



PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA UTILIZANDO DEJETOS DE AVES DE POSTURA COM SUPLEMENTAÇÃO DE GLICERINA BRUTA

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, novembro de 2012

Débora Mafacioli

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DO PROCESSO DE DIGESTÃO
ANAERÓBIA UTILIZANDO DEJETOS DE AVES DE POSTURA COM
SUPLEMENTAÇÃO DE GLICERINA BRUTA**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Prof. Dr. Odorico Konrad – orientador
Centro Universitário UNIVATES

Fábio Fernandes Koch
Mestrando em Ambiente e Desenvolvimento

Prof. Me. Gustavo Reisdorfer
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, 21 de novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário UNIVATES, que proporcionou a realização deste sonho, através da concessão de desconto nas mensalidades para funcionários da Instituição;

Ao Professor Orientador, Doutor Odorico Konrad pelas orientações, sugestões e revisões deste trabalho;

À minha família, pais Domingo e Noelí, irmãos Marciela, Ricardo e Fernando pelo apoio e incentivo;

Ao meu namorado, Vanderson Marcel Boufet por ter compartilhado ao meu lado todos os momentos da graduação;

Aos bolsistas do Laboratório de Biorreatores por terem me recebido cordialmente e me ajudado muito durante todo o estudo.



“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo” Albert Einstein (1879 -1955).

RESUMO

A produção de biogás através de resíduos orgânicos associados a resíduos da produção de biodiesel surge como alternativa para diversificar a matriz energética brasileira. Assim, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar em escala laboratorial a geração de biogás através da digestão anaeróbia, utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta. Estudou-se em sistema batelada o potencial de produção de biogás da glicerina bruta como cosubstrato na biodigestão de dejetos de aves de postura em proporções de 3, 6 e 9%. O experimento foi conduzido em quadruplicatas com tempo de retenção hidráulica (TRH) de 55 dias com temperatura constante de 35°C. Tendo como base a produção de biogás na quadruplicata controle, a adição de glicerina bruta elevou a produção de biogás em 86,5, 220,4 e 335,0% para 3, 6 e 9% de glicerina bruta respectivamente, bem como o teor de metano, em 13,8, 14,4 e 14,8% para 3, 6 e 9% de glicerina bruta respectivamente. O grupo controle teve TRH de 41 dias, apresentando boa produção de biogás somente na primeira semana de experimento, já os grupos que receberam suplementação de glicerina mantiveram a produção de biogás por um tempo maior, sendo de, 42, 45 e 55 dias respectivamente para os grupos com 3, 6 e 9% de glicerina. As análises físico-químicas demonstraram que a relação Carbono/Nitrogênio ficou desbalanceada, porém mesmo com o teor de Carbono abaixo do ideal a digestão anaeróbia resultou em elevadas produções de biogás. Os resultados obtidos demonstram que a suplementação de glicerina influenciou positivamente na produção de biogás e teor de metano gerado, sendo considerada como um potencial cosubstrato para o processo de biodigestão anaeróbia para fins energéticos.

Palavras-chave: Biogás. Glicerina. Biodigestão anaeróbica. Dejetos de aves de postura. Energias Alternativas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2011.....	19
Figura 2 – Cadeia da biomassa	21
Figura 3 – Fluxograma do processo de produção de biogás.....	29
Figura 4 – Fases da digestão anaeróbia	35
Figura 5 – Reatores na incubadora conectados ao sistema de medição de biogás	45
Figura 6 – Tubo em forma de “U”	46
Figura 7 – Circuito eletrônico que quantifica a produção de biogás	46
Figura 8 – Sensor utilizado para medição de metano presente no biogás	47
Figura 9 – Vista geral da distribuição das gaiolas	48
Figura 10 – Vista das esteiras que transportam os dejetos das aves	48
Figura 11 – Incubadora bacteriológica	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção de biogás na primeira semana do experimento	50
Gráfico 2 – Produção diária de biogás do grupo controle	54
Gráfico 3 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 3% de glicerina	54
Gráfico 4 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 6% de glicerina	55
Gráfico 5 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 9% de glicerina.	55
Gráfico 6 – Comparação entre os tratamentos aplicados e a produção de biogás	57
Gráfico 7 – Comparação do volume de biogás produzido e o teor de metano	57
Gráfico 8 – Teor médio semanal de metano presente no biogás produzido	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação percentual da produção de energia primária no Brasil	18
Tabela 2 – Percentual da oferta interna de energia no país	18
Tabela 3 – Equivalência entre o biogás e alguns outros combustíveis	25
Tabela 4 – Maiores produtores de biodiesel	40
Tabela 5 – Produção de biogás e metano	43
Tabela 6 – Proporções de substrato e glicerina utilizados	51
Tabela 7 – Produções médias semanais de biogás obtidas nas quadruplicatas	56
Tabela 8 – Momento de adição de glicerina e volume adicionado nos reatores	58
Tabela 9 – Análise de variância da produção de biogás das quadruplicatas	59
Tabela 10 – Resultados dos parâmetros analisados antes e após digestão anaeróbia...	62
Tabela 11 – Redução de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) comparados com o substrato antes do tratamento	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGVs – Ácidos Graxos Voláteis

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AOAC – Association of Official Analytical Chemistry – Associação Oficial de Química Analítica

APA – Associação Paulista de Avicultura

CH₄ – Metano

C/N – Carbono/Nitrogênio

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – Agência de Recursos Renováveis

GEE – Gases do Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

H₂ – Gás Hidrogênio

H₂S – Ácido Sulfídrico

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MME – Ministério de Minas e Energia

OIE – Oferta Interna de Energia

PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas

pH – Potencial Hidrogeniônico

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SF – Sólidos Fixos

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SO₃ – Trióxido de Enxofre

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo Principal	16
1.1.1 Objetivos Específicos.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Matriz energética brasileira: caracterização e perspectivas	17
2.1.1 Matriz energética brasileira	18
2.1.2 Geração de energia elétrica	19
2.1.3 Potencial energético da biomassa.....	20
2.2 Avicultura de postura no Brasil	22
2.2.1 Impacto do dejetos no meio ambiente.....	23
2.2.2 Caracterização dos dejetos de Aves	24
2.3 Biogás.....	25
2.3.1 Caracterização do biogás.....	26
2.3.1.1 Benefícios.....	27

2.3.1.2 Desvantagens.....	27
2.3.2 Metano	27
2.3.3 Produção de biogás.....	28
2.3.4 Purificação do biogás	30
2.3.5 Compressão e armazenamento do biogás	30
2.3.6 Conversão do biogás.....	30
2.3.7 Utilização de resíduos agrícolas para produção de biogás	30
2.3.8 Barreiras mundiais para produção de biogás.....	31
2.4 Biodigestor	32
2.5 Digestão anaeróbia	32
2.5.1 Fases da digestão anaeróbia	34
2.5.2 Inibidores	36
2.5.3 Fatores que influenciam na produção do biogás	37
2.5.3.1 Impermeabilidade ao ar.....	37
2.5.3.2 Temperatura	37
2.5.3.3 pH.....	38
2.5.3.4 Teor de água.....	38
2.5.3.5 Nutrientes	38
2.6 Biodiesel.....	39
2.7 Glicerina	41
2.8 Codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos	42

3 METODOLOGIA	45
3.1 Quantificação de biogás	45
3.2 Teor de metano	47
3.3 Preparação do substrato	47
3.4 Produção de biogás e teor de metano presente nas amostras	50
3.5 Caracterização do substrato utilizado	51
3.5.1 Sólidos Totais	51
3.5.2 Sólidos Voláteis e Sólidos Fixos	52
4 RESULTADOS E DISCUSÕES	53
4.1 Produção do biogás	53
4.2 Composição do biogás	59
4.3 Análises físico-químicas	61
4.3.1 Teores de sólidos totais e sólidos voláteis	62
5 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Até cerca de 250 anos, os seres humanos dependiam quase que inteiramente das fontes naturais de energia, os animais puxavam os arados e moinhos de vento trituravam os grãos. Atualmente, a força humana contribui com menos de 1% do trabalho realizado nos países desenvolvidos, fazendo com que as atividades de produção de bens e serviços dependam cada vez mais do uso de recursos não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral (WALISIEWICZ, 2008).

O aumento da utilização de combustíveis fósseis, observado desde o início da era industrial, já causou um incremento em torno de 30% da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, e como consequências, o aumento da temperatura global e o risco de falta de energia. Este consumo insustentável reforça a necessidade de um equilíbrio entre a demanda de energia e o seu consumo, o que pode ser alcançado com a utilização de energias alternativas (HINRICHS et al., 2008).

Segundo Tolmasquim (2003), as fontes alternativas de energias, antes vistas como pauta irrealizável de sonhadores, ambientalmente correta, mas sem conexão com o mundo da economia e da produção, hoje estão presentes em debates sobre a diversificação da matriz energética. A utilização de energias alternativas no Brasil além de reduzirem as emissões dos chamados gases de efeito estufa contribui para a minimização dos impactos socioambientais negativos, associados à poluição do solo, ar e dos recursos hídricos, em comparação ao uso de combustível de origem fóssil.

Dados do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA, 2012) demonstram que as fontes renováveis de energia terão participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas próximas décadas. A crescente

preocupação com as questões ambientais e o consenso mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que vislumbram a incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias.

Fontes de energia renováveis e de biocombustíveis, incluindo biodiesel, recebem cada vez mais atenção como substitutos dos combustíveis fósseis. No entanto a sua implementação no mercado depende principalmente em tornar estas fontes mais competitivas. Uma opção para reduzir os custos dos biocombustíveis é utilizar os subprodutos como uma potencial fonte de energia em vez de tratá-los como resíduos de produção (KOLESÁROVÁ et al., 2011).

Neste contexto, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas com o objetivo de resolver ou pelo menos amenizar a crescente crise energética, buscando a utilização de energias abundantes, baratas e limpas. Dentre estas, podem-se destacar aquelas originadas de fontes naturais, como a biomassa (GOLDEMBERG, 2008).

A biomassa é considerada uma bioenergia rica em carbono. Constitui-se de toda e qualquer matéria orgânica de origem animal ou vegetal, além disso, os nutrientes dos dejetos e resíduos orgânicos domésticos e industriais também são considerados biomassas. Existem muitos processos de transformação da biomassa em energia, incluindo combustão, extração, transesterificação, fermentação e biodigestão, entre outros (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008; BARRERA, 1993).

No Brasil, o crescimento da produção de ovos comerciais e a qualidade do produto têm sido expressivos, conferindo oportunidade para um mercado promissor de ovos e subprodutos de ovos frescos e processados. Acompanhando o crescimento produtivo do setor crescem também as preocupações com a quantidade e composição dos dejetos gerados pelas galinhas (GOMES; CAPPI, 2010).

Quanto aos sistemas de produção, em particular na avicultura de postura, as instalações encontram-se cada vez mais automatizadas, gerando lotes mais homogêneos, melhores regularidades nas distribuições das dietas, padronização na classificação dos ovos e aumento do aproveitamento de ovos pela diminuição da quebra e sujeira (AUGUSTO, 2007).

O crescente interesse na produção de biogás gerado a partir de resíduos orgânicos, associado ao seu uso energético é um assunto amplamente discutido. Anteriormente, o biogás era visto somente como um subproduto obtido da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos, sejam eles gerados por aterros de resíduos, estações de tratamento de esgotos, pela biodigestão de culturas como cana de açúcar e vinhaça ou pela digestão anaeróbica de biomassa residual (SALOMON; LORA, 2009).

Deste modo, o processo anaeróbio desponta como alternativa promissora, visto que uma grande variedade de resíduos orgânicos pode ser estabilizada, produzindo composto orgânico com características essenciais de agente condicionador de solo e um representativo potencial energético advindo do gás metano (LEITE; LOPES; PRASAD, 2001).

1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar em escala laboratorial a geração de biogás através da digestão anaeróbia utilizando dejetos da avicultura de postura com suplementação de glicerina bruta.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar através de análises físico-químicas os dejetos utilizados antes e após processo de digestão anaeróbia;
- Determinar o percentual ideal entre as diferentes concentrações testadas na suplementação de glicerina bruta como cosubstrato;
- Quantificar o biogás e avaliar o percentual de metano gerado na digestão anaeróbia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico que fundamenta o trabalho, contendo a exposição ordenada e pormenorizada do assunto. O referencial teórico irá apresentar e discutir os principais temas e os relacionará com os objetivos deste estudo.

2.1 Matriz energética brasileira: caracterização e perspectivas

Atualmente, a garantia de manter o fornecimento de energia tornou-se uma preocupação mundial, impulsionada pelos efeitos de ordem ambiental e social da redução da dependência de combustíveis fósseis, contribuindo pela busca de soluções sustentáveis por meio da geração de energia a partir de fontes limpas e renováveis. O Brasil ocupa posição destacada em função das fontes renováveis existentes na sua matriz energética (PROINFA, 2012).

Conforme o Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2012), em termos de utilização de fontes para produção de energia primária no país, 45,8% são fontes renováveis, sendo a média mundial 14%, e nos países desenvolvidos, de apenas 6% (TABELA 1). Considera-se energia primária os recursos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, lenha, produtos da cana (melaço, caldo de cana, bagaço e palha) e outras fontes primárias, como resíduos vegetais e animais, resíduos industriais, resíduos urbanos, energia solar e eólica (BRASIL, 2007).

Tabela 1 – Representação percentual da produção de energia primária no Brasil

Fontes	2007	2008	2009	2010	2011
Não Renovável	51,3	51,6	53,1	52,6	54,2
Petróleo	40,6	39,7	42,1	42,1	42,4
Gás Natural	8,1	9,0	8,7	9,0	9,3
Carvão Vapor	1,0	1,1	0,9	0,9	0,8
Urânio (U₃O₈)	1,6	1,7	1,7	0,7	1,6
Renovável	48,5	48,4	46,7	47,5	45,8
Energia Hidráulica	14,4	13,4	13,9	13,7	14,3
Lenha	12,8	12,4	10,2	10,3	10,3
Produtos da cana	18,2	19,0	18,8	19,3	16,9
Outras Renováveis	3,0	3,6	3,8	4,3	4,4

Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012, p. 21).

2.1.1 Matriz energética brasileira

A Oferta Interna de Energia (OIE), também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do país (BRASIL, 2007; PROINFA, 2012). Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012), 44,1% da matriz energética provêm de fonte renovável, sendo os derivados da cana os maiores contribuintes, com 15,7% de participação (TABELA 2).

