode estar abaixo de 6.0 e acima de 8.0. Para obter o pH sem variação nas amostras, foi adicionado 3 mL KOH a 10N no meio de cultura original obtendo-se pH 7,2 (Figura 14).



Figura 14 - Medição de pH do dejetos suíno.
(Fonte: AUTOR, 2012)

3.4.3. Temperatura

Os experimentos foram acondicionados na estufa de cultura modelo TE 394/2, marca TECNAL, sob temperatura de 35° C por 21 dias (Figura 15).



Figura 15 - Estufa de cultura.
(Fonte: AUTOR, 2012)

3.4.4. Análise de sólidos totais

Sólidos totais (ST) referem-se ao material residual remanescente no recipiente após a evaporação e secagem da amostra. A análise de sólidos totais (ST) foi determinada segundo metodologia descrita em American Public Health Association - APHA (1992).

Primeiramente foram aferidas as cápsulas de porcelanas deixando-as em mufla a $(550 \pm 50) ^\circ\text{C}$ por 1 hora, seguida por esfriamento em dessecador e pesagem com precisão de

0,1 mg. Em seguida transferiram-se para as cápsulas 10 mL de dejetos suíno, o meio de cultura composto por glicerina bruta (nas concentrações de 0%, 5%, 10%, 20%, 30% e 40% M/M) e a solução de sais minerais (nutrientes) sendo posteriormente colocadas em estufa à temperatura de 103-105°C durante aproximadamente 24 horas até atingir peso constante. Retiradas da estufa foram colocadas em dessecador até esfriarem e as cápsulas foram novamente pesadas, obtendo-se assim o peso final (seco) (P_f) (Figura 16).

Os teores de sólidos totais foram determinados pela Equação 1:

$$\frac{P_i - P_f}{P_i}$$

Equação 1 - Determinação dos sólidos totais

em que:

ST= Sólidos totais;

P_i = Peso inicial (úmido) (g);

P_f = Peso final (seco) (g).



Figura 16 - Análise de sólidos totais (24 horas à 103-105°C).
(Fonte: AUTOR, 2012)

Para o acompanhamento do material residual remanescente nos microrreatores após os 21 dias sob temperatura de 35 °C utilizou-se a metodologia de análise descrita anteriormente (Figura 17).



Figura 17 - Análise de sólidos totais (21 dias à 35°C).
(Fonte: AUTOR, 2012)

3.5. O biodigestor em escala laboratorial

Após pesquisar a concentração do dejetos suíno e da glicerina bruta nos microrreatores foi possível reproduzir o melhor resultado em escala maior e para isso foi construído um sistema de biodigestão em escala de laboratório, sendo constituído por um reator de 20 L de volume total, um medidor de gás e um reservatório para o biogás. Como reator foi utilizado um garrafão plástico de água mineral com volume de 20 L e boca de 5 cm de diâmetro, fechada com uma rolha de borracha com um furo, no qual foi inserido um tubo de ferro rígido conectado a uma mangueira de silicone, que funciona como saída do biogás. O reator foi alimentado com 60% de dejetos suínos, 5% de glicerina bruta e solução de sais minerais. O reator foi mantido dentro de um banho-maria modelo 314/6D, marca LABSTORE. A temperatura da água foi mantida entre $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 30 dias e o experimento foi conduzido com pH de 7,4 (Figura 18). No biodigestor laboratorial utilizado não se adotou nenhum sistema de agitação, apenas uma leve agitação manual durante o processo.

O volume de biogás produzido foi obtido através de um medidor volumétrico de gás de diafragma modelo G0.6, marca LAO, com as seguintes características: vazão máxima de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, vazão mínima de $0,016 \text{ m}^3/\text{h}$, pressão máxima de 50 kPa e volume nominal de $0,4 \text{ dm}^3$ (Figura 18).

Após passar pelo medidor de gás, o biogás foi armazenado no amostrador de gás (Bag) do kit de análise do biogás da EMBRAPA fabricado pela ALFAKIT (Figura 18).



Figura 18 - Biodigestor em escala laboratorial.
(Fonte: AUTOR, 2012)

O biogás obtido foi avaliado em relação ao volume produzido e as proporções de metano foram analisadas por um cromatógrafo de fase gasosa, da marca Construmaq, modelo U-13, equipado com detector de condutividade térmica (TCD), contendo coluna de aço inox de 1,5 m de comprimento e 1/8” de diâmetro e empacotada com Hayesep D 80-100 mesh, tendo hidrogênio como gás de arraste. Utilizaram-se as seguintes condições: temperatura do detector: 70 °C, temperatura do vaporizador: 80 °C, temperatura da coluna: 30 °C, vazão do detector: 40 mL min⁻¹, vazão de referência: 60 mL min⁻¹ e volume de injeção de 50 µL (Figura 19).



Figura 19 - Cromatógrafo gasoso.
(Fonte: AUTOR, 2012)

Após os 30 dias utilizou-se o mesmo procedimento descrito acima, porém o reator foi alimentado apenas com dejetos suínos e solução de sais minerais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos sobre os seguintes tópicos: (a) Estudo da concentração de glicerina bruta e dejetos suínos na produção de biogás; (b) Análise de sólidos totais; (c) Produção de biogás com dejetos suínos e glicerina em escala laboratorial e (d) Análise das proporções de metano presente no biogás. Todos sob temperatura controlada de 35°C baseados nos resultados de Azevedo (2010) que descreve o melhor desempenho na produção de biogás a esta temperatura.

Neste experimento foi pesquisado o efeito do substrato nas concentrações de 0%, 5%, 10%(M/M), 20%(M/M), 30%(M/M) e 40%(M/M) de glicerina bruta com solução de nutrientes, em pH 7,2 e concentrações de dejetos suínos de 20%, 40% e 60%. Na primeira etapa analisou-se o volume de biogás produzido e a remoção de sólidos totais e, na segunda etapa, quantificaram-se os percentuais de metano do biogás.

