

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENAN BARBOZA PORTELA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO ATRAVÉS
DA QUANTIFICAÇÃO DO METANO PELO MÉTODO DA ATIVIDADE
METANOGÊNICA ESPECÍFICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

RENAN BARBOZA PORTELA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO ATRAVÉS
DA QUANTIFICAÇÃO DO METANO PELO MÉTODO DA ATIVIDADE
METANOGENÉTICA ESPECÍFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Ambiental da Coordenação de Engenharia Ambiental, do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica federal do Paraná (UTFPR), como requisito final para obtenção de título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

Co-orientadora: Prof. Dra. Cristiane Kreutz

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO ATRAVÉS DA QUANTIFICAÇÃO DO METANO PELO MÉTODO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA

por

RENAN BARBOZA PORTELA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 7 de Agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

Prof^a. Dr^a. Cristiane Kreutz

Prof. Dr. Paulo Agenor

O Termo de Compromisso assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

Dedicado a minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo de bom que tenho recebido, em segundo e não menos importante a minha família, em especial minha mãe Daniela Pereira Barboza da Silva e minha irmã Mariana Barboza Portela, por sempre estarem ao meu lado mesmo nos piores momentos, e por virem em mim ao bom e especial.

Agradeço a minha mulher Dalyne que esteve comigo em todos esses anos de dificuldades e por quem tenho um amor incondicional e eterno.

Agradeço também as professoras Cristiane Kreutz e Maria Cristina que mesmo nas dificuldades que enfrentamos, tiveram paciência, sabedoria e o profissionalismo de me guiarem nesse trabalho com muita rigidez e cobranças, mas também, carinho e amor e acreditando sempre em minha dedicação e vontade. Sem a orientação de vocês tal trabalho não seria possível.

Agradeço também ao professor Paulo Agenor, que se mostrou sempre disponível a ajudar nos cálculos estatísticos deste trabalho, digo então, sua participação foi de veras importante.

Agradeço todos os momentos que passei e pessoas que conheci nesses 5 anos de curso, as alegrias, tristezas, festas e estudos, onde para mim a universidade não entrou apenas com um papel acadêmico, mas também de crescimento pessoal e amadurecimento.

RESUMO

BARBOZA, Renan. **Análise do potencial energético da cama de frango através da quantificação do metano pelo método da atividade metanogênica específica**. 2014. 41 p. Trabalho de conclusão de curso – graduação em Engenharia Ambiental. Universidade tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

O sistema produtivo da criação de aves passou para um processo industrializado, com aumento em escala. Esse processo, o da criação confinada, gera resíduos que causam problemas ambientais e requerem um manejo diferenciado daquele usado anteriormente através do uso indiscriminado, “in natura”, que pode gerar um alto impacto ambiental. A cama de aviário contém os excrementos e as penas das aves, a ração desperdiçada e o material absorvente de umidade usado sobre o piso dos aviários, constituindo-se assim, num resíduo com alta concentração de nutrientes que pode impactar o solo devido à grande disponibilidade de cama de aviário. Dentro deste contexto faz-se necessária uma nova disposição para os resíduos produzidos, chamados de biomassa, e sua reutilização. O presente trabalho vem com o intuito de quantificar a produção de metano da cama de frango do condomínio avícola da comunidade do Rio Claro na cidade de Campo Mourão, por meio de reatores de bancada e estimar o potencial energético dessa biomassa, e diagnosticar o uso e destino dessa cama de frango na região. O trabalho é caracterizado como quantitativo apoiado por dados obtidos por experimento em laboratório, cálculos estatísticos, visitas in loco e pesquisas bibliográficas. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a produção de metano foi maior em reatores com maior concentração de cama de frango, produzindo uma média de 0.17 m³ de gás metano por grama de biomassa. O total de biomassa produzida no condomínio chega a 86.9 toneladas, podendo produzir cerca de 321.852 m³ de biogás, convertidos para energia elétrica, poderia gerar aproximadamente 402.315 kW/ano. Com isso pode-se concluir que o uso da biomassa de cama de frango é uma alternativa viável na produção de biogás, capaz de substituir os combustíveis tradicionais e a energia elétrica consumida nas propriedades avícolas do condomínio avícola da comunidade Rio Claro.