Tabela 2 – Percentual da oferta interna de energia no país

Fontes	2007	2008	2009	2010	2011
Energia não Renovável	54,3	54,1	52,8	54,5	55,9
Petróleo e derivados	37,5	36,6	37,9	37,6	38,6
Gás Natural	9,3	10,3	8,7	10,3	10,2
Carvão Mineral e derivados	6,0	5,8	4,7	5,2	5,6
Urânio (U₃O₈)	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5
Energia Renovável	45,7	45,9	47,2	45,5	44,1
Hidráulica e Eletricidade	14,9	14,0	15,2	14,0	14,7
Lenha e Carvão Vegetal	12,0	11,6	10,1	9,7	9,7
Derivados da cana	15,9	17,0	18,2	17,8	15,7
Outras Renováveis	2,9	3,4	3,8	4,0	4,1

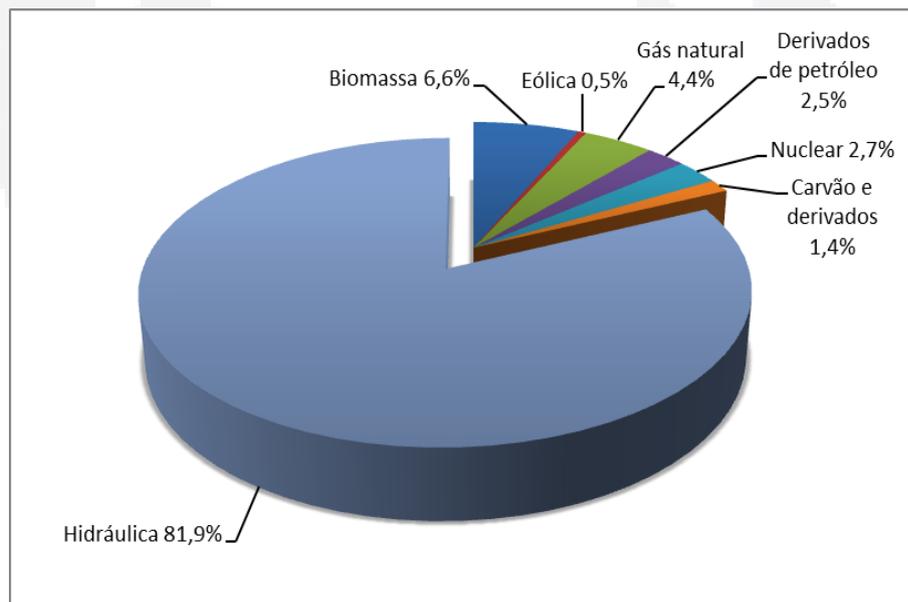
Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012, p. 22).

2.1.2 Geração de energia elétrica

Tratando-se de geração elétrica nacional, a matriz é de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por mais de 74% da oferta. Somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 86% da eletricidade no Brasil são originadas de fontes renováveis, de acordo com a Figura 1 (BRASIL, 2011).

A geração elétrica a partir de combustíveis fósseis representou 18,9% do total nacional, contra 21,4% em 2010. A geração de autoprodutores em 2011 apresentou crescimento de 5,5% com relação ao ano anterior, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas (BRASIL, 2012).

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2011



Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012, p. 16).

O Governo Federal, pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007) criou através da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003 o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento das fontes alternativas de energia através da contratação de eletricidade provenientes de fonte eólicas, solares, biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2011) apontam que aproximadamente 80% do abastecimento mundial de energia poderia ser realizado pelas energias renováveis ainda neste século, se apoiado por políticas públicas. Os resultados de mais de 120 pesquisadores indicam que a penetração crescente de energias renováveis poderia reduzir significativamente a emissão de gases de efeito estufa.

O efeito estufa, muitas vezes confundido com aquecimento global, é um fenômeno natural e necessário, pelo qual parte do calor emitido pela superfície da Terra, em decorrência da incidência dos raios solares, fica retido nas camadas baixas da atmosfera, conservando uma faixa de temperatura adequada para manutenção da vida no planeta. Já o aquecimento global é o resultado da intensificação do efeito estufa natural ocasionado pelo significativo aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, ou seja, gases que absorvem parte do calor que deveria ser dissipado, provocando aumento da temperatura média do planeta (MACEDO, 2009).

O cenário é altamente positivo para as bioenergias, que incluem culturas energéticas, florestas, resíduos agrícolas e pecuários e os chamados biocombustíveis de segunda geração. Embora o relatório conclua que a proporção de energias renováveis irá aumentar muitas vezes o custo de produção é superior aos preços praticados no mercado energético, porém se os impactos ambientais como emissões de poluentes e gases de efeito estufa forem rentabilizados e incluídos nos preços de energia, tecnologias de energia renovável podem se tornar economicamente atraentes (IPCC, 2011).

2.1.3 Potencial energético da biomassa

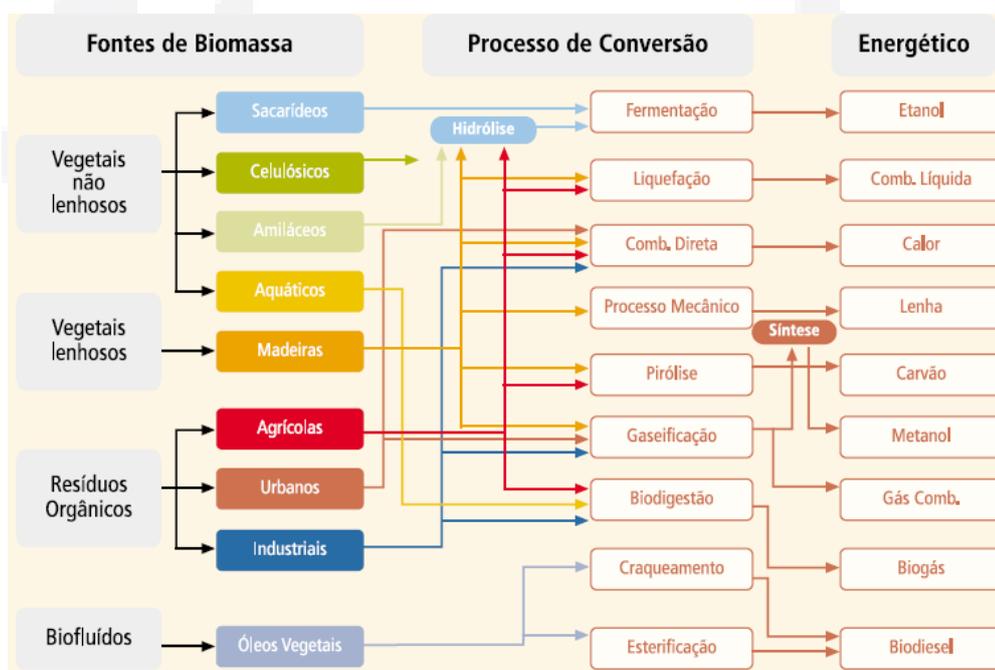
A biomassa é uma das fontes com maior potencial de crescimento nos próximos anos para produção de energia, tanto no mercado internacional quanto no nacional. Ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. A partir dela, pode-se obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição aos derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008).

Uma das principais vantagens da biomassa é o seu aproveitamento direto por meio da combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras. Atualmente, a biomassa vem sendo

largamente utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade de comunidades isoladas da rede elétrica (PROINFA, 2012).

Advogam, Blaschek, Ezeji e Scheffran (2010) que a crescente demanda por bioenergia tem gerado forte interesse na bioconversão de resíduos agrícolas e coprodutos em combustíveis e insumos químicos, evitando o uso de materiais agrícolas diretamente ligados à alimentação. A biomassa especialmente lignocelulósica, tais como palha de milho, fibra de milho, palha de trigo e arroz, papel e resíduos de processamento de madeira, resíduos da paisagem e resíduos da cana de açúcar devem ser priorizados. Algumas das tecnologias a serem utilizadas geram coprodutos como a eletricidade, hidrogênio, amônia e metanol, de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Cadeia da biomassa



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2005, p. 87).

A produção global de biocombustíveis em 2007 foi de 16,4 bilhões de galões por ano. O etanol é atualmente o líquido renovável mais importante nos Estados Unidos, responsável por produzir cerca da metade de etanol do mundo, em comparação com 38% produzidos no Brasil e 4,3% na União Europeia (BLASCHEK; EZEJI; SCHEFFRAN, 2010).

Em 2011 o montante de biodiesel produzido no país atingiu 2.672.760m³ contra 2.386.399m³ do ano anterior. Com isto, verificou-se aumento de 12% no biodiesel disponibilizado no mercado interno. O percentual de biodiesel adicionado compulsoriamente

ao diesel mineral ficou constante em 5%. A principal matéria-prima foi o óleo de soja (81%), seguido do sebo bovino (13%) (BRASIL, 2012).

A utilização ineficiente de biocombustíveis aumenta o consumo de biomassa e está associada tanto à poluição do ar em ambientes fechados quanto à poluição do meio ambiente. Devido à falta de infraestrutura de comercialização dos combustíveis modernos, considerados mais limpos, a substituição dos combustíveis tradicionais tem sido lenta (SANGA, 2004).

As condições naturais e geográficas do Brasil justificam as vantagens na produção e uso da biomassa como recurso energético, quando comparado com outros países. Entre elas, destaca-se a grande quantidade de terra agricultável com características adequadas de solo, condições climáticas, possibilidade de manejar várias culturas anualmente, além da radiação solar que o país recebe durante todo o ano (BRASIL, 2007).

Conforme Deublein e Steinhauser (2008), a biomassa será extremamente importante no fornecimento de energia, levando a mudanças significativas nos hábitos das pessoas e nos métodos de cultivo aplicados hoje. A humanidade será forçada a enfrentar essas mudanças, uma vez que os recursos provenientes de energia fóssil estão se esgotando. Poderá ser possível no futuro remoto, atender a demanda mundial de energia usando somente biomassa.

2.2 Avicultura de postura no Brasil

De acordo com dados da Associação Paulista de Avicultura (APA, 2012), em 2010 o Brasil possuía 809.967 milhares de aves poedeiras. Em termos de consumo de ovos, a média brasileira é considerada baixa se comparada com a população do Brasil e o potencial da avicultura de postura nacional. O consumo anual de ovos *in natura* no Brasil é de 141 ovos por pessoa, enquanto que no México se consomem mais de 360 unidades, seguido pelo Japão e China com consumos anuais de 347 e 310 unidades respectivamente. O Brasil é o sétimo maior produtor de ovos com cerca de 22 bilhões de unidades de ovos anuais (EMBRAPA, 2007).

Nos sistemas automatizados, o distanciamento entre os andares de gaiolas e o solo, presentes no sistema convencional, é substituído por esteiras coletoras automatizadas de dejetos, possibilitando uma estruturação vertical das colunas de gaiolas em maiores números

por galpão. Em sistemas convencionais de produção de ovos, os dejetos permanecem por longos períodos sob as gaiolas até que sejam retirados. No sistema automatizado os dejetos caem por gravidade em esteiras que ficam localizadas sob as gaiolas por onde os dejetos são transportados, apresentando-se fresco, com alta umidade e características originais (AUGUSTO, 2007).

Na avicultura de postura pode-se ter a geração de dois tipos de resíduos, dejetos ou cama. Dejetos de galinhas poedeiras são os resíduos provenientes da criação de aves mantidas em gaiolas suspensas. Nestes dejetos são encontradas fezes, penas, ovos quebrados, restos de ração e larvas de moscas. A cama de poedeiras é uma mistura constituída de substrato (cama), excreção, penas e restos de ração (OLIVEIRA, 1991).

Segundo Lucas Júnior et al. (1998), uma poedeira consome cerca de 110g de ração por dia, ou seja, 40.150g de ração por ano. Considerando-se que a ave excreta cerca de 30% do que consome, tem-se uma produção anual de 12kg de dejetos por ave.

2.2.1 Impacto do dejetos no meio ambiente

Para Nielsen, Al Seadi e Oleskowicz-Popiel (2009), quando não tratado ou mal gerido, o dejetos animal se torna uma importante fonte de poluição do ar e da água. Lixiviação de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, evaporação de amônia e contaminação por agentes patogênicos são algumas das principais ameaças.

Os prejuízos ambientais causados pela falta de tratamento e manejo adequado dos resíduos da produção animal são enormes, poluindo recursos hídricos, solo e ar. Estes resíduos orgânicos quando manejados e reciclados adequadamente deixam de ser poluentes e se tornam insumos para produção agrícola sustentável. É necessário planejar os melhores métodos de tratamento e aproveitamento destes resíduos (CAMPOS, 2001).

O contato destes resíduos com recursos hídricos pode gerar graves problemas ambientais, ocasionando a morte da fauna local, devido à alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO). As contaminações podem alcançar os lençóis freáticos e o solo (ASSENHEIMER, 2007).

2.2.2 Caracterização dos dejetos de Aves

Os dejetos de aves poedeiras diferem-se dos dejetos originários da avicultura de corte principalmente por não apresentarem material absorvente utilizado como cama. Os dejetos de galinhas poedeiras são provenientes da criação de aves mantidas em gaiolas suspensas, por isso não existe a presença da cama. Nesses dejetos, além das dejeções, são encontrados penas, ovos quebrados, restos de ração e larvas de moscas (OLIVEIRA, 1991).

Segundo Steil (2001) os dejetos de poedeiras são constituídos por substratos complexos contendo matéria orgânica particulada e dissolvida como polissacarídeos, lipídios, proteínas, ácidos graxos voláteis, elevado número de componentes inorgânicos, bem como alta concentração de microrganismos patogênicos, todos de interesse na questão ambiental.

O dejetos de galinha é muito rico em nutrientes, pois contém as dejeções sólidas e líquidas misturadas e provem de aves criadas, na maioria das vezes, com rações concentradas. Somando-se os teores de nitrogênio, fósforo e potássio contidos no esterco destas aves e, comparando-os com o total encontrado nas dejeções dos mamíferos, verifica-se que o de galinha é de duas a três vezes mais concentrado em nutrientes (KIEHL, 1985). O teor elevado de nitrogênio no dejetos de poedeiras pode queimar plantações se não for devidamente tratado antes de ser usado como adubo no solo, além de representar um desperdício de material muito valioso do ponto de vista biológico.

Dados referentes à quantidade produzida de dejetos por ave e a sua composição raramente evidenciam se estão expressos com base na matéria natural ou com base na matéria seca e não citam o tempo em que esses dejetos ficaram depositados sob as gaiolas até sua avaliação. Desta forma, são encontrados diferentes valores para o mesmo nutriente em dejetos de galinhas poedeiras.

Caetano (1991) verificou um potencial energético de 0,11 e 0,12m³/kg de dejetos de aves de postura *in natura* submetidos à digestão anaeróbia em biodigestores que operam em forma de batelada.

2.3 Biogás

Biogás é um promissor combustível renovável, composto principalmente por metano (CH₄) (55-70%), dióxido de carbono (30-45%) e traços de outros gases. Pode ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias-primas orgânicas e utilizado para diferentes serviços de energia. Sua produção ocorre quando os microrganismos degradam materiais orgânicos, na ausência de oxigênio, também chamado de digestão anaeróbia (LANTZ et al., 2006; DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

O uso de biogás como fonte de energia renovável reduz a emissão não só dos gases de efeito estufa como o metano e dióxido de carbono, mas também de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (KOMIYAMA et al., 2006).

O potencial energético do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano presente, o que irá determinar o seu valor calórico. A biodigestão pode reduzir o potencial poluente das emissões dos resíduos orgânicos com alto teor de demanda bioquímica de oxigênio, e ao mesmo tempo, produzir metano e gerar como resíduo do processo, um adubo orgânico (SALOMON; LORA, 2009). A Tabela 3 apresenta a equivalência entre o biogás e alguns combustíveis de uso mais comum.

Tabela 3 – Equivalência entre o biogás e alguns outros combustíveis

Combustível	Volume equivalente a 1 m ³ de biogás
Querosene	0,342 L
Lenha	1,450 kg
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,396 L
Óleo diesel	0,358 L
Gasolina	0,312 L

Fonte: Souza, Velloso e Araújo (1981).