4.1. Estudo da concentração de glicerina bruta e dejetos suínos na produção de biogás

As Figuras 20, 21 e 22 demonstram o comportamento do substrato nas concentrações de 0%, 5%(M/M) 10%(M/M), 20%(M/M), 30%(M/M) e 40%(M/M) de glicerina bruta com concentração de 20%, 40% e 60% de dejetos suínos na produção de biogás.

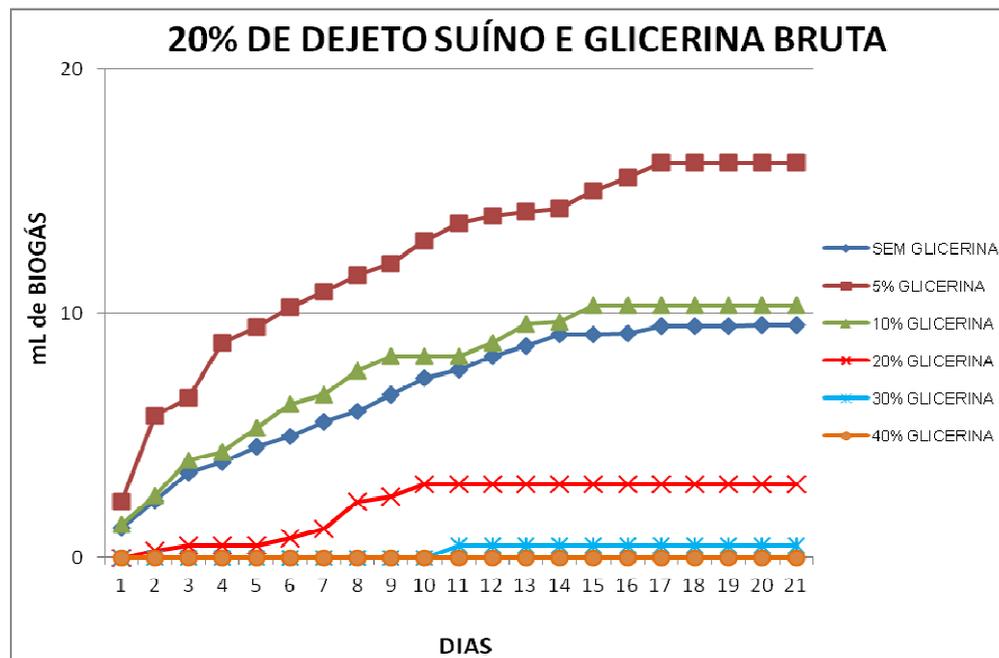


Figura 20 - Concentração de 20% de dejetos suínos.
(Fonte: AUTOR, 2012)

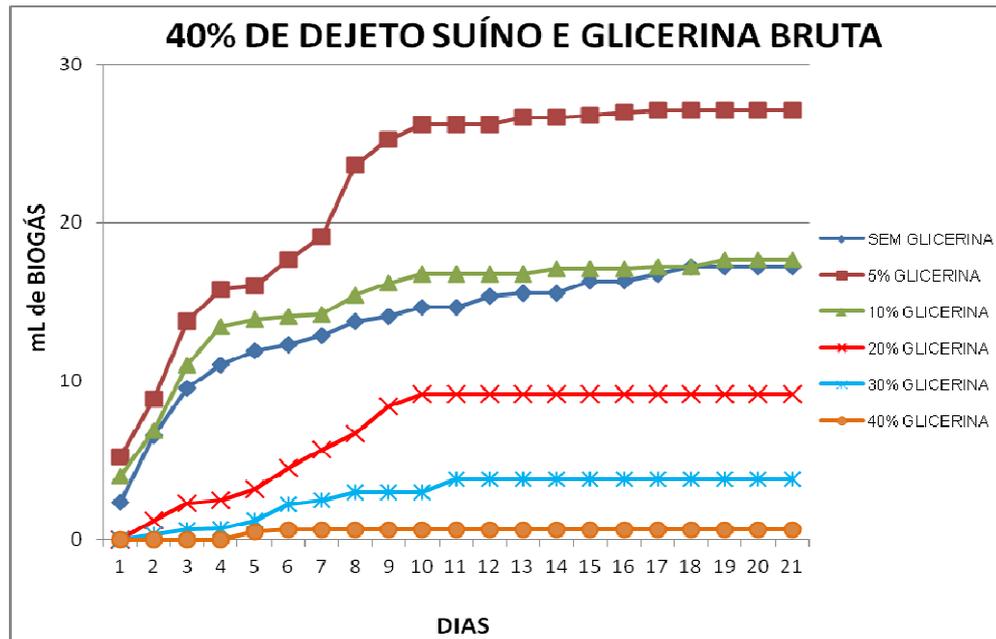


Figura 21 - Concentração de 40% de dejetos suínos.
(Fonte: AUTOR, 2012)