Palavras-chaves: Biogás. Consumo de Energia. Biorreatores.

ABSTRACT

BARBOZA, Renan. **Analysis of the potential energy of poultry litter through the quantification of methane at the specific methanogenic activity method.** 2014. 41 p. completion of course work - Degree in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Campo Mourao, 2014.

The production system of poultry passed into an industrialized process with increase in scale. This process, the creation of contained generates waste that cause environmental problems and require different management from that used previously by indiscriminate use, "in natura", which can generate a high environmental impact. The poultry litter contains droppings and feathers of the birds, the feed wasted and the moisture absorbent material used on the floors of poultry houses, thus constituting, a residue with a high concentration of nutrients that can impact the soil due to the wide availability of manure. Within this context it is necessary a new provision for the waste produced, called biomass, and reuse. The present work in order to quantify the methane production of poultry litter from poultry condominium community of Rio Claro in Campo Mourao through reactors bench and estimate the energy potential of biomass, and diagnose the use and destiny of poultry litter in the region. The work is characterized as supported by quantitative data obtained by laboratory experiment, statistical calculations, site visits and literature searches. The results of this study showed that methane production was higher in reactors with the highest concentration of poultry litter, producing an average of 0.17 m³ methane per gram of biomass. The total biomass produced in the condo reaches 86.9 tons and can produce about 321 852 m³ of biogas, converted to electricity, would generate approximately 402 315 kW / year. Thus it can be concluded that the use of poultry litter biomass is a viable alternative for the production of biogas, able to replace traditional fuels and electric energy consumed in poultry poultry properties condominium Rio Claro community.

Keywords: Biogas. Power Consumption. Bioreactors.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1 - Ciclo de produção do biogás oriundo da cama de frango..... | 13 |
| Figura 2 - Exemplo de biodigestores chinês (a) e indiano (b)..... | 14 |
| Figura 3 - Sistema de utilização do biogás e subprodutos e partir do biodigestor de Aies..... | 15 |
| Figura 4 - Fluxograma metodológico..... | 18 |
| Figura 5 - Cama no momento da coleta (A) cama após o peneiramento (B)..... | 19 |
| Figura 6 - Grupo T1 com 50g de cama (A) e grupo T2 com 100 gramas de cama (B)..... | 19 |
| Figura 7 - Garrafas preenchidas com água tratada..... | 20 |
| Figura 8 - Biorreatores finalizados e prontos para monitoramento..... | 21 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Análise das principais fontes da matriz energética..... | 13 |
| Tabela 2 - Valores de maior produtividade entre as duas diferentes concentrações T1 contendo 50 gramas e T2 100 gramas de cama de frango..... | 32 |
| Tabela 3: Informações de agrupamento usando o método de Tukey 95% intervalos de confiança..... | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 11 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 3.1 PANORAMA DA MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL | 12 |
| 3.2 BIOMASSA..... | 13 |
| 3.2.1 Biomassa na Matriz Energética Brasileira | 14 |
| 3.2.2 Biogás | 15 |
| 3.3 RESÍDUO DE CAMA DE FRANGO | 16 |
| 3.4 OBTENÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DA CAMA DE AVIÁRIO | 17 |
| 3.3.1 Biodigestores..... | 19 |
| 3.5 ATIVIDADE METANOGENICA ESPECÍFICA | 22 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 29 |
| 5.1 PRODUÇÃO DE METANO E EFICIÊNCIA DOS REATORES..... | 30 |
| 5.2 ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO PARA O CONDOMÍNIO AVÍCOLA DO RIO CLARO NA CIDADE DE CAMPO MOURÃO .. | 35 |
| 6 CONCLUSÃO | 38 |
| REFERENCIAS | 39 |
| APÊNDICE A | 44 |

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária brasileira passa por um processo de expansão e desenvolvimento, principalmente na área que se estende de Minas Gerais ao Rio Grande Sul. O estado do Paraná é representativo tanto na produção de leite quanto na avicultura, fato que explica a produção de resíduos como a cama de aviário e o soro de leite. O Oeste Catarinense, o Sudoeste e o Oeste do Paraná, neste sentido, apresentam as melhores condições de alavancar a avicultura industrial brasileira, sendo que atualmente estas regiões contribuem com 75% da produção brasileira de frangos (IBGE, 2010).