Conforme Deublein e Steinhauser (2008), a composição do biogás, no que se refere principalmente à concentração de dióxido de carbono e metano pode ser parcialmente controlada, considerando os seguintes fatores:

- A adição de compostos de hidrocarboneto de cadeia longa, materiais ricos em gordura, pode ajudar a melhorar a qualidade do gás, desde que as quantidades sejam razoáveis para evitar a acidez do processo;

- Geralmente a digestão anaeróbia da biomassa melhora com o aumento do tempo de exposição, porém o teor de metano aumenta desproporcionalmente, especialmente logo que inicia o processo de hidrólise;
- O processo de fermentação ocorre mais rápido se o material do biodigestor for uniforme e homogêneo;
- Quanto maior a temperatura durante o processo de fermentação, mais baixa é a concentração de CO₂ dissolvido em água.

O biogás tem um forte efeito corrosivo, sendo necessários cuidados especiais nos equipamentos. Esta característica é uma consequência da presença de traços de sulfeto de hidrogênio. As substâncias que contêm enxofre, consideradas poluentes do ar, de acordo com os padrões nacionais de qualidade do ar são dióxido de enxofre (SO₂), trióxido de enxofre (SO₃), ácido sulfídrico (H₂S) e sulfatos (SALOMON; LORA, 2009), porém a Resolução N° 3 de 1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990) estabelece limites apenas para SO₂ (padrão primário - 365 mg/m³ e padrão secundário - 100 mg/m³ no prazo de 24 h).

2.3.1 Caracterização do biogás

O biogás é um gás incolor, geralmente inodoro, insolúvel, leve e de fraca densidade, sua composição específica irá depender da qualidade e do tipo de substrato utilizado no processo de produção, o teor de impurezas presentes irá prejudicar na qualidade do gás (HUBER; MAIR, 1998).

De acordo com Cassini (2003) em condições normais, o biogás não é tóxico devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1%), em contrapartida, em razão das impurezas presentes, o metano torna-se corrosivo, atacando equipamentos e canalizações. Para teores acima de 1%, torna-se tóxico e mortal.

Outros gases presentes no biogás não causam problemas em termos de toxicidade ou nocividade. O biogás apresenta poucos riscos de explosão na medida em que sua acumulação se torna difícil (mais leve do que o ar), no entanto, sua baixa densidade faz que ele ocupe um volume significativo e sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em relação ao transporte e utilização (CASSINI, 2003).

Os principais benefícios e desvantagens de se produzir energia a partir de biogás são compartilhados por diversos autores (SALOMON; LORA, 2009; SILVA et al., 2005; ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; SANTOS; LUCAS JÚNIOR; SILVA, 2007).

2.3.1.1 Benefícios

- Produção descentralizada, podendo ser realizada próxima aos locais de consumo;
- Utilização de substratos de fonte renováveis;
- Possibilidade de agregar renda, vendendo a energia gerada a partir do biogás para concessionárias de energia;
- Redução na compra de eletricidade por parte do produtor;
- Possibilidade de utilizar processos de cogeração na produção do biogás;
- Significativa redução das emissões de metano para a atmosfera;
- Redução de odores.

2.3.1.2 Desvantagens

- Necessidade de purificação do biogás;
- Custos elevados de implantação;
- Possibilidade de odor desagradável;
- Culturas exclusivas (monocultura) para produção de biogás.

2.3.2 Metano

O gás metano é o combustível do biogás, portanto, quanto maior for seu teor, mais puro será o gás, e conseqüentemente, maior será seu poder calorífico. O metano pode ser produzido por fontes naturais (pântanos, oceanos, cupins e águas doces), ou ser gerado por ações humanas como plantação de arroz, processo de fermentação, queima de biomassa, uso de combustíveis fósseis e perdas de gás natural (ALVES, 2006; CASSINI, 2003).

A formação de metano é um processo biológico natural que ocorre quando a matéria orgânica (biomassa) decompõe-se na atmosfera úmida, em condições anaeróbicas, porém na presença de um grupo de bactérias metanogênicas ativas. A biomassa que pode ser utilizada no processo de fermentação é denominada de substrato (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Em função das ligações químicas entre os átomos de hidrogênio e carbono, o metano possui um elevado potencial energético (energia química), que ao reagir com oxigênio, libera grande quantidade de calor (energia térmica). É um gás de fácil combustão e por isso, nos locais onde ele é gerado, existe sempre o risco de ocorrer explosões (MACEDO, 2009).

2.3.3 Produção de biogás

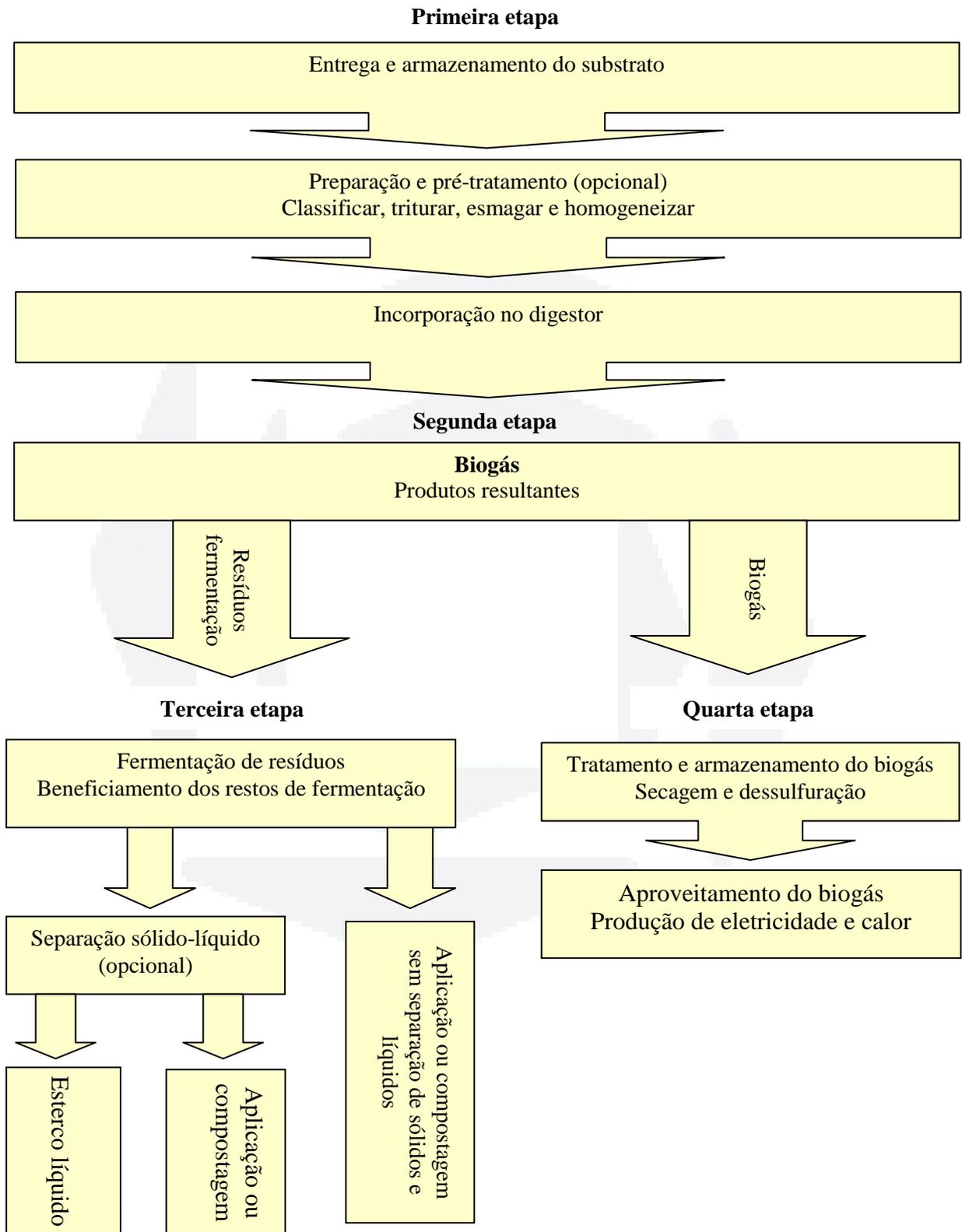
O processo de produção do biogás pode ser dividido em quatro etapas (FIGURA 3).

De acordo com a Agência de Recursos Renováveis (FNR, 2005), inicialmente ocorre a etapa de entrega e armazenamento do substrato para incorporação no biodigestor. Alguns substratos podem exigir um pré-tratamento, como classificação, trituração, esmagamento e homogeneização. A segunda etapa é caracterizada pela produção de biogás, decorrente do processo de fermentação anaeróbia, no qual diferentes grupos de bactérias atuam gerando biogás e resíduos da fermentação.

A terceira etapa envolve o substrato anteriormente digerido no processo de fermentação. Normalmente este resíduo é aplicado com esterco líquido no solo, porém a separação dos resíduos sólidos e líquidos pode ser econômica, e a água separada pode ser usada na trituração e esmagamento ou utilizada como fertilizante líquido, neste caso, a fração sólida necessita de menor volume de armazenamento ou pode ser compostada (FNR, 2005).

Na quarta etapa ocorre o processamento e armazenamento do biogás, que por apresentar característica corrosiva, necessita de tratamento antes de seu aproveitamento na produção de eletricidade e calor. As etapas do processo não são independentes, existindo uma conexão entre a segunda e quarta, uma vez que a quarta fornece o calor necessário para a segunda (FNR, 2005).

Figura 3 – Fluxograma do processo de produção de biogás



Fonte: Adaptado por Backes (2011, p. 24) apud FNR (2005).

2.3.4 Purificação do biogás

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono prejudica o processo de combustão, tornando o biogás menos eficiente, estas substâncias absorvem parte de energia gerada. A maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 a 2% de H₂S, observando-se também a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio. Dependendo da aplicação é recomendável a purificação do biogás removendo o gás sulfídrico, dióxido de carbono e a umidade (ALVES, 2000).

2.3.5 Compressão e armazenamento do biogás

O biogás contendo principalmente metano não pode ser facilmente armazenado e nem liquefeito a pressão e temperatura ambiente. A compressão é melhor no biogás limpo (SALOMON, 2007).

2.3.6 Conversão do biogás

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlado. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. As turbinas a gás e os motores de combustão interna são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética (COELHO et al., 2004).

2.3.7 Utilização de resíduos agrícolas para produção de biogás

O resíduo agrícola tem um grande potencial como matéria-prima na produção de biogás, podendo ser digerido com outros tipos de substratos, geralmente provenientes de indústrias de processamento de alimentos (LANTZ et al., 2006).

O tratamento dos dejetos animais necessita sistemas eficientes e economicamente viáveis. O principal sistema utilizado é a biodigestão anaeróbia, pois além de promover o tratamento e reciclagem dos dejetos, o metano produzido pode ser utilizado como fonte de energia e, deste modo, agregar valor às atividades com a produção do biogás e do biofertilizante, além de diminuir a emissão de dióxido de carbono (ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; LUCAS JÚNIOR, 1994).

Segundo White, Kirk e Graydon (2011), na Europa os sistemas de produção de biogás que utilizam dejetos como substratos já estão largamente difundidos. Além da produção de calor e eletricidade, com base na digestão anaeróbica, os sistemas agrícolas têm muitos outros benefícios para as propriedades rurais, como a produção de adubo orgânico, redução de odores e redução do volume de lixiviado, além do metano, que tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o dióxido de carbono e é destruído através da sua combustão.

2.3.8 Barreiras mundiais para produção de biogás

Na Nigéria concluiu-se que a principal limitação para produção de biogás é o alto custo da implantação (compra de equipamentos), além de faltarem programas de incentivo governamentais. Na Índia, as restrições são relativas à falta de garantia de desempenho em longo prazo, dificuldade de previsões de investimento e a incerteza dos mercados para o consumo de biogás (SALOMON; LORA, 2009).

Na China, identificou-se a necessidade de pesquisa de tecnologia, demonstrando que o elevado investimento de capital em unidades de biogás e sua dependência nas condições locais também são consideradas limitações. A expansão de unidades de produção de biogás na Suécia é limitada pela distribuição e capacidade de armazenamento. Os elevados custos de investimento são as principais barreiras econômicas (SALOMON; LORA, 2009).

2.4 Biodigestor

Trata-se basicamente de uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada anaerobicamente e o biogás resultante é canalizado para ser empregado nos mais diversos fins (BARRERA, 1993).

Nos sistemas em batelada, os biodigestores são preenchidos totalmente uma única vez, os resíduos são adicionados frescos e a adição do inóculo é opcional. Este sistema permite que todas as etapas da digestão anaeróbia ocorram em modo seco, isto é, o teor de sólidos varia entre 30% e 40%. No fim do tratamento, os resíduos já estabilizados são removidos e inicia-se um novo ciclo com a introdução de nova batelada de resíduos (CASSINI, 2003).

A principal característica do sistema em batelada é a clara separação entre a primeira fase, em que a acidificação ocorre muito mais depressa do que a metanogênese, e a segunda fase, em que os ácidos são transformados em biogás (Ibidem, 2003).

A produção de biogás pode ser aumentada utilizando a adição de inóculo nos biodigestores. O inóculo consiste em utilizar parte do material que já passou pelo processo, capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbia (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

2.5 Digestão anaeróbia

Os resíduos orgânicos podem ser estabilizados biologicamente de forma aeróbia ou anaeróbia. Pela via aeróbia, o oxigênio contido no ar é utilizado pelos microrganismos para decomposição da matéria orgânica (ARCURI, 1986).

O processo de digestão anaeróbia consiste na decomposição de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio, tendo como produtos finais metano, dióxido de carbono, amônia, traços de outros gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, ainda passíveis de posterior oxidação (DEMIRER; CHEN, 2005; LEITE, 1997).

Para Côté et al. (2006) a biodigestão anaeróbia pode ser definida como uma complexa interação de diferentes microrganismos que degradam a matéria orgânica presente no resíduo

até a forma final de metano e dióxido de carbono, principalmente. Os nutrientes contidos nos dejetos garantem a sobrevivência e reprodução dos microrganismos presentes durante o processo, permitindo que ocorra a degradação da fração orgânica não estável e, portanto poluente, até a forma estável, o biofertilizante, além de produzir o biogás (ALVAREZ et al., 2007).

Para Leite, Lopes e Prasad (2001) a biodigestão anaeróbia pode ser empregada para o tratamento de uma grande variedade de substratos, dentre os quais se destacam os resíduos sólidos orgânicos. Destes, um percentual médio de 55% (percentagem em peso) é de origem orgânica, passível de fermentação. Para o autor, um quantitativo diário em torno de 50.000 toneladas de matéria orgânica é lançado de maneira irregular, gerando impactos ambientais de diversas magnitudes, razão por que se torna necessário o desenvolvimento de alternativas tecnológicas para o aproveitamento racional destes resíduos.

O processo de digestão anaeróbia é influenciado por fatores como a temperatura, carga orgânica aplicada e presença de materiais tóxicos. Em temperaturas elevadas, as reações biológicas ocorrem com maior velocidade, resultando em maior eficiência do processo. Geralmente o processo anaeróbio desenvolve-se em temperaturas mesófilas (30°C a 45°C) ou termófilas (45°C a 60°C). Quanto à carga orgânica, a digestão anaeróbia suporta variações, principalmente se os reatores encontram-se operando em estado de equilíbrio (CASSINI, 2003).