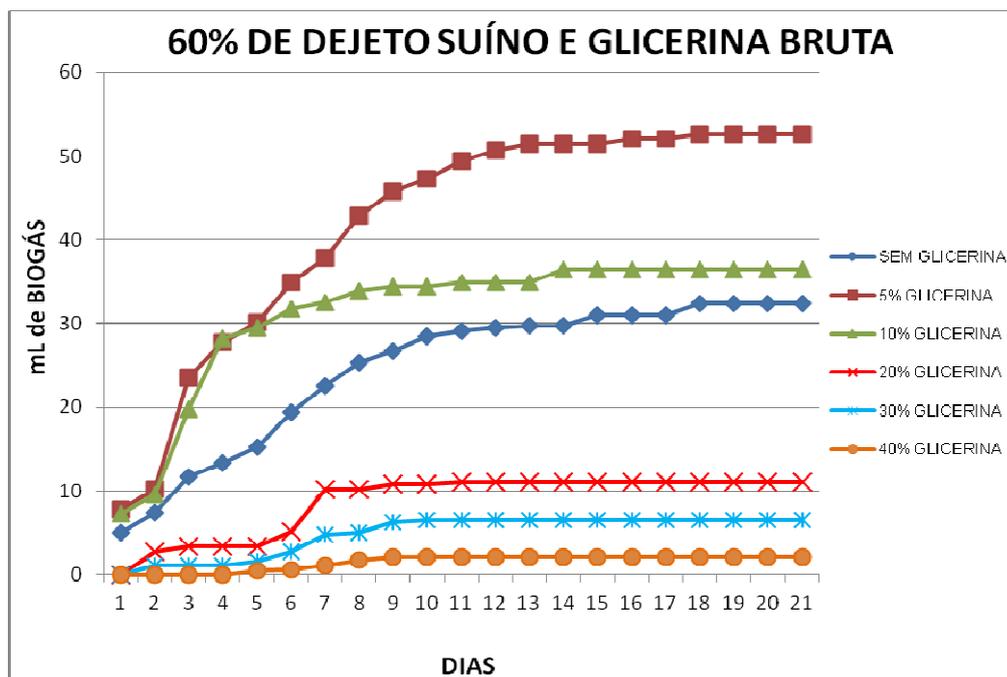


Figura 22 - Concentração de 60% de dejetos suínos.
(Fonte: AUTOR, 2012)

Analisando as Figuras 20, 21 e 22 verificou-se que a amostra com 5% de glicerina bruta quando adicionada nas concentrações de 20%, 40% e 60% de dejetos suínos ocasionou um aumento significativo no volume de biogás produzido, que foi medido através do

deslocamento do êmbolo da seringa de 10 mL acoplada no microrreator, chegando ao vigésimo primeiro dia com 16,17 mL, 27,13 mL e 52,52 mL respectivamente.

As amostras com 10% de glicerina bruta e a sem glicerina (0%) apresentaram comportamento semelhante na produção de biogás. As amostras com concentração de 10% de glicerina bruta obtiveram uma produção de biogás, em mL, mais acentuada que as amostras sem glicerina (0%), atingindo seu patamar com 10,33 mL para 20% de dejetos suíno, 17,68 mL para 40% de dejetos suíno e 36,45 mL para 60% de dejetos suíno. Já as amostras sem glicerina (0%) produziram 9,51 mL, 17,19 mL e 32,39 mL respectivamente.

Porém, Amon *et al.* (2006) comentam que para um processo estável na biodigestão anaeróbia, a quantidade de glicerina adicionada deve ter um nível de concentração limitante. Em seus estudos demonstra que a glicerina bruta adicionada não deve exceder a 6%. Holm-Nielsen *et al.* (2008), em seu experimento com esterco e resíduos de indústria alimentícia e glicerina nas concentrações de 0 a 6,5%, também relataram que a adição de glicerina acima deste nível pode ocasionar uma sobrecarga orgânica e a taxa de produção de metano decai podendo até ser interrompida. Fountoulakis *et al.* (2010) também demonstraram que a glicerina bruta pode ser vantajosa na biodigestão, mas deve-se ter um controle rigoroso na quantidade adicionada, evitando o risco de sobrecarga orgânica no biodigestor.

Analisando as concentrações de 20%, 30% e 40% (M/M) de glicerina bruta perceberam-se dificuldades e pouca produção de biogás. O processo foi mais lento, indicando uma tendência inibitória do substrato. Azevedo (2010), em seus estudos sobre o efeito da concentração de glicerina para produção de biogás, também verificou que a concentração de 40% (M/M) foi inibitória em todos os experimentos realizados. Segundo Borzani *et al.* (2001), o fato da glicerina ser um álcool provavelmente intensifica o efeito bacteriostático em altas concentrações. Robra (2006) e Fountoulakis *et al.* (2010) em seus trabalhos comentam que essa tendência inibitória na produção de biogás com altas concentrações de glicerina bruta pode estar associada à contaminação da glicerina por restos de biodiesel ou uma sobrecarga orgânica no biodigestor.

Segundo Sepura (2010), a glicerina bruta apresenta pH elevado e quando adicionada em altas concentrações em biodigestores com baixa capacidade tampão, a proporção livre pode elevar a toxicidade por amônia para as bactérias metanogênicas, causando redução no desempenho.

Os resultados obtidos nesta etapa mostram que a biodigestão anaeróbia com a adição de 5% de glicerina bruta e com 60% de dejetos suíno é viável para produção de biogás. Amon

et al. (2006) também sugerem que o uso de glicerina é viável na biodigestão anaeróbia, concluindo que a adição de 3 a 6% de glicerina bruta em sistema de batelada de misturas de silagem de milho, farelo de colza e dejetos de suínos resulta em um aumento na produção de biogás.

Kryvoruchko *et al.* (2004) obtiveram resultados semelhantes aos de Amon *et al.* (2006). Adicionaram 3 e 6% de glicerina bruta a uma mistura de dejetos de suínos e silagem de milho que resultou em uma maior produção de biogás. Backes (2011) adicionou 6% de glicerina bruta em dejetos suínos e dejetos bovinos e observou que a glicerina adicionada aos dejetos suínos proporcionou um aumento significativo na produção de biogás, porém, quando adicionada aos dejetos bovinos, não houve diferença significativa na produção de biogás.

Em seu estudo, Robra (2006) utilizou 5% de glicerina bruta em dejetos bovinos e obteve resultado diferente ao de Backes (2011), comentando que a produção de biogás sofreu um aumento considerável em relação à mistura controle (sem glicerina).