A carne de aves é a segunda mais produzida e consumida no mundo. A produção de carne de aves no planeta aumentou de 47,5 milhões de toneladas em 2000 para 59 milhões de toneladas em 2005, sendo o Brasil o terceiro maior produtor e maior exportador mundial de carne de frango (TESSARO, 2011).

Biogás é o nome comum dado à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica, é composto principalmente por metano, gás sulfídrico e dióxido de carbono, sendo o metano (gás inflamável, natural e inodoro) de queima limpa, ou seja, gera poucos poluentes na atmosfera. Por esse fato o metano entra como um bom substituto para o gás natural, podendo ser utilizado na geração de energia elétrica, mecânica e térmica que, além de ter como subproduto o biofertilizante, agrega valor aos restos da produção agrícola (SOUZA, 1999; ALVES, 2000; SILVA, 2010).

Nas décadas de 50 e 60, a respectiva abundância de combustíveis de fontes tradicionais desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos, onde apenas em países pouco desenvolvidos como a Índia e China, o biogás teve papel importante, principalmente por seus aglomerados rurais. Porém, devido à crise de 1970, o biogás dos digestores anaeróbios voltou a despertar interesse e sua produção cresce em países europeus e nas Américas central e norte (ZILOTTI, 2012).

O metano tem um poder calorífico em torno de 9.100 kcal.m^3 a $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e 1 atm se torna inflamável em misturas de 5 a 15% com o ar. Já o biogás, devido a presença de outros gases que não o metano, possui um poder calorífico que varia de 4.800 kcal/m^3 a 6.900 kcal/m^3 . Em termos de equivalente energético; 1,33 a 1,87

m³ de metano e 1,5 a 2,1 m³ de biogás são equivalentes a 1 litro de gasolina e óleo diesel respectivamente (LUCAS JR; SANTOS, 2000).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (2012) anualmente o Brasil produz cerca de 13 milhões de toneladas de cama de frango, dito isso, se transformados esse montante em energia, as camas que já são recolhidos no Brasil hoje (destinadas em grande maioria em adubo para as lavouras ou descartadas em aterro) poderiam gerar cerca de 700 megawatts de potência, essa é a capacidade de uma turbina da usina hidrelétrica de Itaipu, que consegue abastecer uma cidade de mais de um milhão de habitantes.

Biogás produzido a partir da cama de frango pode ser utilizado para o controle da temperatura dos próprios aviários, através de equipamentos para a queima do biogás e conseqüentemente gerando calor, fundamental para a sobrevivência das duas primeiras semanas de vida das aves, e também, ser utilizado para geração de energia elétrica, na iluminação (lâmpadas) dos galpões.

Esse trabalho tem por objetivo estimar o potencial energético da cama de aviário, através da quantificação do metano produzido, pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME), para um uso futuro como fonte de biogás.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar o potencial energético da cama de aviário, através da quantificação do metano produzido, pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a situação atual de uso e destinação da cama de aviário no condomínio avícola situado na comunidade Rio Claro (BR 487);
- Quantificar a produção de metano utilizando biorreator de bancada, em duas diferentes concentrações de cama de aviário testadas;
- Realizar análise estatística dos dados experimentais utilizando Teste estatístico *Mann Whitney*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PANORAMA DA MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL

A produção agrícola desconcentra renda mais intensamente que a extração de petróleo ou gás, podendo tornar o Brasil um modelo mundial de como enfrentar três grandes desafios do século XXI, com uma única política pública: através do incentivo à agricultura de energia, é possível enfrentar os desafios da produção de energia sustentável, da proteção ambiental e da geração de emprego e renda, com distribuição mais justa (BRASIL, 2007).

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de suínos e aves. De um lado, existe a pressão pelo aumento do número de animais em pequenas áreas de produção, e pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não provoque a destruição do meio ambiente e esteja de acordo com o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) (CASTANHO, 2008).

Ressalta-se que a recente crise energética e a alta dos preços do petróleo tem determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural (JUNIOR, 1994). O processo de digestão anaeróbica (biometanização) consiste de um complexo de cultura mista de microorganismos, capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, tais como carboidratos, lipídios e proteínas para produzir metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e material celular (JUNIOR, 1994) (SANTOS, 2001).