A composição do substrato influencia diretamente o potencial de degradação do material, por isso, a dieta a que os animais são submetidos é a principal responsável pela grande variação existente entre os potenciais de produção (ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007).

A digestão anaeróbia de dejetos pode oferecer benefícios substanciais, como a geração local de energia, redução de microrganismos patogênicos, produção de fertilizantes de alta qualidade, estabilidade dos dejetos líquidos e sólidos, redução de odores e redução da contaminação de águas superficiais (DEMIRER; CHEN, 2005; ALVAREZ et al., 2007).

Um aspecto particularmente importante para o desempenho da digestão anaeróbia é a relação carbono/nitrogênio (C/N). Dejetos com alto teor de nitrogênio devem ser codigeridos preferencialmente com resíduos que possuem um baixo teor de nitrogênio (ALVAREZ et al., 2007).

A principal desvantagem associada ao uso de digestores anaeróbios para o tratamento de resíduos sólidos refere-se ao longo tempo necessário para bioestabilização do material. Vários estudos têm sido realizados objetivando-se aumentar a taxa de bioestabilização da matéria orgânica e, em sua maioria, lodo de esgoto sanitário tem sido utilizado como inóculo e os resultados têm sido satisfatórios (LEITE; LOPES; PRASAD, 2001).

O biogás obtido a partir de dejetos animais tem sido usado com frequência, principalmente na Europa, em substituição ao gás natural que tem se tornado de difícil obtenção. O elevado custo de implantação do projeto é superado pela eficiência e durabilidade do sistema, tornando em longo prazo o empreendimento econômico. A Índia possui mais de 10.000 biodigestores em operação (LUCAS JÚNIOR, 1994).

De acordo com Paoli et al. (2011), os subprodutos da produção de etanol podem ser utilizados como substratos para produção de biogás. Segundo o autor, o etanol produzido e utilizado no Brasil possui em balanço energético positivo, prevenindo a emissão de dióxido de carbono.

2.5.1 Fases da digestão anaeróbia

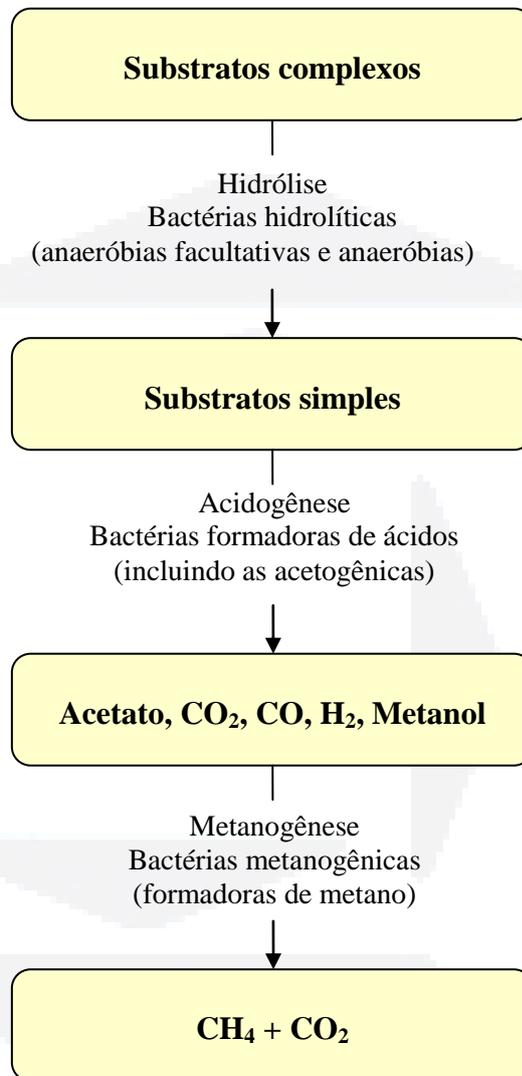
O processo de digestão anaeróbica e consequente produção de metano pode ser divididos em três fases, hidrólise, acidogênese e metanogênese (FIGURA 4). O processo será eficiente se as taxas de degradação de todas as fases forem iguais.

Alguns autores como Barcelos (2009) e Carneiro, Souto e Povinelli (2005) representam a digestão anaeróbia em quatro fases distintas, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O exemplo da figura seguinte considera apenas três fases, caracterizando a acidogênese e acetogênese em uma única fase (acidogênese). A acetogênese é caracterizada pela formação de ácido acético.

A primeira fase, chamada de hidrólise, é a divisão (lise) de um composto com água (hidro). Nesta fase, compostos complexos insolúveis como hidratos de carbono, gorduras e proteínas sofrem hidrólise. Estes compostos são substâncias poliméricas, isto é, grandes moléculas insolúveis compostas por muitas moléculas pequenas unidas por ligações químicas. As pequenas moléculas são solúveis e rapidamente são quebradas.

Bactérias hidrolíticas ou anaeróbias facultativas e anaeróbias são capazes de realizar a hidrólise (GERARDI, 2003).

Figura 4 – Fases da digestão anaeróbia



Fonte: Da autora, adaptado de Gerardi (2003, p. 52).

Na segunda fase, os compostos solúveis produzidos na fase anterior são degradados por uma grande diversidade de microrganismos anaeróbios facultativos e anaeróbios através da fermentação. A fermentação destes compostos resulta na produção de dióxido de carbono, gás hidrogênio, álcoois, ácidos orgânicos, alguns compostos orgânicos de nitrogênio e enxofre (GERARDI, 2003).

Segundo Angelidaki, Ellegaard e Ahring (2003) os produtos da fermentação consistem de aproximadamente 51% de acetato e 19% de hidrogênio, os demais são produtos reduzidos como ácidos graxos, voláteis, álcoois ou lactato.

Na metanogênese, o metano é formado principalmente a partir de acetato, dióxido de carbono e hidrogênio, podendo também partir de alguns compostos orgânicos de acetato. Esta etapa é realizada por bactérias estritamente anaeróbias obrigatórias, conhecidas com *Archaea methanogens* (FERRY, 2003).

Os ácidos, álcoois, e compostos de nitrogênio orgânico que não são degradados na fase metanogênica, irão acumular-se no digestor, desequilibrando o sistema e podendo ocasionar mudanças na produção de biogás e composição do metano, dióxido de carbono, gás de hidrogênio, potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio, redução da demanda química de oxigênio e relação C/N (POULSEN, 2003). Bendixen (1994) indicou que temperaturas termofílicas destroem patógenos, enquanto temperaturas mesofílicas não tem efeito de redução sobre os agentes patogênicos.

Microrganismos acidogênicos e metanogênicos presentes em uma cultura mista anaeróbia divergem não só em termos de nutrientes e requisitos de pH, mas também no que diz respeito à sua fisiologia de crescimento e cinética de absorção de nutrientes e em sua capacidade de tolerar estresses ambientais. Portanto, condições que são favoráveis para o crescimento do formador de bactérias ácidas (baixo tempo de retenção hidráulica e pH baixo) podem ser inibidoras para as bactérias metanogênicas. Além disso, em um digestor de fase única, o pH e a carga orgânica são ajustados para se adequar ao crescimento lento dos organismos metanogênicos em detrimento ao rápido crescimento dos organismos acidogênicos e a eficiência do processo como um todo (DEMIRER; CHEN, 2005).

2.5.2 Inibidores

Caso a primeira fase seja inibida, os substratos para as segunda e terceira fases serão limitados e a produção de metano diminuirá. Se a terceira fase for inibida, os ácidos produzidos na acidogênese serão acumulados. A inibição da terceira fase ocorre devido ao aumento dos ácidos e, conseqüentemente, perda de alcalinidade e diminuição do pH (GERARDI, 2003).

Os principais problemas na digestão anaeróbia ocorrem devido à inibição de bactérias formadoras de metano (metanogênese). Como a digestão anaeróbia contém diferentes grupos de bactérias, estes grupos trabalham em sequência, com os produtos de um grupo servindo como substratos de outro grupo. Portanto, cada grupo está ligado a outros grupos em forma de encadeamento, sendo a produção de acetato e produção de metano os elos mais críticos (GERARDI, 2003).

2.5.3 Fatores que influenciam na produção do biogás

Uma vez que a produção de biogás é realizada por bactérias, os fatores que afetam a sobrevivência das mesmas afetarão diretamente a formação do biogás. Estes fatores devem ser controlados.

2.5.3.1 Impermeabilidade ao ar

O sistema deve ser completamente impermeabilizado, pois as bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias. A decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio irá produzir apenas dióxido de carbono (CASSINI, 2003).

2.5.3.2 Temperatura

Conforme Lucas Júnior (1994), a temperatura exerce influência sobre a velocidade do processo, sendo comum dividi-la em três faixas, a termofílica entre 50°C e 70°C, mesofília entre 20°C e 45°C e a psicofílica, abaixo de 20°C. Segundo ele, é fundamental definir uma temperatura operacional empregada no sistema, pois a taxa de produção de biogás depende da temperatura.

É possível obter biogás operando na faixa termofílica, produzindo maior quantidade de biogás em menos tempo se comparado com a faixa mesofílica, o que resulta em um tempo de retenção hidráulico menor. Apesar do bom desempenho de operação em faixa termofílica, a

maioria dos biodigestores operam em faixa mesofílica, pois não necessitam de custos de aquecimento (LUCAS JÚNIOR, 1994).

2.5.3.3 pH

As bactérias metanogênicas sobrevivem em faixa estreita de pH (6,5 a 8,0), assim, enquanto as bactérias presentes nas fases iniciais da digestão anaeróbia são responsáveis por produzir os ácidos, as metanogênicas os consomem, mantendo o meio neutro (CASSINI, 2003).

2.5.3.4 Teor de água

O teor de água presente no biodigestor deve variar entre 60% e 90% do peso do conteúdo total, tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor da água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação (CASSINI, 2003).

2.5.3.5 Nutrientes

Os principais nutrientes das bactérias são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. A relação específica entre carbono e nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. Os dejetos humanos e de animais são as principais fontes de nitrogênio, enquanto os polímeros presentes no restante das culturas representam o principal fornecedor de carbono. A produção de biogás só é bem sucedida se ambos nutrientes estiverem presentes na relação ideal (CASSINI, 2003).

A produção de metano nos reatores serve como monitoramento do processo, por estar diretamente relacionada à atividade das bactérias metanogênicas, porém esta produção refere-se à demanda bioquímica de oxigênio degradada e não pode ser utilizada como um indicador do desempenho do reator anaeróbico (MICHAUD et al, 2002; MECHICHI; SAYADI, 2005).

2.6 Biodiesel

A energia mundial está baseada em fontes petroquímicas, como carvão, petróleo e gás natural, limitadas pelas reservas concentradas em certas regiões do mundo. A necessidade de disponibilidade de energia somada à poluição causada pelos combustíveis fósseis estimulou o interesse em fontes alternativas de combustíveis. Estas alternativas devem estar prontamente disponíveis, serem tecnicamente viáveis, economicamente competitivas e ambientalmente aceitáveis. Um biocombustível com grande potencial é o biodiesel (MEHER; VIDYA SAGAR; NAIK, 2006).

O biodiesel é um candidato de destaque como combustível alternativo, oferecendo vantagens em relação ao diesel convencional, pois além de ser considerado uma fonte alternativa, possui menores taxas de emissões de CO₂. Na Europa o biodiesel é produzido principalmente pelo óleo de colza, enquanto que na maior parte do mundo, as maiores quantidades de biodiesel são produzidas a partir de óleo de soja (KOLESÁROVÁ et al., 2011).

O biodiesel é formado pela transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais e possui vantagens sobre os combustíveis fósseis, pois além de ser uma fonte renovável, possui balanço energético favorável e suas emissões são menos nocivas (ITO et al., 2005). A molécula de óleo vegetal é formada por três moléculas de ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerina, o que faz dele um triglicídio. O processo para a transformação do óleo vegetal em biodiesel chama-se transesterificação, isto é, a separação da glicerina do óleo vegetal. Durante o processo a glicerina é removida do óleo, deixando o óleo mais fino e reduzindo a viscosidade (BIODIESEL BRASIL, 2012).

Segundo Knothe et al. (2006) a transesterificação ocorre na presença de um catalisador com um álcool. Nessa reação, as moléculas principais dos óleos e gorduras, os chamados triacilgliceróis, são separados em seus componentes ácidos graxos e glicerina. Os ácidos graxos são reagrupados, formando uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel), dependendo do álcool utilizado, e, como coproduto, a glicerina bruta, numa proporção de biodiesel e glicerina de 10:1 (ROBRA, 2006).

Dados do Biodiesel Brasil (2012) afirmam existir no Brasil uma grande diversidade de opções para produção de biodiesel, tais como a palma e o babaçu no norte, a soja, o girassol e

o amendoim nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, e a mamona, que além de ser a melhor opção do semiárido nordestino, apresenta-se também como alternativa às demais regiões do país. Dependendo da origem e da qualidade da matéria-prima, mudanças no processo de produção podem ser necessárias.

O biodiesel é miscível com o diesel em qualquer proporção, sendo utilizado em alguns países misturado ao diesel, porém estas misturas não podem ser caracterizadas como biodiesel (KNOTHE et al., 2006). Além de ser totalmente compatível com o diesel de petróleo em praticamente todas suas propriedades, o biodiesel ainda apresenta vantagens em comparação ao combustível fóssil, são elas:

- É derivado de matérias-primas renováveis de ocorrência natural;
- Diminui a atual dependência sobre os derivados do petróleo;
- É biodegradável;
- Reduz as principais emissões presentes nos gases de exaustão

Em 2010, o Brasil encerrou o ano com uma produção de 2,4 bilhões de litros de biodiesel, aparecendo em segundo lugar em termos de países produtores de biodiesel, atrás apenas da Alemanha. As projeções para 2011 de acordo com a Tabela 4 mostram que em o país deve ocupar a quarta colocação, porém com uma produção maior que a de 2010.

Tabela 4 – Maiores produtores de biodiesel

	2007		2008		2009		2010		2011	
	País	Prod.								
1	Alemanha	3,3	Alemanha	3,2	Alemanha	2,9	Alemanha	2,6	EUA	3,2
2	EUA	1,8	EUA	2,6	França	2,2	Brasil	2,4	Alemanha	3,1
3	França	1,0	França	2,1	EUA	2,0	Argentina	2,1	Argentina	2,6
4	Itália	0,4	Brasil	1,2	Brasil	1,6	França	2	Brasil	2,6
5	Brasil	0,4	Argentina	1,1	Argentina	1,4	EUA	1,2		
6	Malásia	0,4	Itália	0,7	Espanha	1,0	Espanha	1,1		
7	Austria	0,3	Malásia	0,4	Itália	0,8	Itália	0,8		
8	Argentina	0,2	Bélgica	0,3	Malásia	0,5	Indonésia	0,7		
9	Portugal	0,2	Polônia	0,3	Bélgica	0,5	Tailândia	0,6		
10	Espanha	0,2	Portugal	0,3	Polônia	0,4	Outros	0,5		

Fonte: Rodrigues (2012, p. 62).