Já Azevedo (2010), observou em seu experimento com dejetos bovinos que as condições em que obteve maior produção de biogás foi quando adicionou 20% glicerina. Esse valor elevado e diferenciado de glicerina em relação aos demais autores se deve ao fato de Azevedo (2010) ter usado glicerina P.A (pureza analítica) e não a glicerina bruta. A glicerina P.A é o produto já purificado, na forma comercial, com pureza acima de 95%.

Wohlgemut (2009) testou a adição de 0,5% e 1% de glicerina na digestão anaeróbia de esterco suíno e os testes em batelada confirmaram que a adição de glicerina nessas porcentagens forneceu alto rendimento de biogás.

Larsen (2009) avaliou a adição de glicerina bruta na digestão anaeróbia de efluente de fecularia em reator de fluxo semi-contínuo horizontal de uma fase e concluiu que a produção de biogás por volume de reator aumentou com a adição de 2% de glicerina em relação ao tratamento controle (sem glicerina).

4.1.1. Análise de sólidos totais (ST)

A concentração de sólidos refere-se ao resíduo total presente no substrato, quer seja de origem orgânica ou inorgânica, e é um indicador da massa total a ser tratada. (Leite & Povinelli, 1999). Analisando-se os dados das Tabelas 6 (21 dias de tratamento), observou-se que ao adicionar porcentagens de glicerina bruta nas concentrações de 5%, 10%, 20%, 30% e 40% ao dejetos suíno a taxa de remoção de Sólidos Totais (ST) decaiu ao longo dos

tratamentos, sendo a maior redução no tratamento controle, sem glicerina (0%), chegando a 30,40%. Já no tratamento com 5% de glicerina bruta a redução foi de 28,70%. Logo, o tratamento sem glicerina (0%) e com 5% de glicerina bruta, após 21 dias a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, apresentaram praticamente a mesma eficiência na redução da massa de sólidos.

Tabela 6 - Sólidos Totais (ST) e suas respectivas taxas de redução, após 21 dias

SOLIDOS TOTAIS – 21 dias			
Concentração de glicerina (%)	Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)
0	60,47	42,09	30,40
5	60,88	43,43	28,70
10	60,76	46,72	23,11
20	60,55	50,63	16,38
30	61,42	55,35	9,88
40	58,75	56,70	3,49

(Fonte: AUTOR, 2012)

Os resultados apresentados neste tópico apontam que a utilização de 5% de glicerina na biodigestão anaeróbia de dejetos suínos é eficaz na remoção dos sólidos totais (ST). Segundo Lucas Júnior (1994), o grau de diluição dos dejetos pode ser obtido pela observação dos sólidos totais presentes nos dejetos. Quanto maior a concentração de sólidos totais voláteis na biodigestão anaeróbia, maior a produção de biogás, sendo que estes representam cerca de 70% a 75% dos sólidos totais nos dejetos suínos.

Backes (2011) em seu estudo sobre biodigestão anaeróbia adicionou 6% de glicerina em dejetos suínos e observou que as reduções dos sólidos totais dos dejetos bovinos, após o processo, diminuiriam para quase todos os tratamentos, sendo que a maior redução ocorreu no tratamento controle, chegando a 28%, e no tratamento com 9% de glicerina com 15%. Nos reatores com dejetos suínos houve redução de 36% dos sólidos totais no tratamento controle e aumento de 51% no tratamento com adição de 9% de glicerina.

No trabalho de Larsen (2009) pode-se observar que a taxa de remoção de sólidos totais decaiu ao longo dos tratamentos, chegando a 55,58% para a carga orgânica de $13,59\text{ g DQO L}^{-1}\text{ d}^{-1}$. A maior remoção, 81,19%, ocorreu para a carga orgânica de $3,05\text{ g DQO L}^{-1}\text{ d}^{-1}$, amostra sem a adição de glicerina ao substrato a ser digerido.

Chen et al. (2008) investigaram a digestão anaeróbia em um reator contínuo com mistura completa contendo 55% de esterco bovino e 45% de glicerina, com tempo de retenção de 20 dias, e obtiveram redução de STV entre 58 e 67%.

4.2. Produção de biogás com dejetos suínos e glicerina bruta

A partir dos resultados encontrados no item 4.1, chegou-se à conclusão de que a biodigestão anaeróbia com a adição de 5% de glicerina bruta e com 60% de dejetos suínos é viável para produção de biogás. Sendo assim, reproduziu-se um reator laboratorial em que foi possível analisar o volume de biogás produzido e compará-lo com o tratamento controle. Os resultados dos testes estão apresentados na Figura 23.

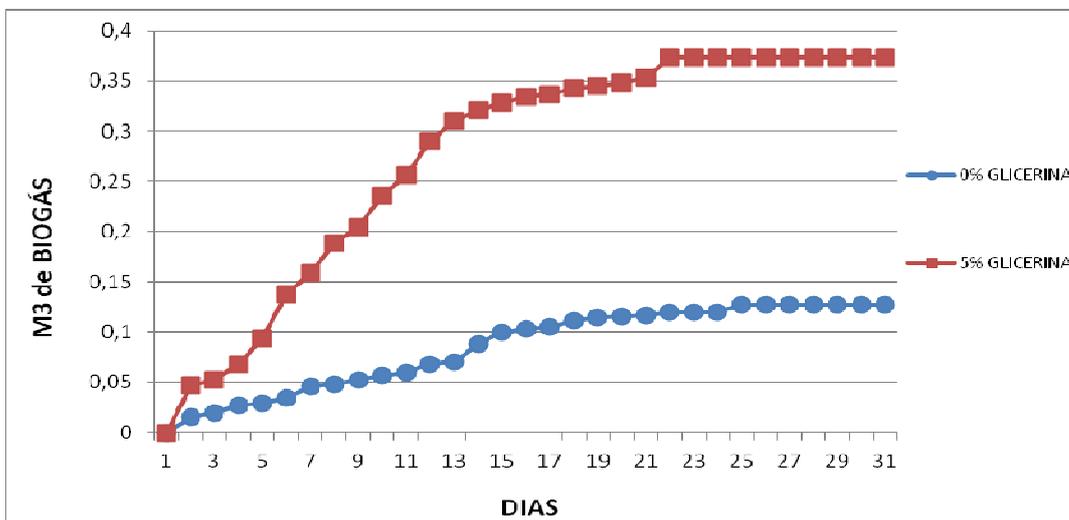


Figura 23 - Produção de biogás.
(Fonte: AUTOR, 2012)