É importante salientar os principais aspectos positivos e negativos das principais fontes energéticas, para tornar mais transparente a percepção da evolução futura da matriz energética e as reais possibilidades de participação de cada fonte no *market share* (participação econômica de mercado) da energia (Tabela 1) (BRASIL, 2005).

A tabela a seguir mostra os principais aspectos positivos e negativos das principais fontes de energia disponíveis no mercado à nível nacional.

Tabela 1. Análise das principais fontes da matriz energética nacional.

| Combustível | Aspectos positivos | Aspectos negativos |
|--------------------------|--|--|
| Carvão | <ul style="list-style-type: none"> • Abundante, economicamente acessível, uso seguro; • Fácil de transportar e de armazenar; • Amplamente distribuído; | <ul style="list-style-type: none"> • Alta emissão de gases de efeito estufa • Necessita portentosos investimentos para desenvolvimento de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a níveis aceitáveis; • Extração perigosa |
| Petróleo | <ul style="list-style-type: none"> • Conveniente; • Alta densidade energética; • Fácil de transportar e de armazenar; • Co-evolução da fonte energética com os equipamentos para seu uso | <ul style="list-style-type: none"> • Fortemente poluidor da atmosfera • Preços voláteis • Concentração geográfica das jazidas • Produto cartelizado e mercado manipulável • Vulnerabilidade de interrupção de oferta e instabilidade geopolítica • Riscos de transporte e armazenamento • Reservas em esgotamento |
| Gás | <ul style="list-style-type: none"> • Eficiente e conveniente • Combustível multiuso • Alta densidade energética | <ul style="list-style-type: none"> • Produto emissor de gases de efeito estufa • Transporte e armazenamento caro e arriscado • Requer infra-estrutura cara, própria e inflexível • Volatilidade de preços • Jazidas concentradas geograficamente • Produto cartelizado e mercado manipulável |
| Energia Nuclear | <ul style="list-style-type: none"> • Não há emissões de gases de efeito estufa • Poucas limitações de recursos • Alta densidade energética | <ul style="list-style-type: none"> • Baixa aceitação da sociedade • Sem solução para eliminação dos resíduos • Operação arriscada e perigosa • Muito intensivo em capital |
| Energia Renovável | <ul style="list-style-type: none"> • Baixas emissões de gases de efeito estufa • Sustentabilidade | <ul style="list-style-type: none"> • Custos altos • Fontes intermitentes • Distribuição desigual • Estágio tecnológico inferior às demais fontes em uso |

Fonte: Biodieselbr (2005).

3.2 BIOMASSA

Segundo ANEEL (2011) a biomassa é todo e qualquer material orgânico que possa ser transformado em energia mecânica, térmica ou elétrica. A biomassa surge de vários setores: Pecuária (dejetos de animais), florestal (madeira), agrícola (soja, arroz, cana-de-açúcar, entre outros) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos e líquidos).

Os derivados obtidos dependem tanto da tecnologia empregada no processamento para obtenção dos energéticos, quanto da matéria prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) (FUKAYAMA, 2008).

A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da luz solar: ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007) as principais vantagens da biomassa é que seu aproveitamento pode ser feito de forma direta, por meio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para que seja majorada a eficiência e sejam reduzidos os impactos socioambientais no processo de sua produção, estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas tecnologias de conversão mais eficientes como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

3.2.1 Biomassa na Matriz Energética Brasileira

O Brasil tem desenvolvido tecnologia há vários anos para a utilização da biomassa como fonte geradora de energia, originando empregos e com muito pouco recurso financeiro. Hoje são conhecidas diversas fontes renováveis de biomassa como: lenha, carvão vegetal, babaçu, óleos vegetais, resíduos vegetais, sisal, biogás, casca de arroz, cana de açúcar, dentre outros (FIESP; CIES, 2011).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN), 2013, a participação da biomassa na matriz energética brasileira (oferta interna de eletricidade e combustíveis) é de 32,1%, a partir da utilização de lenha e carvão vegetal (12,0%), produtos da cana-de-açúcar (17,5%) e outros (3,2%). O bagaço de cana-de-açúcar é a biomassa de maior representatividade na matriz energética brasileira, sendo responsável pelo suprimento de energia térmica, mecânica e elétrica das unidades de produção de açúcar e álcool, através da produção simultânea de calor e eletricidade por sistemas de cogeração.