Como a bioprodução de diesel está crescendo rapidamente a nível global, espera-se um excedente de glicerina bruta. No Brasil, a Lei nº 11.097 de 2005 determina a adição de biodiesel à mistura de combustível, aumentando a produção de biodiesel nos últimos anos. A partir de 2013, a adição de 5% de biodiesel se tornará obrigatória (ROBRA et al., 2010).

2.7 Glicerina

A glicerina é um produto químico, obtido a partir de um processo de transesterificação alcalino ou ácido. Consiste basicamente de glicerina (C_3H_5OH), um álcool de açúcar também conhecido como 1,2,3-propanotriol, e variando nas proporções de impurezas, incluindo ésteres, água, sabão, álcool, catalisador, dependendo da qualidade do óleo vegetal e processo químico utilizado (ROBRA et al., 2010). A glicerina é insolúvel no biodiesel, de modo que sua remoção pode ser facilmente obtida por decantação ou centrifugação, geralmente corresponde a 10,5% do óleo vegetal (KNOTHE et al., 2006).

O termo glicerol aplica-se somente ao componente químico puro. O termo glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados normalmente contendo teor superior a 95% de glicerol (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009).

Há dificuldades em comercializar a grande quantidade de glicerina bruta, devido aos custos elevados, sejam eles de logística, para mover a glicerina até o mercado consumidor, ou pelo processo de refinação exigido pelas indústrias de consumo, fazendo-se com que seja vista como um problema. Surge a necessidade de utilizações práticas para este material, economicamente e ecologicamente viável e, ao mesmo tempo adaptado à realidade brasileira (LÓPEZ et al., 2009).

Calcula-se que para cada 100 litros de biodiesel são produzidos cerca de 10kg de glicerina bruta, fazendo com que a oferta de glicerina cresça rapidamente, o que levanta questões sobre a necessidade de alternativas para o aproveitamento economicamente viável e ambientalmente sustentável deste coproduto da produção do biodiesel, uma vez que o mercado atual da glicerina não poderá absorver esta oferta adicional, mesmo considerando as novas aplicações (ROBRA, 2006).

A produção de adubo orgânico através da compostagem representa uma das alternativas de aproveitamento da glicerina bruta. Para comprovar a digestibilidade da glicerina bruta por microrganismos e otimizar sua utilização, Robra et al. (2003) conduziu um experimento o qual revelou que a compostagem usando glicerina e outros resíduos orgânicos é tecnicamente viável e poderá ser uma alternativa utilizada para o aproveitamento destes produtos como adubo.

No entanto, devido a seu alto teor energético, a compostagem da glicerina deve ser a estratégia utilizada como segunda opção, sendo que o processo de biodigestão possibilita o aproveitamento da energia contida no substrato em forma de biogás, considerada uma opção mais eficiente do ponto de vista econômico e ambiental (ROBRA, 2006). Estudos realizados por Konrad et al. (2010) revelam que a adição de glicerina no decorrer do processo de biodigestão representa um potencial significativo no que se refere à quantidade de biogás gerado.

Robra (2006) argumenta que a glicerina possui composição rica em carbono de fácil degradação, o que favorece sua participação na codigestão anaeróbica em biodigestores, aproveitando resíduos orgânicos disponíveis regionalmente.

2.8 Codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos

O tratamento anaeróbio de glicerina bruta em biodigestores para produção de biogás é uma alternativa para a recuperação do resíduo, uma vez que a glicerina bruta é fonte de carbono. Considerando que a glicerina não dispõe de nitrogênio necessário para formação de massa bacteriana, seu uso como único substrato na biodigestão não é viável. No entanto, a incorporação de glicerina bruta como fonte de carbono para substratos com alto teor de nitrogênio torna-se uma abordagem promissora (ROBRA et al., 2010).

A codigestão dos resíduos com outros substratos pode otimizar o processo da digestão anaeróbia, melhorando em muitos casos a produção do biogás decorrente do efeito sinérgico estabelecido no meio de digestão e da melhoria no balanço de nutrientes (MATA-ALVAREZ; MACÉ; LLABRÉS, 2000).

Amon et al. (2006) avaliou a produção de metano codigerindo glicerina em substratos de dejetos suíno, silagem de milho e colza, observando que a implementação de glicerina elevou a produção de metano, principalmente quando adicionada na concentração de 3 e 6%. O estudo concluiu que para um processo de digestão estável a quantidade de glicerina não deve exceder 6%.

Konrad et al. (2010) estudou o incremento na produção de biogás em função da adição de glicerina residual nos percentuais de 3 e 6% em amostra de lodo de estação de tratamento e analisou quantitativamente o metano produzido. A maior produção de biogás foi obtida na amostra cuja adição de glicerina foi de 3%, conforme Tabela 5. Já na amostra com adição de 6% de glicerina, o acréscimo na geração de biogás foi de 59,2%, se comparado à amostra controle. A percentagem de metano verificada nos experimentos foi satisfatória, chegando a 72% na amostra com adição de 3% de glicerina, inclusive após a adição do produto, o que não ocorreu no experimento com adição de 6% de glicerina, no qual os índices de metano decaíram até cerca de 10%.

Tabela 5 – Produção de biogás e metano

	Produção total de biogás (mL)	Percentual de metano
Controle	2.400 mL	68%
Glicerina 3%	12.920 mL	72%
Glicerina 6%	5.800 mL	61%

Fonte: Konrad et al. (2010).

A produção de biogás e sua composição estão diretamente ligadas ao teor de carga orgânica no biodigestor. A adição de glicerina eleva a carga orgânica no meio, fazendo com que ocorra um aumento imediato na produção de biogás, mas em seguida, uma diminuição repentina pode ocorrer, pois ao elevar o teor de carga orgânica, os microrganismos presentes na biodigestão poderão sofrer um desequilíbrio entre a produção e consumo dos produtos intermediários, acumulando dióxido de carbono, hidrogênio e acetato (ROBRA, 2006; BACKES, 2011).

Robra (2006) avaliou a influência da glicerina bruta quando adicionada em dejetos bovinos para produção de biogás. O estudo baseia-se na adição de glicerina nas proporções de 5, 10 e 15% em peso, comparando os resultados obtidos com um digestor de controle, sem adição de glicerina. Em comparação com os resultados do digestor controle, o teor de metano foi aumentado em 9,5, 14,3 e 14,6%, respectivamente, para as adições de 5, 10 e 15%.

Backes (2011) avaliou o processo de digestão anaeróbia para produção de biogás a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta proveniente da produção de biodiesel, nas concentrações de 3, 6 e 9% e comparou os resultados com o controle (sem adição de glicerina). Em relação aos resultados, o tratamento com 6% teve a maior produção de biogás tanto nos dejetos bovinos de leite quanto aos dejetos suínos, porém os dejetos suínos apresentaram menor produção de biogás.

Robra et al. (2010), abordam que devido as propriedades físico-químicas, a glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel provou ser uma fonte de carbono adequada para produção de biogás em condições mesofílicas, quando adicionada aos dejetos bovinos, um substrato deficiente em carbono e facilmente degradável, resultando na elevação da produção de biogás, e melhorando sua qualidade através do aumento nos teores de metano. De acordo com a autora, a proporção ideal na adição de glicerina bruta com suplemento na produção de biogás é entre 10 e 15% em peso.

Robra et al. (2004) realizou um estudo para avaliar qualitativa e quantitativamente a introdução da glicerina residual como cosubstrato no processo de biodigestão, junto com dejetos bovinos, e seu potencial para produção de biogás em escala laboratorial. Os resultados parciais indicam que a glicerina residual apresenta um alto potencial para uso como suplemento na produção de biogás, quando adicionada na biodigestão de resíduos orgânicos ricos em nitrogênio, como, por exemplo, o dejetos bovinos. A adição de apenas 5% de glicerina residual melhorou o desempenho do biodigestor, aumentando em mais de cinco vezes a produção de biogás e otimizando a capacidade útil do biodigestor.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biorreatores do Centro Universitário UNIVATES, entre os meses de julho e agosto de 2012. O Laboratório está inserido na Unidade de Pesquisa Ciências Ambientais.

3.1 Quantificação de biogás

A metodologia para avaliar a quantidade de biogás gerada foi desenvolvida pelo próprio Laboratório e consiste em conectar as mangueiras dos biodigestores a um sistema de medição de biogás. O sistema é composto por um coletor de biogás constituído por um tubo de vidro em forma de U, um sensor óptico, uma esfera de isopor e um circuito eletrônico que registra e armazena a passagem do biogás pelo sistema (FIGURA 5).

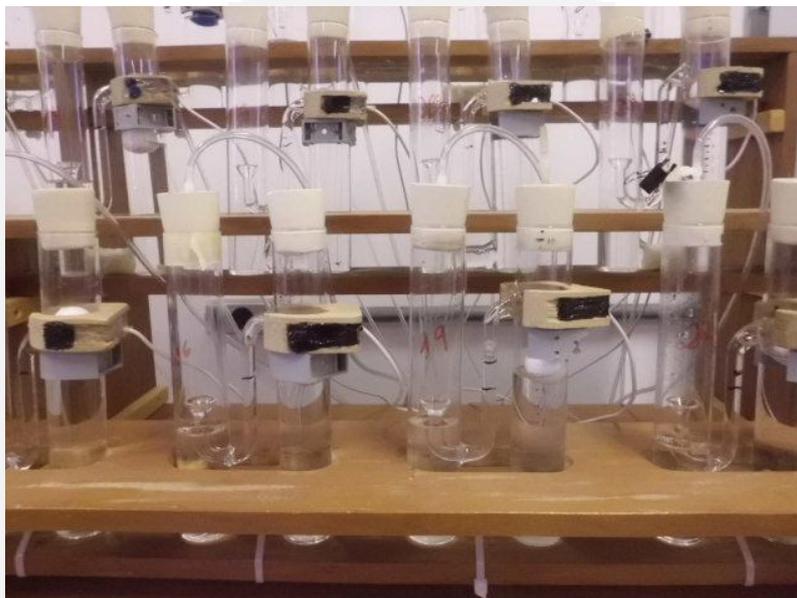
Figura 5 – Reatores na incubadora conectados ao sistema de medição de biogás



Fonte: Autora.

O princípio de funcionamento do dispositivo é o deslocamento de fluidos, sendo a quantificação do biogás realizada quando o mesmo, à medida que enche o tubo em forma de U (FIGURA 6), desloca o fluido nele contido (água) e eleva o nível de fluido no lado oposto, que é detectado por um sensor óptico o qual envia essa informação a um circuito eletrônico (FIGURA 7). O volume de biogás gerado é determinado através da equação combinada dos gases ideais, que descreve que a relação entre temperatura, pressão e o volume de um gás é constante (HALLIDAY et al., 2009).

Figura 6 – Tubo em forma de “U”



Fonte: Autora.

Figura 7 – Circuito eletrônico que quantifica a produção de biogás



Fonte: Autora.

3.2 Teor de metano

Verificou-se o teor de metano presente no biogás através de um sensor específico para a medição de metano em misturas gasosas, denominado Advanced Gasmeter (FIGURA 8), produzido pela empresa PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co. Com o conhecimento do volume de biogás gerado e a percentual do metano, pode-se calcular o volume de metano e outros gases presente no biogás.

Figura 8 – Sensor utilizado para medição de metano presente biogás



Fonte: Autora.

3.3 Preparação do substrato

O substrato utilizado é uma mistura de dejetos de aves poedeiras e material coletado na saída de biodigestor, o sistema de produção de ovos é automatizado e as aves estão acomodadas em gaiolas plásticas. As Figuras 9 e 10 apresentam uma vista geral do sistema.

Figura 9 – Vista geral da distribuição das gaiolas



Fonte: Autora.

Figura 10 – Vista das esteiras que transportam os dejetos das aves



Fonte: Autora.

Após a coleta do substrato, iniciou-se a preparação do experimento, utilizando-se inicialmente 48 reatores de vidro de bancada, com capacidade de um litro cada. Os reatores foram identificados por uma numeração unívoca, após preenchidos com 600 mL de substrato e homogêneos manualmente diariamente.

O processo de homogeneização é importante, pois proporciona o contato total e permanente das bactérias com o substrato, evitando que isso ocorra apenas no ponto de entrada da mistura no digestor, caso a homogeneização não seja feita, podem se formar no interior da mistura microbolhas de gases, principalmente CO₂, que aprisionam grande parte das bactérias, impedindo a atuação das mesmas no processo de degradação (MAGALHÃES, 1986).

Depois de preenchidos, os reatores ficaram armazenados em duas incubadoras bacteriológicas adaptadas para este fim, capazes de manter a temperatura constante de 35°C dentro dos reatores (FIGURA 11). Os reatores possuem uma tampa de polietileno nas quais uma mangueira de silicone permite a saída do biogás produzido

As bactérias produtoras do biogás, principalmente as metanogênicas são altamente sensíveis às mudanças de temperatura. A faixa ideal para produção de biogás é de 35°C a 45°C (bactérias mesófilas). Temperaturas abaixo de 25°C podem inibir o processo de formação de biogás, uma vez que diminuem drasticamente a produção de metano (KALLE et al., 1984).

Figura 11 – Incubadora bacteriológica



Fonte: Autora.

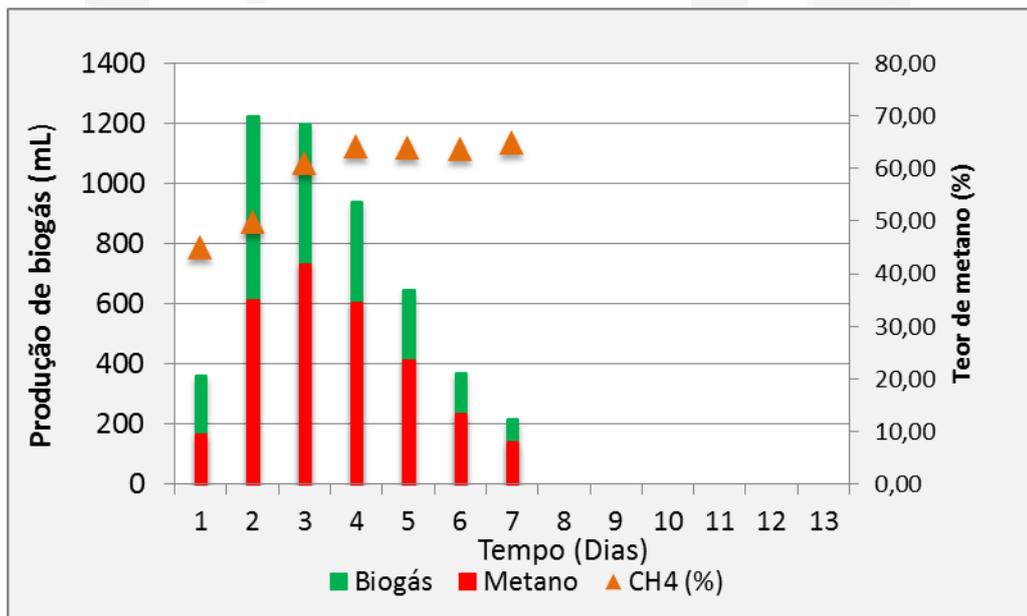
3.4 Produção de biogás e teor de metano presente nas amostras

A produção de biogás e teor de metano presentes nas amostras foi acompanhada diariamente, e transcorridos sete dias de experimento a produção de biogás decaiu, conforme Figura 12. Neste momento, selecionaram-se 16 reatores com produções diárias semelhantes para compor as quadruplicatas que representassem de forma mais homogênea cada grupo de amostras testadas.