No tratamento com adição de 5% de glicerina bruta ocorreu acréscimo na produção de biogás em relação ao tratamento controle. A produção total de gás neste tratamento foi de 0,373 m³ de biogás enquanto que no sem glicerina foi de 0,127 m³ de biogás. Segundo Backes (2011), a produção de biogás e a sua composição está fortemente ligada ao nível de carga orgânica. A adição de glicerina aumenta a carga orgânica do meio e, quando o biodigestor é sobrecarregado, responde com um aumento imediato na produção de biogás, porém uma diminuição repentina pode ocorrer.

Backes (2011), ao estudar a adição da glicerina em dejetos suínos, também obteve um aumento na produção de biogás significativa. O tratamento com a adição de 6% de glicerina obteve maior produção média de biogás, cerca de 0,0121 m³, sendo

significativamente maior quando comparada ao controle ($\pm 0,0035 \text{ m}^3$) e tratamento com 3% de glicerina ($\pm 0,0065 \text{ m}^3$).

No experimento de Robra (2006) com esterco bovino e glicerina bruta (0%, 5%, 10% e 15%) a amostra controle (0% de glicerina) produziu em média $1,64 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$ de matéria fresca. Já a amostra contendo 5% de glicerina apresentou um rendimento médio de $8,13 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$ de matéria fresca. A amostra com 10% de glicerina apresentou um rendimento médio de $1,102 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$ de matéria fresca adicionada e a amostra com 15% de glicerina apresentou um rendimento médio de $6,18 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$ de matéria fresca. Sendo assim, concluiu-se que a glicerina bruta pode ser usada como suplemento na biodigestão anaeróbia, proporcionando um aumento na produção de biogás.

Segundo Amon *et al.* (2006) a suplementação de 6% de glicerina para misturas de silagem de milho, farelo de colza e dejetos de suínos resultou em um aumento significativo na produção de biogás em relação ao controle (0% de glicerina), com valores de $6,79 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$ e $5,69 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$, respectivamente.

Viana (2011), com o objetivo de produzir biogás visando à geração de energia, tendo a glicerina bruta como única fonte de substrato, utilizou um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), em escala laboratorial (14,85 L de volume útil). O potencial de produção de biogás alcançou $0,220 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg glicerol}$.

Larsen (2009) ao avaliar a adição de 2% de glicerina bruta na digestão anaeróbia de efluente de fecularia em reator de fluxo semi-contínuo horizontal de uma fase, observou que a média de produção de biogás foi de $1,168 \text{ L gás L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para o tratamento controle (0% de glicerina) e $1,979 \text{ L gás L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ com a adição de 2% de glicerina.

Kryvoruchko *et al.* (2004) adicionaram glicerina bruta em uma mistura de dejetos de suínos e silagem de milho e a produção de biogás a partir do tratamento base (0% de glicerina) foi de $3,35 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$. Com a adição de 3% de glicerina aumentou a produção de biogás em 20%, alcançando $4,11 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$. Já a adição de 6% de glicerina resultou na maior produção de biogás, $4,40 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$. Ao adicionar 15% de glicerina houve redução no volume de gás produzido, $4,00 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$.

Em seu experimento com digestão anaeróbia de esterco suíno e glicerina, em reator semicontínuo, Wohlgemut (2009) obteve as maiores produções de biogás para a adição de 0,5% (M/M) de glicerina, $0,61 \text{ m}^3 \text{ biogás kg}^{-1} \text{ DQO consumida}$, e para a adição de 2% (M/M) de glicerina, $0,91 \text{ m}^3 \text{ biogás kg}^{-1} \text{ DQO consumida}$.

Konrad (2011), em relação à geração de biogás, obteve na amostra controle (0% de glicerina) uma produção de 0,0024 m³ de biogás, enquanto que na amostra com 3% de glicerina, a produção totalizou cerca de 0,01292 m³ de biogás, o que representa um incremento de 81,4 % em relação à amostra controle. Já a produção de biogás originada com a adição de 6 % de glicerina resultou em uma produção total de 0,0058 m³, representando 59,2 % de incremento com relação à amostra controle.

4.3. Análise das proporções de metano presente no biogás

A produção de metano é um indicador do desempenho do reator anaeróbio pois caracteriza a atividade metabólica de um ecossistema metanogênico. A produção de gás indica que a matéria orgânica inicial foi degradada até o limite possível de anaerobiose (MICHAUD *et al.*, 2005). Conforme Larsen (2009), quando ocorre um desbalanceamento do processo o primeiro sinal é a redução na quantidade de gases produzidos, o que ocorre antes mesmo da elevação na concentração de ácidos voláteis.

A Figura 24 ilustra o cromatograma das amostras com 0% e 5% (M/M) de glicerina bruta. O cromatograma mostra os picos correspondentes para ar, metano e dióxido de carbono, respectivamente.