A casca de arroz representa 20% (em peso) da quantidade total de arroz colhida. O Brasil possui um potencial de geração de energia de 337 MW, concentrados principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso. Ainda segundo o Banco de Informações sobre geração de energia, da Aneel, existem no Brasil duas unidades gerando energia a partir de cascas de arroz, com potência instalada de 6,4 MW, e mais quatro unidades estão aguardando

autorização para instalarem mais 25 MW. Nas usinas termelétricas, a lixívia – resíduo resultante do processo de cozimento da madeira para produção de celulose, denominado processo sulfato ou kraft – é utilizada como combustível no processo de co-geração, com capacidade instalada total de 783 MW, associada às demais fontes de geração própria existentes no segmento de papel e celulose, que produzem 47% da eletricidade consumida (BERMANN, 2008).

3.2.2 Biogás

Segundo Lindemeyer (2008) o biogás é definido como um gás natural proveniente da fermentação anaeróbia de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo industrial ou residencial em condições adequadas de umidade. Ele é composto basicamente de dois gases, metano (60 a 80%) e gás carbônico (20 a 40%). Ainda segundo o Lindemeyer, Para obter o biogás é necessária um processo de obtenção do biogás que se dá através da decomposição anaeróbica, que desenvolve-se ao longo de três fases distintas: liquefação, acidulação e gaseificação.

Até o presente momento, o biogás é utilizado apenas em alguns projetos pilotos para ganho energético em escala comercial, em especial em aterros. Segundo o órgão de regulação elétrica ANEEL (2014), cerca de 0,06% da eletricidade produzida no Brasil proveem de Biogás. As 19 usinas existentes tem uma capacidade instalada de 19 MW. Momentaneamente a maior central de eletricidade baseada em biogás é a “Termoverde Salvados” e se encontra em Salvados da Bahia apresentando uma capacidade instalada de 20MW. O investimento para essa usina, inaugurada em março de 2011, foi de 20 milhões de EUROS.

Atualmente, há um redobrado interesse na tecnologia de aproveitamento de biogás. fabricantes de geradores a biogás e biodigestores aproveitam o bom momento das tecnologias limpas para lançar novos produtos e fomentar negócios. Além do aproveitamento de dejetos que antes eram lançados diretamente no ambiente, a produção de energia elétrica é um fator importante no momento de investir no equipamento. A possibilidade de auferir receitas extras através da venda de créditos de carbono provenientes do não lançamento de gases do efeito estufa é

outro aspecto que contribui para o aumento no interesse pela tecnologia (LINDENMEYER, 2008).

3.3 RESÍDUO DE CAMA DE FRANGO

Cama de frango é todo material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito as aves, sendo uma mistura de penas, excretas, ração e o material sobre o piso, dentre esses a maravalha, casca de arroz, casca de amendoim, casca de café, capim seco, sabugo de milho seco e outros materiais (TESSARO, 2011).

A maravalha é o material mais utilizado como cama de frango. Possui um bom poder de absorção. O material utilizado normalmente é pínus ou eucalipto. Deve-se manter uma atenção especial quanto à qualidade: deve ser seca para evitar o crescimento de fungos e ser livre de contaminantes e, a procedência deve ser conhecida (NUTRON, 2010).

Segundo Aeres (2009) devido ao aumento crescente na produção de camas de aviário, surgiram nas últimas décadas vários estudos para avaliar a biodigestão anaeróbia das excretas, uma das formas de bioconversão. Esta oferece várias vantagens como: redução de emissões de amônia; controle de odores; o efluente gerado na digestão anaeróbia pode ser utilizado como biofertilizante nas plantações, este se constitui em uma fonte de vários minerais, além de contribuir para a rápida amortização dos custos da tecnologia instalada, e também, a conversão de resíduos orgânicos em gás metano (biogás), o qual pode ser utilizado diretamente como fonte energética.