O primeiro grupo foi identificado como controle (sem adição de glicerina) e os demais grupos receberam suplementação de glicerina no percentual de 3, 6 e 9%. Estas concentrações foram estipuladas em função de experimentos realizados por Amon et al. (2006) que empregou glicerina nos percentuais de 3 e 6% e por Robra (2006), a qual utilizou glicerina nos percentuais de 5, 10 e 15%.

Conforme Schmitz et al. (2010) os momentos para o acréscimo da glicerina foram determinados em função da geração de biogás, monitorado diariamente, sendo que a medida que houve decréscimo nos valores, a glicerina foi adicionada

Gráfico 1 – Produção de biogás na primeira semana do experimento



Fonte: Autora.

O volume total de glicerina foi fracionado em cinco momentos distintos, e o volume total adicionado em cada reator está apresentado na Tabela 6. A glicerina utilizada é decorrente do processo de produção de biodiesel e doada pela empresa BS Bios.

Tabela 6 – Proporções de substrato e glicerina utilizados

	Controle	3%	6%	9%
Substrato (mL)	600	600	600	600
Glicerina (mL)	0	18	36	54

Fonte: Autora

3.5 Caracterização do substrato utilizado

Para caracterização do substrato, realizaram-se análises de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), segundo Associação Oficial de Química Analítica (AOAC, 1995), carbono de acordo com Standard Methods for Water and Wastewater Examination (1995), nitrogênio segundo Standard Methods (2005) e pH através de pHmetro digital, marca Digimed DM-20. Somente o ensaio de nitrogênio foi realizado pelo Laboratório Unianálises, todos os demais ensaios realizaram-se no Laboratório de Biorreatores.

3.5.1 Sólidos Totais

Os sólidos totais referem-se ao material remanescente após a remoção da água. Já os voláteis referem-se à matéria orgânica presente no resíduo passível de transformação, sendo substratos para as bactérias metanogênicas e responsáveis diretos pela produção de biogás (OLIVEIRA, 2006).

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis foram acondicionadas em cadinhos de porcelana previamente tarados e pesados para se obter o peso úmido do material, e então levadas à estufa sob temperatura de 105°C até atingirem peso constante (período médio de 24 horas). Após este período, os cadinhos foram resfriados em um dessecador e pesados, obtendo-se o peso seco.

3.5.2 Sólidos Voláteis e Sólidos Fixos

O teor de sólidos voláteis totais foi determinado a partir dos materiais secos obtidos na determinação do teor de sólidos totais. O material seco foi levado à mufla e mantido a temperatura de 550 a 600°C, durante um período aproximado de oito horas, em seguida, sofreu resfriamento no dessecador. Os materiais foram pesados, obtendo-se o peso de cinzas.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

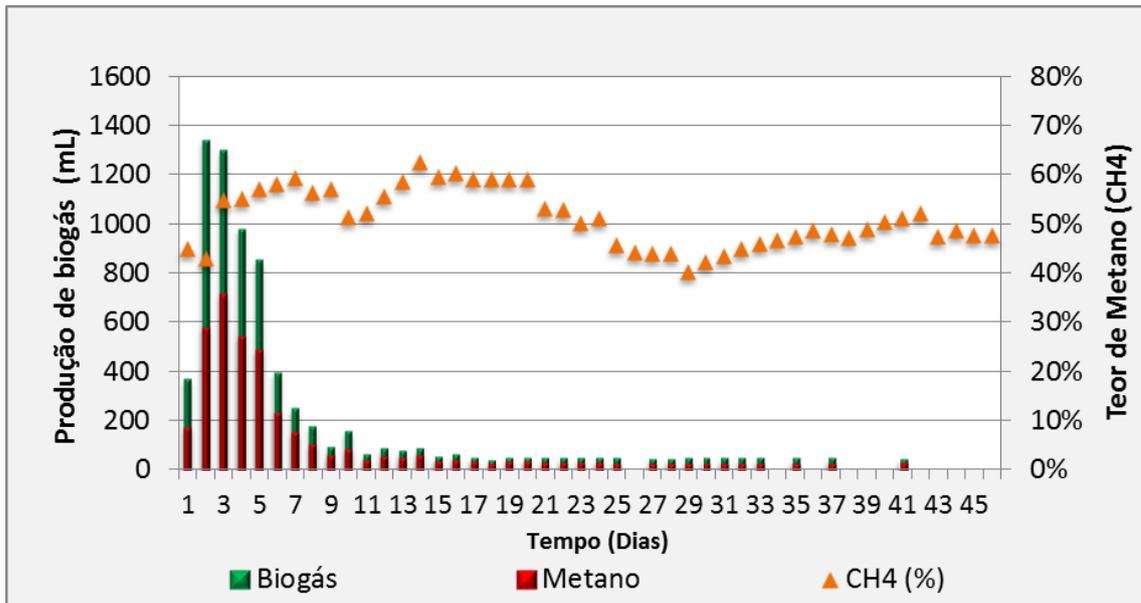
Os resultados obtidos no processo de biodigestão anaeróbia utilizando como substrato dejetos de aves de postura estão apresentados e discutidos a seguir.

4.1 Produção do biogás

A produção de biogás foi acompanhada diariamente durante 55 dias. Os resultados são apresentados em gráficos que consideram a média das quadruplicatas.

O grupo controle apresentou quatro dias de picos de geração de biogás no início do tratamento anaeróbio e queda a partir do quinto dia. A partir do 11º dia as amostras produziram em média 51 mL de biogás por quinze dias, sendo que após o 26º dia, a produção diminuiu e cessou no 41º dia de experimento. A produção total de biogás ao final do processo foi de 7.026 mL (GRÁFICO 2).

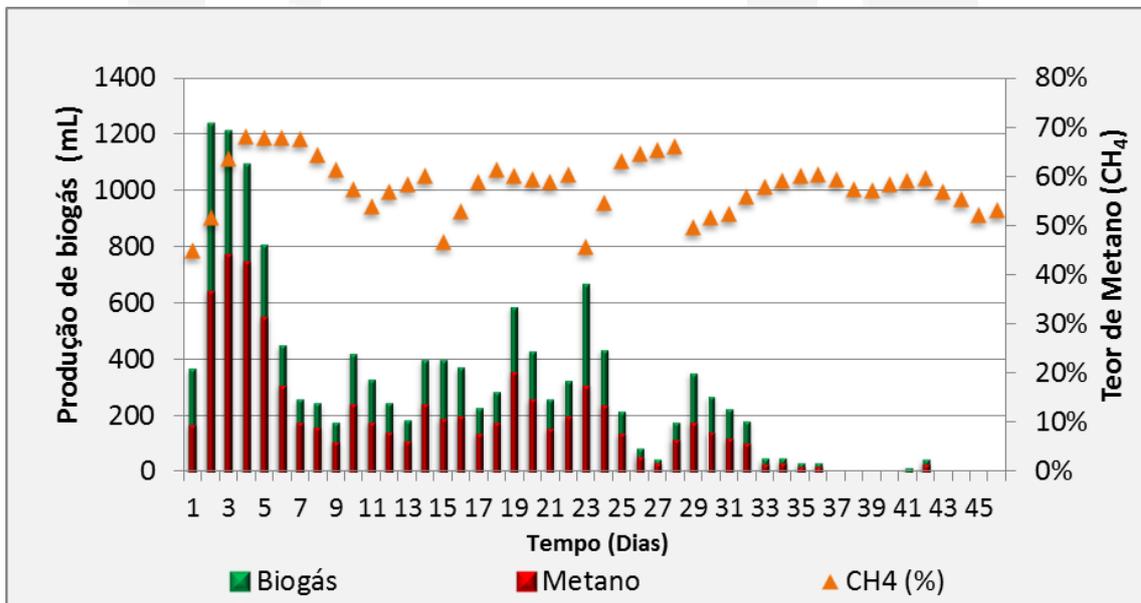
Gráfico 2 – Produção diária de biogás do grupo controle



Fonte: Autora

Conforme Gráfico 3, o tratamento que recebeu 3% de glicerina bruta apresentou comportamento semelhante ao grupo controle, com uma subida brusca na produção de biogás seguido de um rápido declínio

Gráfico 3 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 3% de glicerina

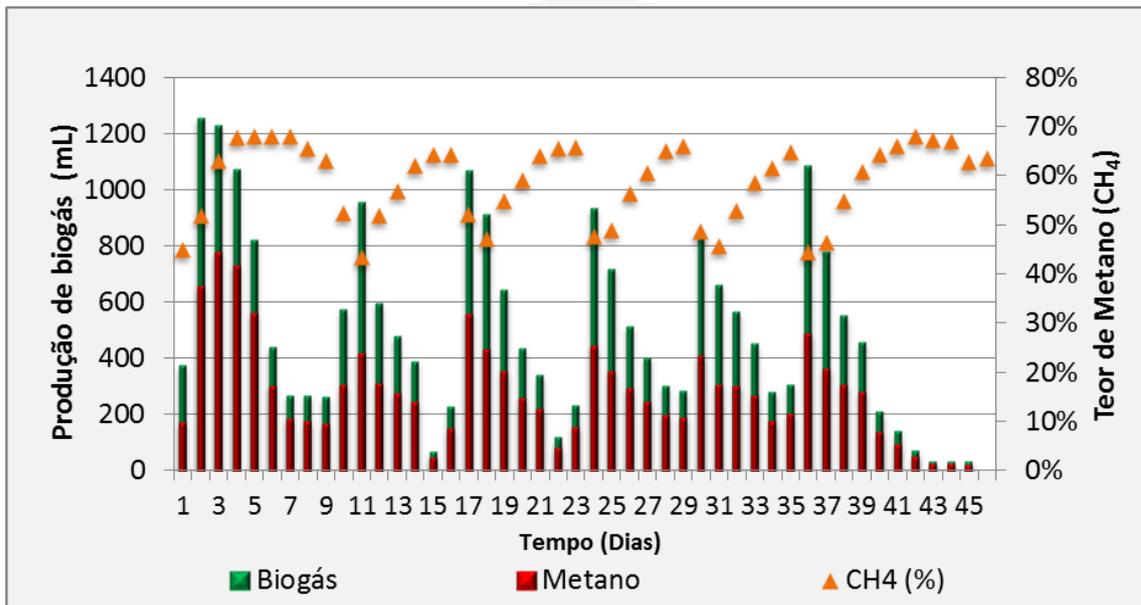


Fonte: Autora

A produção de biogás ocorreu até o 42º dia de teste, gerando uma produção total de 13.116 mL, o que representa um incremento de 86,5% em relação à amostra controle. Os picos de produção de biogás são similares ao grupo controle, ocorrendo no início do processo, entre o 2º e 5º dia.

No Gráfico 4 está representada a produção de biogás resultante da adição de 6% de glicerina, o que resultou em uma produção total de 22.512 mL de biogás, representando 220,4% de incremento em relação à amostra controle. O grupo produziu biogás durante 45 dias de experimento e apresenta comportamento diferenciado, caracterizado por picos de produção, estes picos estão diretamente relacionados com os momentos de suplementação de glicerina.

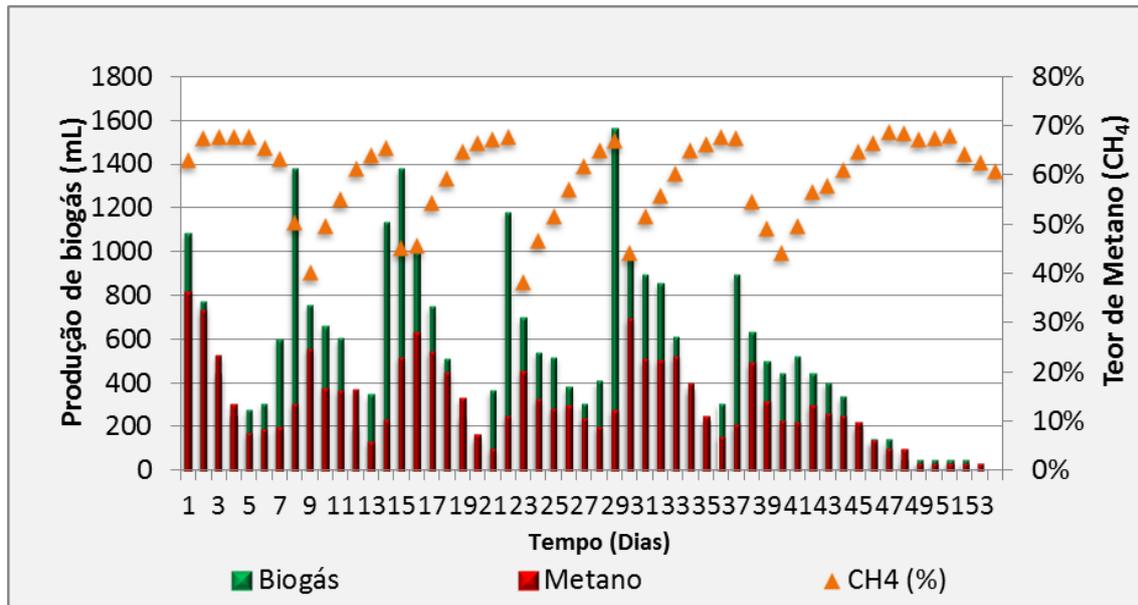
Gráfico 4 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 6% de glicerina



Fonte: Autora

O tratamento submetido à suplementação de 9% de glicerina teve tempo de retenção hidráulica de 55 dias e apresentou uma produção total de biogás de 30.562 mL, representando 335,0 % de incremento em comparação à amostra controle. O gráfico é semelhante ao grupo com adição de 6% de glicerina, podendo-se visualizar com clareza os picos de produção de biogás logo após a adição de glicerina bruta (GRÁFICO 5).

Gráfico 5 – Produção diária de biogás do grupo com adição de 9% de glicerina



De acordo com a Tabela 7, todos os grupos apresentaram na primeira semana uma produção média de biogás muito semelhante, isso ocorre, pois neste período todas as quadruplicatas estavam operando sem adição de glicerina. A partir da segunda semana iniciaram-se as suplementações de glicerina bruta e a produção semanal de biogás difere entre os grupos testados.