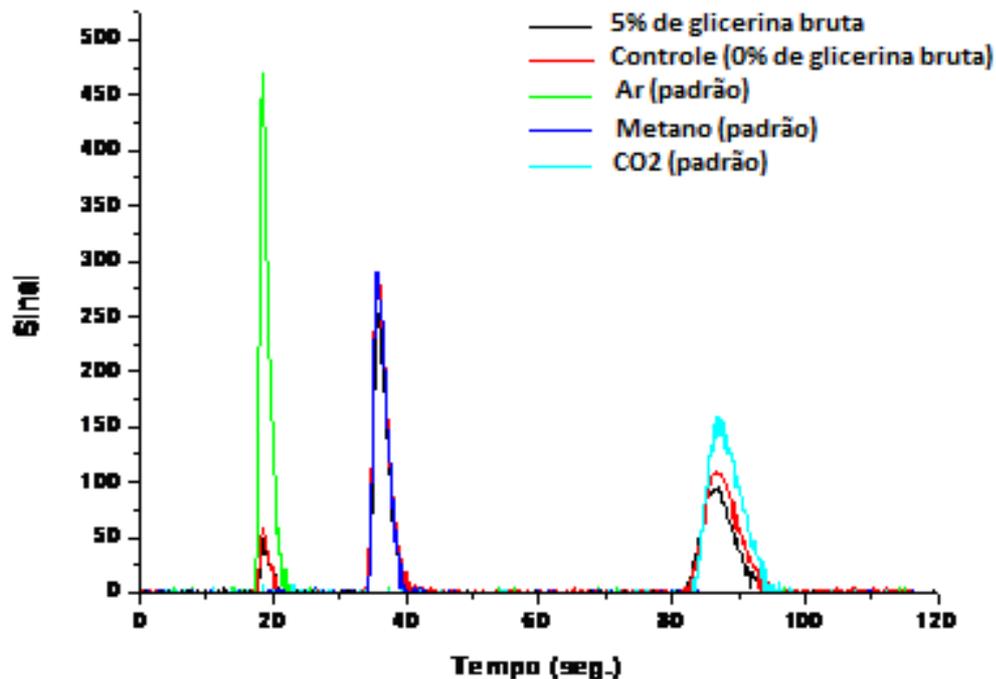


Figura 24 - Análise de cromatografia gasosa.
(Fonte: AUTOR, 2012)

Os tempos de retenção do metano e do dióxido de carbono das amostras analisadas apresentaram comportamento semelhante aos padrões. Já o pico de ar das amostras, quando comparadas ao padrão, mostraram valores inferiores, sendo positivo para o processo. O ar é letal para as bactérias anaeróbicas. Se houver oxigênio no ambiente, as bactérias anaeróbicas paralisam seu metabolismo e deixam de se desenvolver, sendo elas as responsáveis pela produção de metano.

Através da análise cromatográfica (Figura 24) foi possível quantificar o teor de metano existente nas amostras estudadas. Os resultados deste experimento mostraram que o percentual de metano da amostra com 5% de glicerina bruta e da amostra controle (0% de glicerina) com 60% de dejetos suínos apresentam valores próximos, sendo que a amostra com 5% de glicerina obteve um valor mais acentuado que a amostra controle, atingindo seu patamar com teor de 58,87% de metano, enquanto que a amostra controle atingiu 58,45%, conforme mostra a Figura 25.

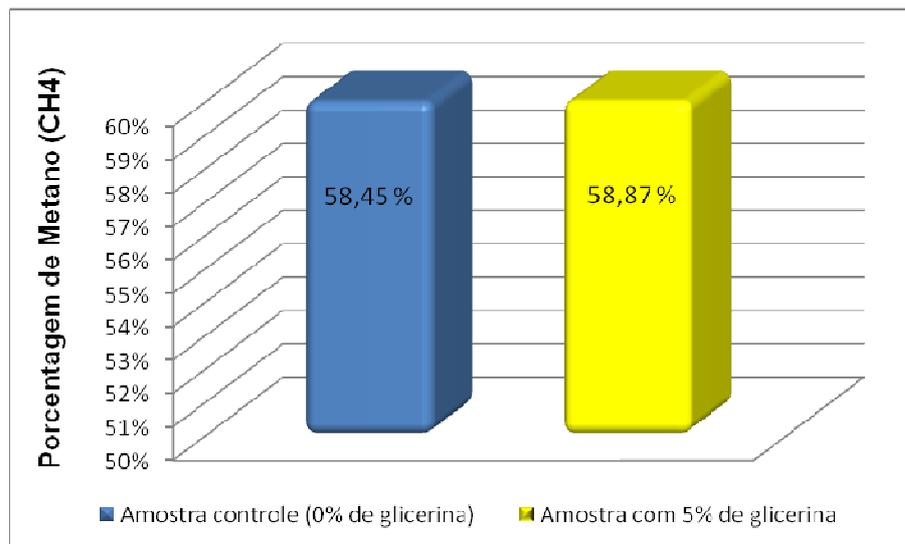


Figura 25 - Teor de metano.

(Fonte: AUTOR, 2012)

Segundo Souza *et al.* (2007) a composição do biogás varia de acordo com o material que lhe deu origem, porém sua composição básica é de 40 a 70% de metano (CH₄), 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂), traços de nitrogênio, hidrogênio e gás sulfídrico. Teixeira (1985) coloca que a composição média em volume do biogás varia entre 54 a 80% de metano para dejetos de animais. Especificamente para dejetos de suínos, segundo a FNR (2005), os teores médios de metano estão entre 60 e 70%. Já Oliveira e Higarashi (2006) citam valores entre 50 a 70% de metano. Sendo assim, os valores encontrados neste trabalho condizem com os valores encontrados na literatura.

Konrad (2011) em seu experimento com lodo de estação de tratamento ao quantificar o biogás na amostra controle (0% de glicerina) obteve níveis de metano de 68%. Na amostra em que adicionou 3% de glicerina os valores de metano alcançaram 72%, sendo considerados satisfatórios para fins energéticos. Já o percentual de metano com a adição de 6% de glicerina alcançou valores de 61%.

Backes (2011) ao adicionar 3% de glicerina a dejetos suínos obteve em média 68% de metano. Na amostra controle obteve teor de metano de 60%. Já na amostra com 6% de glicerina o valor ficou em torno de 90% de metano.