Segundo Konzen (2003), a cama de frango de corte pode constituir fertilizante eficiente e seguro na produção de grãos e de pastagem, desde que passem por tratamento adequado que assegure a proteção do meio ambiente, antes de sua reciclagem. Embora ainda não existam projetos relacionados a Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) com o uso de cama de aviário como fonte de energia renovável, é possível observar a necessidade de maiores avaliações para implantação de uma linha de base com o objetivo de redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE), para que com isso possa requerer a Redução Certificada de Emissão (RCEs) no âmbito do Protocolo de *Kyoto*.

Para Tessaro (2011) o principal destino que tem sido dado a cama de aviário é como fertilizante do solo, podendo ser a sua aplicação direta ou pela produção de substrato para produção de mudas. Ultimamente, algumas empresas tem usado essa biomassa para produção de organominerais. A cama de aviário era um ingrediente na ração para ruminantes intensamente utilizados pelos pecuaristas. Inúmeras pesquisas foram realizadas para quantificar os efeitos da incorporação da cama de aviário na ração de animais ruminantes, essas pesquisas tem buscado identificar as melhores proporções de cama de aviário na mistura com alimentos convencionais, o aumento de seu valor nutricional e formas de diminuir ou eliminar patógenos, metais pesados e resíduos de substâncias antimicrobianas. A partir da Instrução Normativa Nº 15, de 17 de julho de 2001, artigo 2 (DOU de 18-07-01) proibiu-se a produção, comercialização e uso da cama de aviário com esta finalidade.

3.4 OBTENÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DA CAMA DE AVIÁRIO

Segundo Palhares (2004) a conversão da cama de aviário em biogás depende de vários fatores, tais como: tipo de ração, estação do ano, densidade de alojamento das aves (quantidade de aves por m²), tipo do substrato da cama, nível de utilização das camas e as características das excretas das aves.

Segundo Tessaro (2011), o biogás na forma como é produzido nos biodigestores, é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH₄) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂), além de traços de O₂, N₂, H₂S, etc., isto para resíduos orgânicos. A composição do biogás irá depender do resíduo que alimenta o biodigestor e também da forma que esse biodigestor é operado, fatores como a temperatura, pH e pressão, no interior do biodigestor, podem alterar a composição do gás levemente.

A Figura 1 mostra o ciclo da produção de biogás, a partir da cama de frango, evidenciando a importância econômica, social e ambiental deste processo para avicultura.

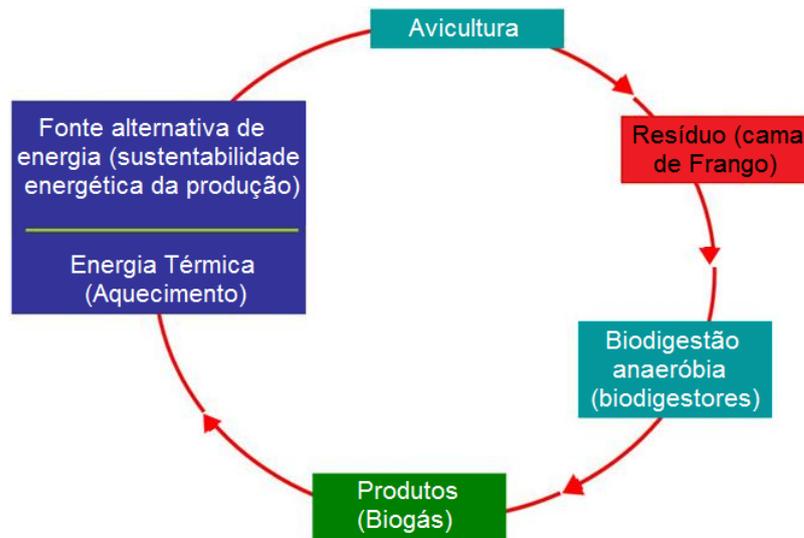


Figura 1: Ciclo de produção do biogás oriundo da cama de frango.
Fonte: Palhares (2011).

Segundo Figueiredo (2007) o biogás até pouco tempo era um substrato obtido a partir do lixo, do tratamento de efluentes domésticos e de resíduo animal. E com o crescimento econômico e o aumento no preço dos combustíveis tradicionais, o mercado de pesquisas por fontes energéticas alternativas vem crescendo tentando criar, deste modo, novas formas de produção energética que possibilitem a redução da utilização dos recursos naturais não renováveis.