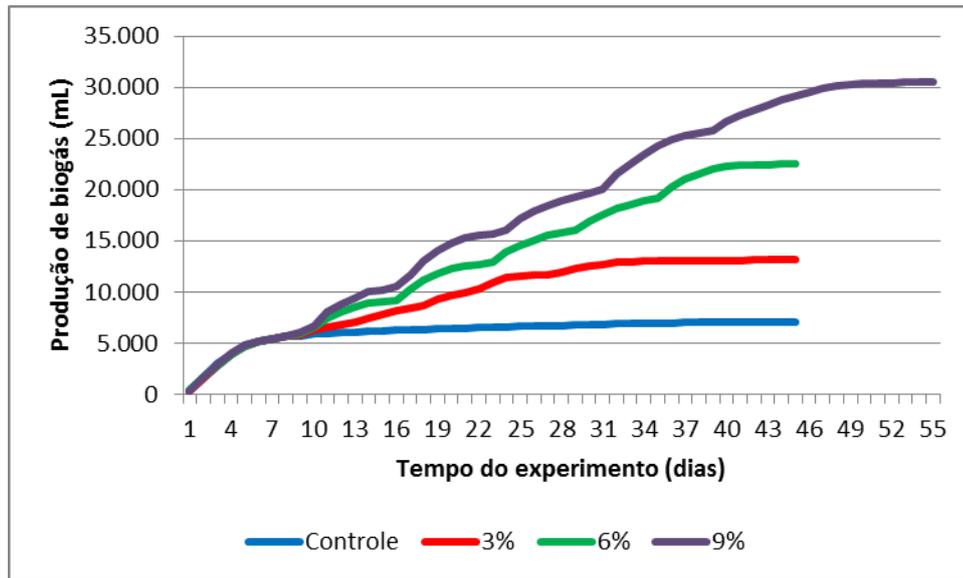
Tabela 7 – Produções médias semanais de biogás obtidas nas quadruplicatas

Dias	Controle (m ³)	Glicerina 3% (m ³)	Glicerina 6% (m ³)	Glicerina 9% (m ³)
7	5,46	5,43	5,44	5,44
14	0,70	1,98	3,50	4,55
21	0,31	2,55	3,67	5,28
28	0,24	1,93	3,19	3,65
35	0,24	1,14	3,36	5,35
42	0,08	0,08	3,27	3,50
49	-	-	0,08	2,44
56	-	-	-	0,33

Fonte: Autora

A comparação acumulada entre as quantidades de biogás geradas pelo controle e pelos três grupos com adição de glicerina encontram-se no Gráfico 6.

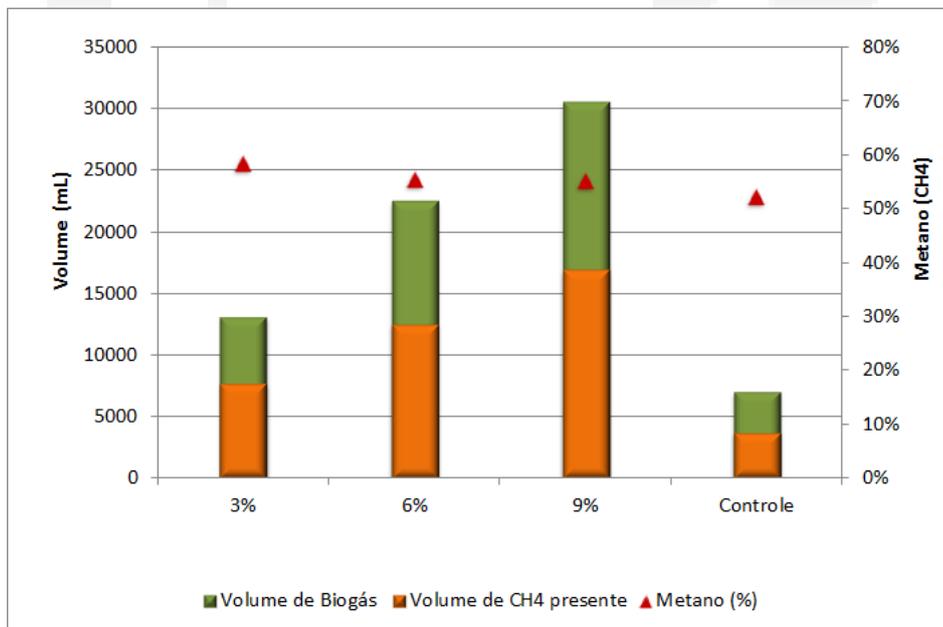
Gráfico 6 – Comparação entre os tratamentos aplicados e a produção de biogás



Fonte: Autora.

O Gráfico 7 demonstra que o grupo com suplementação de 9% de glicerina produziu maior quantidade de biogás, porém o percentual de metano presente é maior no grupo com suplementação de 3% de glicerina.

Gráfico 7 – Comparação do volume de biogás produzido e o teor de metano



Fonte: Autora.

Robra (2006) suplementou dejetos bovinos com glicerina bruta e atingiu um incremento de 207% na produção de biogás em comparação ao controle, com adições de 5 e 10%.

O melhor desempenho do tratamento com 9% de glicerina se deve ao alto teor energético contido na glicerina. A mudança e o aumento da alimentação dos biodigestores (aumento da carga orgânica) caracterizados pela adição de glicerina bruta resultou em uma maior produção de biogás. O grupo com 6% de glicerina correspondeu à expectativa, resultando em produções próximas ao grupo com 9%. O rendimento menor da produção de biogás no tratamento com 3% se deve ao menor percentual de glicerina adicionada.

Assim como Robra (2006), percebe-se em todos os gráficos que, com elevado teor de glicerina no substrato, há uma tendência para variação mais ampla dos valores mínimos e máximos, nos três tratamentos.

O percentual de glicerina adicionado foi dividido em cinco aplicações, as quais ocorreram à medida que se observava um decréscimo na produção de biogás (TABELA 8).

Tabela 8 – Momento de adição de glicerina e volume adicionado nos reatores

	Glicerina 3%	Glicerina 6%	Glicerina 9%
1ª adição	8º dia – 3,6 mL	8º dia – 7,2 mL	8º dia – 10,8 mL
2ª adição	14º dia – 3,6 mL	16º dia – 7,2 mL	16º dia – 10,8 mL
3ª adição	18º dia - 3,6 mL	23º dia – 7,2 mL	24º dia – 10,8 mL
4ª adição	22º dia - 3,6 mL	29º dia – 7,2 mL	31º dia – 10,8 mL
5ª adição	28º dia - 3,6 mL	35º dia – 7,2 mL	39º dia – 10,8 mL

Fonte: Autora.

A primeira adição de glicerina que ocorreu no 8º dia de experimento, gerou em todas as quadruplicatas um incremento na produção de biogás no segundo dia após a aplicação. Nota-se que logo após a suplementação, ocorre uma queda do percentual de metano em todos os tratamentos.

A segunda suplementação de glicerina ocorreu seis dias após a primeira para o tratamento com 3% de glicerina e oito dias para os tratamentos com 6 e 9% de suplementação, e apresentou volumes de biogás e de metano superiores aos da primeira aplicação, com exceção ao tratamento com 3% de glicerina, o qual apresentou teor de metano inferior ao obtido na primeira adição.

No dia seguinte a segunda suplementação, obteve-se um acréscimo de 373 e 232% nos tratamentos com 6 e 9% de glicerina respectivamente. Já o tratamento com 3% de glicerina não apresentou aumento na produção.

O volume de biogás aumentou no dia posterior a terceira suplementação, gerando acréscimo de 7% para os tratamentos com 3 e 6% de glicerina e 286% no tratamento com 9%. A quarta suplementação resultou no dia seguinte um acréscimo na produção de biogás de 106, 196 e 288% para os tratamentos com 3, 6 e 9% de glicerina respectivamente.

A quadruplicata com 9% teve seu pico de produção de biogás no 32º dia de experimento, dia posterior à terceira suplementação, produzindo 1.560,54 mL de biogás. A partir do 47º dia teve seu rendimento diminuído, porém continuou produzindo biogás todos os dias, até o final do experimento.

Os tratamentos com 3 e 6% de glicerina e o controle produziram maior volume de biogás no segundo dia de experimento, resultando em uma produção diária de 1.240,71, 1.252,15 e 1.337,00 mL de biogás respectivamente.

Realizou-se análise estatística dos resultados obtidos através da análise de variância (ANOVA) pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott ($P < 0,05$). Na análise da Tabela 9 foram considerados quatro tratamentos de quatro repetições para cada um deles, sendo feitas, portanto, 16 observações. Nota-se que houve diferença significativa na produção de biogás entre os diferentes percentuais de adição de glicerina quando comparados ao grupo controle, além de apresentarem diferenças na produção entre si.

Tabela 9 – Análise de variância da produção de biogás das quadruplicatas

Tratamentos	Médias	Resultados
Controle	6725.520000	a1
3% Glicerina	12649.062500	a2
6% Glicerina	21727.975000	a3
9% Glicerina	27840.727500	a4

Fonte: Autora.

Nota: Na coluna “Resultados”, letras seguidas pelo mesmo número não diferem entre si.

Média harmônica do número de repetições (r): 4

Erro padrão: 1341,11632374991

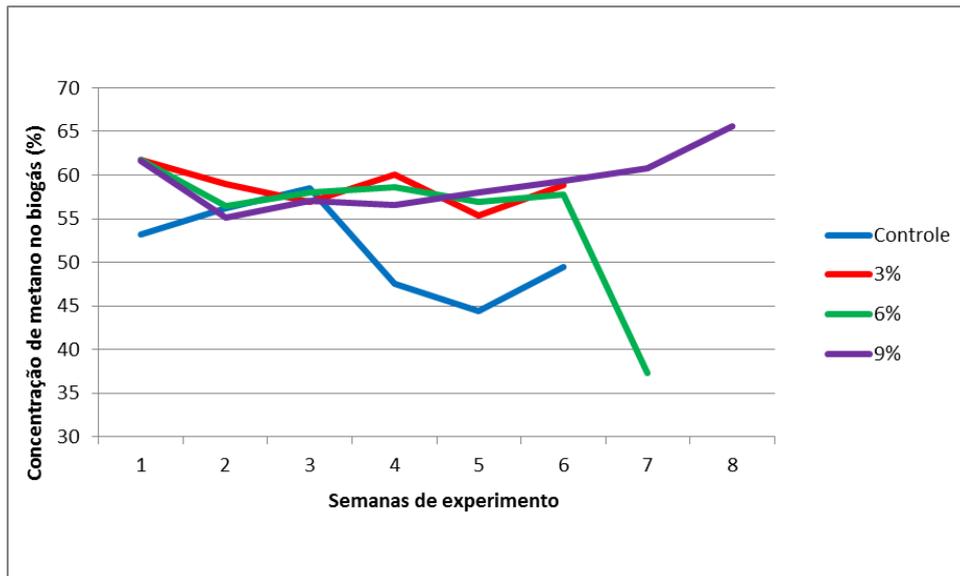
4.2 Composição do biogás

O grupo controle apresentou níveis de metano entre 40 e 62%, sendo que a terceira semana de experimento apresentou as maiores médias, já para o tratamento com adição de 3% de glicerina, os valores para o metano variaram de 45 a 68%. O percentual para o tratamento

com 6% de adição gerou índices de metano entre 44 e 68%, para o grupo com 9% de glicerina, o teor de metano chegou em 69%, sendo o menor percentual encontrado de 39%.

A análise de teor de metano foi realizada diariamente. O Gráfico 8 apresenta o teor médio semanal de metano presente no biogás.

Gráfico 8 – Teor médio semanal de metano presente no biogás produzido



Fonte: Autora.

Os grupos com adição de glicerina de 3 e 6% apresentaram maior média semanal de metano na primeira semana de experimento, enquanto o grupo com 9% apresentou na última semana. Quanto ao volume de metano gerado, o grupo controle produziu 3.678 mL, já os grupos com 3, 6 e 9% de glicerina produziram 7.679, 12.505 e 16.880 mL respectivamente, o que resulta em um incremento de 209, 340 e 459% para 3, 6 e 9% de suplementação de glicerina.

A produção de biogás e sua composição estão diretamente ligadas ao teor de carga orgânica no biodigestor. A adição de glicerina eleva a carga orgânica no meio, fazendo com que ocorra um aumento imediato na produção de biogás, mas em seguida, uma diminuição repentina pode ocorrer, pois ao elevar o teor de carga orgânica, os microrganismos presentes na biodigestão poderão sofrer um desequilíbrio entre a produção e consumo dos produtos intermediários (ROBRA, 2006; BACKES, 2011).

Segundo Pérez (2007) os microrganismos metanogênicos são altamente sensíveis às perturbações do processo como sobrecargas orgânicas e hidráulicas, assim como presença de

substâncias tóxicas ou inibidoras. Para Aquino et al. (2005), o acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em biogigestores anaeróbicos, neste caso a glicerina, resulta em um desequilíbrio cinético entre os microrganismos.

De acordo com Wang et al. (2009) a redução da geração de metano logo após a adição de glicerina estaria diretamente relacionada com a concentração de ácido propiônico, visto que este ácido possui atividade de inibição junto as bactérias metanogênicas. A explicação segundo o autor e Kalle et al. (1984) estaria na concepção de que as bactérias presentes na hidrólise e na acidogênese seriam completamente diferentes das presentes na fase metanogênica, sendo muito difícil manter uma harmonia no reator já que suas necessidades são completamente distintas, uma vez instaurado o desequilíbrio, o processo de metanogênese será interrompido e a produção de metano diminuirá drasticamente.

Ao final do processo, o melhor percentual de metano obtido nas amostras receptoras de glicerina foi do grupo com suplementação de 9%, alcançando o teor máximo de 69%. O teor máximo da amostra controle foi de 62%. O teor médio de metano entre as quadruplicatas que receberam suplementação de glicerina ficou muito próximo, variando apenas 0,5% entre os grupos, porém quando comparadas com a quadruplicata controle, o teor médio aumentou 13,8, 14,4 e 14,8% para as quadruplicatas com 3, 6 e 9% de glicerina. Estes aumentos são semelhantes aos encontrados por Robra (2006), a qual teve incrementos de 9,5, 14,3 e 14,6%, para suplementação com 5, 10 e 15% de glicerina.

4.3 Análises físico-químicas

O pH é um termo usado para expressar as condições de acidez ou alcalinidade de um meio através da medida da concentração do íon H^+ . Nos processos anaeróbios o valor ideal situa-se na faixa de 6,5 a 7,5 (LOPES et al., 2000). Nota-se que o pH atingiu valores superior ao indicado após o processo de biogigestão. Segundo Kubiak et al. (1985), valores acima de 8,0 podem indicar a formação de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio e de amoníaco.

A alcalinidade nos processos anaeróbios pode ser devida a presença do sistema carbono (alcalinidade a bicarbonato) ou a presença dos ácidos graxos voláteis. No entanto, apenas a alcalinidade a bicarbonatos é que realmente atua como tampão durante o processo (LOPES et al. 2000).

Na Tabela 10 estão representados os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados antes e após o processo de digestão anaeróbia.

Tabela 10 – Resultados dos parâmetros analisados antes e após digestão anaeróbia

Parâmetros	Após digestão anaeróbia				
	Antes	Controle	3%	6%	9%
pH	7,69	9,01	9,03	9,11	8,17
Sólidos totais (%)	5,43	3,65	4,54	4,86	5,53
Sólidos voláteis (%)	63,84	52,16	52,19	50,25	49,85
Sólidos fixos (%)	36,15	47,83	47,80	49,74	50,15
Carbono (C) (%)	39,59	38,39	40,92	39,54	38,62
Nitrogênio (N) (%)	6,59	8,73	7,19	8,47	7,19
C/N	6:1	4,39:1	5,69:1	4,66:1	5,37:1

Fonte: Autora.

Um aspecto particularmente importante para o desempenho da digestão anaeróbia é a relação carbono/nitrogênio (C/N). Dejetos com alto teor de nitrogênio devem ser codigeridos preferencialmente com resíduos que possuem um baixo teor de nitrogênio (ALVAREZ et al., 2007). A relação C/N ideal é de 30:1, portanto, as obtidas no experimento estavam desbalanceadas (ZHANG et al., 2008).