Em seus estudos Chen et al. (2008) adicionaram a glicerina ao esterco bovino e houve aumento na produção de biogás e de metano. O conteúdo médio de metano no biogás foi de 63 – 70%.

5. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a quantidade de dejetos suínos tem grande influência na produção de biogás. Nesta pesquisa, a concentração com melhor rendimento na produção de biogás foi a amostra com 60% de dejetos suínos.

A glicerina bruta associada aos dejetos suínos numa proporção de 5% M/M pode ser usada como suplemento na biodigestão anaeróbica, proporcionando um aumento significativo na produção de biogás e no seu teor em metano.

Ao aumentarmos a concentração da glicerina observaram-se dificuldades e pouca produção de biogás. O processo foi mais lento, indicando uma tendência inibitória do substrato. Conclui-se que a quantidade de glicerina bruta adicionada à digestão anaeróbica deve ter um nível de concentração limitante e um tempo de adaptação para a biocenose, evitando uma sobrecarga orgânica no processo.

A adição de 5% de glicerina no sistema de tratamento biológico anaeróbico com dejetos de suínos mostrou-se eficiente na redução de sólidos totais, havendo adaptação dos microorganismos envolvidos no processo de digestão anaeróbica com o substrato.

A composição do biogás não se alterou devido à presença de 5% de glicerina e se encontra dentro do esperado para o biogás.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLIITSCH, W. **Optimizing methane yield from anaerobic digestion of manure: effect of dairy systems and of glycerin supplementation.** International Congress Series. v. 1293, p. 217-220. 2006.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, 1992. 18^a ed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/>>. Acesso em: 12 abr.2012.

AZEVEDO, F. G. **Estudo das condições ambientais para produção de Biogás a partir de glicerol co-produto do Biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco – Campus de Recife – PE – Área de Concentração Engenharia Química, Recife, PE, 2010.

BACKES, G. M. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Centro Universitário Univates – Campus de Lajeado – RS – Área de Concentração em Gestão Integrada de Resíduos e Energia, Lajeado, RS, 2011.

BENINCASA, M., ORTOLANI, A. F., LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores Convencionais.** Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, pp. 1-15, 1998.

BORZANI, W. ; AQUARONE, E. ; LIMA, U. A. ; SCHMIDELL, E. ; **Biotecnologia Industrial**, v. 2, editora Edgard Blucher Ltda, 2001.

BRASIL. Lei no. 11.097, de 13 de janeiro de 2005. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira;** altera as Leis no. 9.478, de 6 de agosto de 1997, no. 9.847, de 26 de outubro de 1999 e no. 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em: 05 mai. 2012.

BRASIL. Resolução nº 06, de 16 de setembro de 2009. **Estabelece em cinco por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final,** de acordo com o disposto no art. 2º da Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 out. 2009. Seção 1, p. 99. Disponível em:

http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cnpe/2009/rcnpe%206%20-%202009.xml. Acesso em: 05 mai. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2010: resenha energética brasileira**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3_-Resenha_Energetica/Resenha_Energetica_2010_-_PRELIMINAR.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

CAMPOS, C. M. M.; HARDOIM, P. C.; BOTELHO, C. G.; SEVERO, J. C. A. **Programa computacional para simulação e dimensionamento de sistemas de tratamento de dejetos suínos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 28., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. p. 165.

CAMPOS, A. F. **A reestrutura da indústria de petróleo Sul America nos anos 90**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Área de Concentração Ciências em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

CERVI, R. G. **Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia: Estudo de caso em unidade biointegrada**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Campus de Botucatu – SP – Área de Concentração em Energia na Agricultura, Botucatu, SP, 2009.

CHEN, X.; ROMANO, R. T.; ZHANG, R.; KIM, H. **Anaerobic co-digestion of dairy manure and glycerin**. In: 2008 ASABE ANNUAL MEETING, 2008, Providence, Rhode Island.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária-UFMG, 1997. 246p. (Série Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 5).

CLAUDE, S.; HEMING, M.; HILL, K. **Commercialisation of Glycerol**. CTVO-NET: CHEMICAL-TECHNICAL UTILISATION OF VEGETABLE OILS. FINAL CONFERENCE. Anais.... p129-146. 20-21 June 2000. Bonn, Alemanha.

COLDEBELLA, A., SOUZA, S. N. M. , FERRI, P. ,KOLLING, E. **Viabilidade da Geração de Energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Informe Gepec – Vol. 12, nº2, jul./dez. 2008

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; Dos SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada**. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0004.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2012

DELGADO, C.; MARK, R.; STEINFELD, H.; EHUI, S.; COURBOIS, C. **Livestock to 2020: the next food revolution internacional**. Washington: Food Policy Research Institute, 1999.

DIESEL, R. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa – BIPERS. EMBRAPA Suínos e Aves e Extensão, N° 14, 30p. EMATER/RS, 2002.

FAISAL, M.; UNNO, H. **Kinetic analysis of palm oil Mill waste water treatment by a modified anaerobic baffed reactor**. Biochemical Engineering Journal, v. 9, p 25-31, 2001.

FEIDEN, A. et al. **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura**. Campinas: UNICAMP, FEAGRI, 2004. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2056.pdf>>. Acesso em: 22 Abr. 2012.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio**. In.: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. 1. ed. Rio de Janeiro: RiMa Artes e Textos, 1999. p. 29-52.

FOUNTOULAKIS, M.S.; PETOUSHI, I.; MANIOS, T. **Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production**. Waste Management v. 30, n 10, p. 1849 – 1853. 2010.

FREITAS, C.; PENTEADO, M. **Biodiesel Energia do Futuro**. 1 ed. São Paulo: Letra Boreal, 2006. 146 p.

GASPAR, R. M. A. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2003.

GERPEN, J. V.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE G. **Biodiesel Production Technology**. Colorado, 2004, 105 p.