Na biodigestão anaeróbia ocorre a degradação do material orgânico com ausência de oxigênio. O processo pode ser dividido em três estágios com três distintos grupos de microrganismos. O primeiro estágio envolve bactérias fermentativas, compreendendo microrganismos anaeróbios e facultativos. Neste estágio materiais orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) são hidrolizados e fermentados em ácidos graxos, álcool, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfetos. As bactérias acetogênicas participam do segundo estágio, consumindo os produtos primários e produzindo hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Dois grupos distintos de bactérias metanogênicas participam do terceiro estágio, o primeiro grupo reduz o dióxido de carbono a metano e o segundo descarboxiliza o ácido acético produzindo metano e dióxido de carbono (PALHARES, 2012).

Para um desenvolvimento econômico atrativo a partir da digestão da biomassa de resíduos animais, é necessário que haja compatibilidade das

propriedades físicas e químicas do resíduo com o projeto de biodigestor considerado. Assim, se faz importante entender os princípios de operação dos biodigestores para ajudar na seleção e planejamento do modelo de tratamento a partir da biodigestão anaeróbia (SANTOS; LUCAS JR, 2001).

3.3.1 Biodigestores

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

Por meio de várias pesquisas que difundiram o uso de biodigestores, foi criado em 1939 na cidade de Kampur, na Índia, o *Institute Gobár Gás* (Instituto de Gás de Esterco), onde foi criada a primeira usina de gás de esterco, que tinha por objetivos tratar os dejetos de 26 animais, obter biogás e aproveitar o biofertilizante. Foi esse trabalho pioneiro que permitiu a construção de quase meio milhão de biodigestores na Índia. A utilização do biogás na Índia, como fonte de energia, motivou a China a adotar tal tecnologia a partir de 1958, e em 1972, já possuíam aproximadamente 7,2 milhões de biodigestores em atividade (GRANDINI, 2001).

Na figura 2 destacam-se os modelos de biodigestores chinês e indiano, respectivamente.

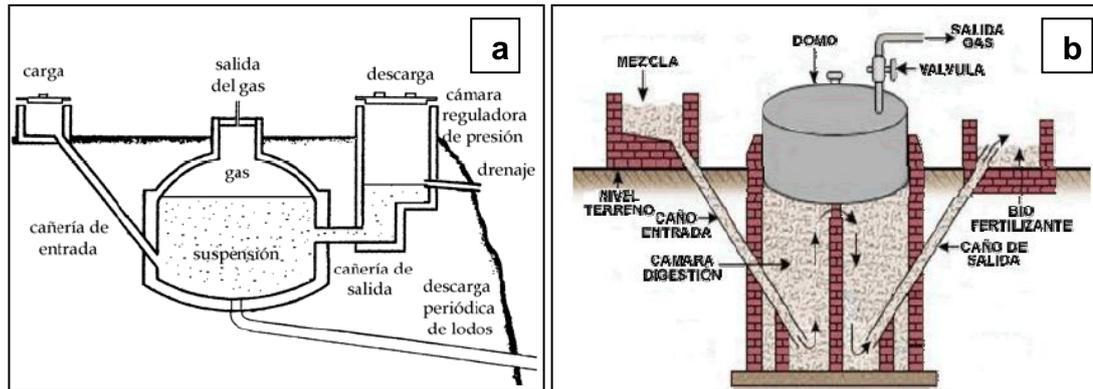


Figura 2 - Exemplo de biodigestores chinês (a) e indiano (b).
Fonte: Adaptado de GASPARG (2003), GRANDINI (2001).

No caso da China, o interesse pelo uso de biodigestores deveu-se, originalmente, a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, a China temeu que um ataque nuclear impedisse toda e qualquer atividade econômica, principalmente industrial. Entretanto, com a pulverização de pequenas unidades biodigestoras ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo. Nos dias atuais, o foco do uso de biodigestores na China é outro. Como possui excedente de população, não seria recomendável mecanizar a atividade agrícola em larga escala, sendo que o uso de tratores e demais implementos resultaria em um índice de desemprego rural alarmante. Dessa forma, o governo chinês achou viável aperfeiçoar as técnicas rudimentares de cultivo do solo, com os biodigestores ocupando papel de destaque na agricultura (GASPARG, 2003).