4.3.1 Teores de sólidos totais e sólidos voláteis

O teor de sólidos totais reduziu para quase todos os grupos analisados após o processo de biodigestão anaeróbia, sendo que o grupo controle apresentou maior redução, chegando a cerca de 33%. Os grupos com suplementação de 3 e 6% de glicerina reduziram o teor em 16 e 10% respectivamente, enquanto o grupo com suplementação de glicerina com 9% aumentou o teor de sólidos em 2% (TABELA 11).

Tabela 11 – Redução de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) comparados com o substrato antes do tratamento

Tratamento	ST (%)		SV (%)		Redução de	
	Inicial	Final	Inicial	Final	ST (%)	SV (%)
Controle	5,43	3,65	63,84	52,16	32,78	18,30

Glicerina 3%	4,54	52,19	16,39	18,25
Glicerina 6%	4,86	50,25	10,50	21,29
Glicerina 9%	5,53	49,85	-	21,91

Fonte: Autora

Quanto ao teor de sólidos voláteis, o grupo com suplementação de glicerina 9% apresentou maior redução com cerca de 22%. Os demais grupos apresentaram reduções próximas, sendo as menores reduções para os grupos controle e com 3% de glicerina, ambos com 18% de redução.

5 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que a utilização de glicerina bruta como cosubstrato na digestão anaeróbia de dejetos de aves de postura proporcionou um incremento na produção de biogás e teor de metano gerado em todas as proporções testadas.

Verificou-se melhor desempenho na produção de biogás na amostra cuja adição de glicerina foi de 9%, a qual apresentou um incremento de 335% em relação à amostra controle. A amostra com adição de 6% de glicerina também teve bom desempenho, aumentando 220% a produção de biogás se comparada à quadruplicata controle. Já a amostra com 3% de glicerina resultou em 86,5%.

Observou-se de acordo com o Gráfico 7, que o grupo com 3% de glicerina apresentou percentualmente melhores índices de metano no biogás, 58,55%, o que resulta em 7.679,43mL de metano. No entanto o grupo com suplementação de 9% apresentou menor percentual de biogás, 55,23%, porém devido ao maior volume de biogás gerado, este percentual resultou em 16.880,04mL de metano.

As concentrações de AGVs no bioreator resultaram na hipótese de que a inibição da formação de metano foi provocada por aumento da concentração de ácidos propiônico e butírico. As grandes quantidades destes ácidos foram construídas durante a decomposição de metanol. Acumulações de AGVs refletem um desacoplamento cinético entre produtores e consumidores de ácido e é típico de situações de estresse.

Os resultados da produção de biogás foram avaliados e comparados com informações e dados de outras pesquisas. Uma das limitações encontradas, neste caso, foi a ampla variedade de tipos de biodigestores, composição de substratos e concentrações de glicerina encontrados na bibliografia. Com exceção de alguns estudos que utilizaram dejetos de suínos e bovinos suplementados com glicerina bruta, não foram encontradas na literatura, publicações científicas sobre o uso da glicerina bruta como suplemento na biodigestão de dejetos de aves de postura.



REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste**. *Renewable Energy*, v. 33, n. 2, p. 726-734, 2007.
- ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. Dissertação (Mestrado), Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo Escola Politécnica, Instituto de Física, Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Eletrotécnica e Energia. São Paulo, 2000.
- ALVES, J. W. S. (resp.). **Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil**. CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.
- AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W. **Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy system and glycerine supplementation**. *International Congress Series*, v. 1293, p. 217-220, 2006.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2005.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008.
- ANGELIDAKI, I.; ELLEGAARD, L.; AHRING, B. K. **Applications of the anaerobic digestion process**. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, v. 82, Ed. T.Scheper, 2003.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 6. ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- APA. Associação Paulista de Avicultura. **Mercado de ovos atual**. Disponível em: <http://www.apa.com.br/apa_estatisticas.php>. Acesso em: 04 nov. 2012.
- AQUINO, S. F.; CHERNICARO, C. A. L. **Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 152-161, 2005.

ARCURI, P. B. **Efeito da temperatura ambiental na produção e na qualidade do biogas em biodigestores modelo indiano na Zona da Mata de Minas Gerais**. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1986.

ASSENHEIMER, A. **Tratamento de dejetos bovinos em sistema intensivo de produção de leite com aeração mecânica**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2007.

AUGUSTO, K. V.Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2007.

BACKES, M. G. **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). Curso de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

BARCELOS, B. R. de. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. Dissertação (Mestrado). Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BARRERA, P. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1993.

BENDIXEN, H. J. **Safeguards against pathogens in Danish biogas plants**. Water Sci. Tech. n. 30, p. 171–180, 1994.

BIODIESEL BRASIL. **Biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/brasil/biodiesel-brasil.htm>>. Acesso em: 1º mai. 2012.

BLASCHEK, H. P.; EZEJI, T. C.; SCHEFFRAN, J. **Biofuels from Agricultural Waste and Byproducts**. Ed. Wiley-Blackwell, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2012: Ano base 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2012 .

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011 .

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, 29 abr. 2002. Seção 1, p. 2.

BRASIL. **Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, 12 nov. 2003. Seção 1, p. 127.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, 14 jan. 2005. Seção 1, p. 8.

CAETANO, L. **Metodologia para estimativa da produção contínua de biogás em biodigestores modelo indiano**. Tese (Doutorado – Energia na Agricultura) - FCA/UNESP, 112p, Botucatu, 1991.

CAMPOS, A. T. **Tratamento e manejo de dejetos bovinos**. Instrução Técnica para o produtor de leite- Embrapa. n. 52. ISSN nº 1518-3254, Juiz de Fora, 2001.

CARNEIRO, P. H.; SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. **Digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em sistema de duas fases utilizando mistura de percolado de aterro sanitário e lodo anaeróbio como inóculo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, n. 23, p. 18-23, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2005.

CASSINI, T. S. (Coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D.; FRANSON M. A. H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 19. ed. 2005.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 21. ed. 2005.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S.; COSTA, D. F.; BASAGLIA, F.; BACIC, A. C. K. **Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto**. UNICAMP, 2004.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990**. Padrões de qualidade do ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CÔTÉ, C.; MASSE, D. I.; QUESSY, S. **Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries**. Bioresource Technology, v. 97, p. 686-691, 2006.

DEMIRER, G. N.; CHEN, S. **Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure**. Process Biochemistry, v. 40, n. 11, p. 3.542-3.549, 2005.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Ed. Wiley-VCH, 2008.

EINSTEIN, A. Pensador. **Frases de Albert Einstein**. Disponível em: <http://pensador.uol.com.br/frases_de_albert_einstein/>. Acesso em: 13 nov. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agripecuária. **Embrapa Meio-Norte: Sistemas de Produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ave/SistemaAlternativoCriacaoGalinhaCaipira/Mercado.htm>>. Acesso em: 04 nov. 2012.

FERRY, J. G. **One-carbon metabolism in methanogenic anaerobes**. In Biochemistry and Physiology of anaerobic bacteria. p. 143-156. New York: Springer-Verlang, 2003.

FNR. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Handreichung, Biogasgewinnung und –nutzung**. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, 2006.

GERARDI, M. H. **The Microbiology of Anaerobic Digesters**. Nova Jersey: Wiley Interscience, 2003.

GOLDEMBERG, J. **Potencialidades da energia solar no Brasil**. Scientific American Brasil. v. 6, n. 69, p. 44-45, São Paulo, 2008.

GOMES, F. O. C; CAPPI, N. **Redução de sólidos em biodigestores abastecidos com dejetos de aves alimentadas com milho em diferentes granulometrias**. In: Encontro de Iniciação Científica – ENIC. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, v. 1, n.1 (2), 2010, Dourados. **Anais...** Dourados, 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; VICHI, F. M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

HUBER, S.; MAIR, K. **Untersuchung der Biogaszusammensetzung bei Anlagen aus der Landwirtschaft/Energetische Nutzung von Biogas aus der Landwirtschaft**, 1998.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **The IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. 2011. Disponível em: <<http://srren.ipcc-wg3.de/ipcc-srren-generic-presentation-1>>. Acesso em: 27 abr. 2012.

ITO, T.; NAKASHIMADA, Y.; SENBA, K.; MATSUI, T.; NISHION, N. **Hydrogen and ethanol production from glycerol-containing wastes discharged after biodiesel manufacturing process**. Journal of Bioscience and Bioengineering. v. 100, n. 3, p. 260-265, 2005

KALLE, G. P.; MENON, K. K. G. **Inhibition of methanogenesis and its reversal during biogas formation from cattle manure**. Journal of Biosciences, v. 6, n. 3, p. 315 –324, Bombay, 1984.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3. ed. Piracicaba, 2002.

KNOTHE, G.; GERPEN, J.V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. **Manual de Biodiesel**. Ed. Edgard Blücher. 1. ed. São Paulo, 2006.

KOLESÁROVÁ, N.; HUTNAN, M.; BODÍK, I.; SPALKOVÁ, V. **Utilization of Biodiesel By-Products for Biogas Production**. Journal of Biomedicine and Biotechnology, v. 2011, Article ID 126798, 2011.

KOMIYAMA, M.; MISONOU, T.; TAKEUCHI, S.; UMETSU, K.; TAKAHASHI, J. **Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel.** International Congress Series, 1293, p. 234-237, 2006.

KONRAD, O.; HEBERLE, A. N. A.; CASARIL, C. E.; KAUFMANN, G. V.; LUMI, M.; DALL'OGGIO, M.; SCHMITZ, M. **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, ano 2, n. 4, Cetec/Univates, 2010.

KUBIAK, C.; DUBUIS, T. **Valorização dos dejetos e dos efluentes agrícolas, industriais e domésticos.** In: SCRIBAN, R. (coord.). Biotecnologia. p. 401-426, São Paulo, 1985.

LANTZ, M.; SVENSSON, M.; BJÖRNSSON, L.; BÖRJESSON, P. **The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden: Incentives, barriers and potentials.** Energy Policy, 35, p. 1830-1843, 2006.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; PRASAD, S. **Bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em reatores de batelada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 119-123, Campina Grande, 2001.

LEITE, V. D. **Processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto industrial.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos /Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; SOUZA, J. T. **Avaliação do processo de bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre, 3-8 dic., 2000,

LÓPEZ, J. A. S.; MARTIN SANTOS, M. A.; PÉREZ, A. F. C.; MARTÍN, A. M. **Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing.** Bioresource Technology, v. 100, n. 23, p. 5609-5615, 2009.

LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M.; SANTOS, T. M. B.; OLIVEIRA, R. A. **Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, p. 63-67, Poços de Caldas, 1998. **Anais...1998.**

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

MACEDO, L.V. (coord.). **Manual para aproveitamento do biogás.** v. 1. Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe. São Paulo: ICLEI, 2009.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano.** São Paulo: Nobel, 1986

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. **Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives.** Bioresource Technology, v. 74, n. 1, p. 3-16, 2000.

MECHICHI, T.; SAYADI, S. **Evaluating process imbalance of anaerobic digestion of olive mill wastewaters**. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 139–145, 2005.

MEHER, L. C.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. N. **Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 10, p. 248-268, 2006.

MICHAUD, S.; BERNET, N.; BUFFIÈRE, P.; ROUSTAN, M.; MOLETTA, R. **Methane yield as a monitoring parameter for the start-up of anaerobic fixed film reactors**. *Water Research*, v. 36, p. 1385–1391, 2002.

MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A; GONÇALVES, V. L. C. **Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel**. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 639-648, 2009.

NIELSEN J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. **The future of anaerobic digestion and biogas utilization**. *Bioresource Technology*, n. 100, p. 5478-5484, 2009.

OLIVEIRA, P. A. V. **Projeto de Biodigestor para Produção de Biogás em Sistema de Produção de Suínos**. *Suinocultura Industrial*, v. 28, n. 3, p. 10-16, 2006.

OLIVEIRA, M. D. L. **Avaliação das fezes de galinhas poedeiras e de sua associação com o bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado na alimentação de bovinos**. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1991.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. **Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos**. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 639-647, Jaboticabal, 2007.

PAOLI, F.; BAUER, A.; LEONHARTSBERGER, C.; AMON, B.; AMON, T. **Utilization of by-products from ethanol production as substrate for biogas production**. *Bioresource Technology*, n. 102, p. 6621 – 6624, 2011.

POULSEN, T. G. **Anaerobic digestion**. In *solid Waste management*. Aalborg University. Denmark, 2003

PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/tecnologias_contempladas.html>. Acesso em: 28 mar. 2012.

ROBRA, S.; SERPA DA CRUZ, R.; OLIVEIRA A. M.; NETO, J. A. A.; SANTOS, J. V. **Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry**. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, p. 1330-1335, 2010.

ROBRA, S. **Uso da glicerina bruta em biodigestão anaeróbica: Aspectos tecnológicos, ambientais e ecológicos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Ilhéus, 2006.

ROBRA, S.; SANTOS, J. V. S.; OLIVEIRA, A. M.; DA CRUZ, R. S. **Usos alternativos para a glicerina proveniente da produção de biodiesel: Parte 2 - Geração de biogás.** Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel , 2004.

ROBRA, S.; CAVALCANTI DE ANDRADE, L. F.; DA CRUZ, R. S.; NETO, J. A. A. **Compostagem da Glicerina Residual com Resíduos Orgânicos e Lodo de Esgoto.** 9º Seminário de Iniciação Científica, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2003.

RODRIGUES, F. **Revista Biodieselbr.** v. 5, n. 26, p. 62, dez. 2011/ jan/2012.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. **Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil.** *Biomass and Bioenergy*, n. 33, p. 1101-1107, 2009.

SANGA, G. A. **Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia.** Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M. **Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível.** *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 658-664, Jaboticabal, 2007.

SCHMITZ, M.; STÜLP, S.; HEBERLE, A. N. A.; LUMI, M.; KONRAD, O. **Avaliação da produção de biogás a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual.** In: VI Jornada de Iniciação Científica - Meio Ambiente. Fundação Zobotânica do Rio Grande do Sul/Fundação Estadual de Proteção Ambiental, n. 6, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

SILVA, F. M.; LUCAS JUNIOR, J.; BENINCASA, M.; OLIVEIRA, E. **Desempenho de um aquecedor de água a biogás.** *Engenharia Agrícola*. v. 25, n. 3, p. 608-614, Jaboticabal, 2005.

SOUZA, A. M. T.; VELLOSO, C. H. V.; ARAÚJO, M. E. A. **Manual para construção e operação de biodigestores.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CETEC, 1981.

SOUZA, C. F.; LUCAS JÚNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida.** *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 2, p. 530-539, Jaboticabal, 2005.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

VAN HORN, H. H; WILKIE, A. C.; POWERS, W. J; NORDSTEDT, R. A. **Components of Dairy Manure Management Systems**. Journal of Dairy Science, v. 77, n. 7, p. 2008-2030, 1994.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 2, p. 212-223, Jaboticabal, 2010.

WALISIEWICZ, M. **Energia Alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis**. São Paulo: Publifolha, 2008.

WANG, Y.; ZHANG, Y.; WANG, J.; MENG, L. **Effects of volatile fatty acid concentrations on methane yield and methanogenic bacteria**. Biomass and Bioenergy, v. 33, p. 848-853, 2009.

WHITE, A. J.; KIRK, D. W.; GRAYDON, J. W. **Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms**. Renewable Energy, 36, p. 1019-1025, 2011.