GOULART, R. M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para tratamento de camas biológicas de dejetos suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – PPGEA, UFSC, Florianópolis, SC, 1997.

GUNNERSON, C. G. et al. **Anaerobic digestion (biogas) systems: principles of integrated use and their application in developing countries**. In: WISE, D.L. International biosystems. Boca Raton: CRC Press, 1989, v.1, 340 p. il.

HADLICH, G. M. **Poluição hídrica na bacia do Rio Coruja-Bonito (Braço do Norte/ SC) e Suinocultura: Uma Perspectiva Sistêmica**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina – PGRN/UFSC, 272p. Florianópolis, SC, 2004.

HOLM-NIELSEN, J. B.; LOMBORG, C. J.; OLESKOWICZ-POPIEL, P.; ESBENSEN, K. H. **On-line near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies**. Biotechnology and Bioengineering, v. 99, n 2, p. 302-313. fev. 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001: The scientific basis** (Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001.

JORDAN, R. A. et al. **Comparativo econômico do uso de uma bomba de calor para aquecimento e resfriamento de água em laticínios em relação ao aquecedor elétrico e o sistema de refrigeração convencional**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, Foz do Iguaçu. Anais... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

KONRAD, O. *et al.* **Avaliação da produção de biogás e geração de metano a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual**. Revista Destaques Acadêmicos, CETEC/UNIVATES, ano 2, n. 4, p.49 - 55, 2010. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/viewFile/109/67>. Acesso em: 23 dez. 2012.

KRYVORUCHKO, V. *et al.* **Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine**. International Scientific Conference “Bioecotechnologies and Biofuel in Agroindustry”. National Agrarian University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, (June 3–4), p. 143–148. 2004.

LARSEN, A. C. **Co-digestão anaeróbia de glicerina bruta e efluente de fecularia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - Campus de Cascavel – PR – Área de Concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Cascavel, PR, 2009.

LEITE, V. D. & POVINELLI, J. **Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais**. Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v. 3, n. 2, p. 229-232, 1999.

LIMA, H. Q. **Sustentabilidade energética e ambiental do sítio ecológico Falkoski**. Engenharia em Energia e Desenvolvimento Sustentável Novo Hamburgo, janeiro de 2008

Disponível em: www.sitioecologicoofalkoski.com/paginas/falkoski.pdf. Acesso em: 15 jan. 2012.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

LUCAS JR., J.; SANTOS, T. M. B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p. 27-43.

McKENDRY, P. **Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies**. In: Bioresource Technology, No.83, p.47-54, 2002

METHANOL INSTITUTE & GLOBAL BIOFUELS CENTER. **A biodiesel primer: market and public policy developments, quality, standards and handling**. 1 ed. 2007. 34 p.

MICHAUD, S., BERNET, N., BUFFIÈRE, P., DELGENÉS, J. P. **Use of the methane yield to indicate the metabolic behavior of methanogenic biofilms**. Process Biochemistry, v. 40, n. 8, p. 2751 – 2755, 2005.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, P. A. V., HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 42p. 2006.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. 1 ed. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68 p.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Energia - PIPGE) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, 2006.

PEREIRA, M. F. **Construção Rural**. São Paulo : Nobel , 1986. Reimpresso em 2011.

PHILIPPI JR, A. (Ed). **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p. (Coleção Ambiental, 2).

PIEROBON, L. R. P. **Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Área de concentração Energia, Porto Alegre, RS, 2007.

RIBEIRO, D. S. **Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida**. HOLOS, Ano 27, Vol.1, 2011. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/269/418>. Acesso em: 15 jan. 2012.

ROBRA, S. **Uso da glicerina bruta em biodigestão anaeróbica: aspectos tecnológicos, ambientais e ecológicos**. 120f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2006.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá – Campus Itajubá – MG – Área de Concentração Engenharia Mecânica, Itajubá, MG, 2007.

SARAVANAN, V.; SREEKRISHNAN, T.R. **Modelling anaerobic biofilm reactors - A review**. Journal of Environmental Management, v. 81, p-1-18, 2006.

SANTOS, A. F. **Novas perspectivas da glicerina-Síntese de novos nitratos com propriedades farmacológicas e melhoradores de cetano**. Disponível em : <http://bdtd.biblioteca.ufpb.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=879> Acesso em: 20 dez.2011.

SCHENEIDER, M. E. **O Egito Antigo. Que história é essa?** Editora Saraiva. 2009.

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

SEPURA GmbH.: **Informationen zum Einsatz Von Glycerin in Biogasanlagen**. 2010. Disponível em: <http://www.sepura.de/PDF/biogas.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

SILVA, F. M. **Utilização do biogás como combustível**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 96-125.

SILVA, C. A. B. V. **Limpeza e Purificação de Biogás**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – UTAD, Vila Real, Portugal, 2009.

SOARES, H. M. e HIRATA, T. S.. Práticas de laboratório. Florianópolis. In: III “Curso de tratamento biológico de resíduos”. CBAB, MCT/CNPq,CPGEQ/UFSC, CDB, p.23, 1997.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; PAVAN, A. A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** 2004. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100042&script=sci_arttext. Acesso em: 09 set. 2012.

SOUZA, G.T.; CELLA, R.F.; SÁ, S.H. Tratamento Anaeróbio de Efluentes. Florianópolis, 2007.

TEIXEIRA, E. N. **Adaptação de estruturas existentes (esterqueiras) em biodigestores.** Dissertação (Mestrado Engenharia de Alimentos e Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Campus Campinas, SP, 285 f, 1985.

VIANA, M. B. **Produção de biogás a partir de glicerol oriundo de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos – Campus de São Carlos – SP – Área de Concentração em Saneamento e Hidráulica, São Carlos, SP, 2011.

WOHLGEMUT, O. **Co-Digestion of hog manure with glycerol to boost biogás and methane production,** 2009, p.90. MSc. Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, 2009.