Há atualmente outro modelo de biodigestor chamado de biodigestor de fluxo contínuo de Aeres. Esse equipamento foi desenvolvido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), onde é realizada a separação da parte líquida da parte sólida, o que melhora o desempenho do sistema de produção do biogás. Com esse biodigestor (Figura 3), a cama de frango de cada ave produz aproximadamente 1,245 m³ de biogás por ave o que equivale a 1,556 quilowatt-hora (kWh) por ave. Dessa forma, um galpão com 20.000 frangos, geraria 24,900 m³ de biogás, que equivale a 31 megawatt-hora (MWh).



Figura 3 – Sistema de utilização do biogás e subprodutos e partir do biodigestor de Aeres.
Fonte: AERES (2011).

A geração do biogás ocorre a partir da utilização de microrganismos para a degradação da matéria orgânica contida no resíduo. Esse processo gera um composto de gases que pode ser convertido em energia. Segundo Aeres (2011) antes de colocar os dejetos no biodigestor, separa-se a parte líquida da sólida, garantindo um melhor desempenho do biodigestor e um melhor aproveitamento do material.

Sendo a cama de frango um resíduo produzido em intervalos de tempo, ou seja, a disponibilidade não é contínua devido ao modo de produção e considerando suas características físicas e químicas como alto teor de sólidos, baixa umidade e tamanho das partículas, o tipo de biodigestor ideal, pelas suas características de desenho e performance, para uma perfeita digestão anaeróbia da biomassa é o biodigestor em batelada, podendo este ser manejado em forma de bateria ou sequencialmente. A desvantagem do manejo em forma de bateria, está relacionada a velocidade de fermentação da cama, que é lenta, dificultando o aproveitamento do biogás. No manejo sequencial, deve-se utilizar inóculos para que este seja viabilizado (PALHARES, 2012).

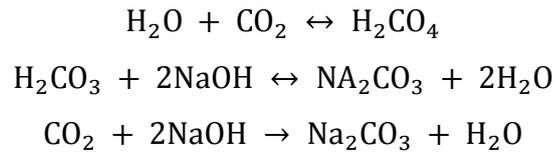
3.5 ATIVIDADE METANOGENICA ESPECÍFICA

A atividade metanogênica específica (AME) pode ser definida como a capacidade máxima de produção de metano por um consórcio de microrganismos anaeróbios, realizada em condições controladas de laboratório, para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás. (AQUINO et al, 2007).

Segundo Colleran et al (1991), em se tratando de sistemas de tratamento por processo de digestão anaeróbia, a complexidade do problema é ainda maior, em virtude da presença de grupos bacterianos de diferentes espécies, muitos deles exibindo baixas taxas de crescimento e condições estritamente anaeróbias para cultivo. Pelo menos três diferentes grupos metabólicos de microrganismos estão envolvidos na digestão anaeróbica de matéria orgânica a metano e dióxido de carbono: o das bactérias fermentativas, o das acetogênicas e o das metanogênicas. O controle efetivo da digestão anaeróbia demanda uma quantificação seletiva da biomassa ou uma avaliação da atividade metabólica dos microrganismos metanogênicos.

Os trabalhos de Valcke e Verstraete (1983), De Zeeuw (1984) e Dolfing e Bloemen (1985) foram pioneiros no desenvolvimento e uso dos testes de AME, como ferramenta de caracterização e avaliação de reatores anaeróbios. No Brasil, pesquisas sobre o teste de AME começaram a ser feitas na década de 90, e Penna (1994) talvez tenha sido o primeiro trabalho brasileiro dedicado ao estudo das condições de incubação e implantação do teste de AME. Os artigos de Penna et al (1995) e Monteggia (1997) foram as primeiras comunicações científicas nacionais que discutiram a necessidade, e propuseram uma metodologia, para a harmonização do teste de AME (AQUINO et al, 2007).

O procedimento da medição direta de metano assume que o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) são os principais constituintes do biogás formado durante o teste de AME. Essa consideração é válida uma vez que em pH neutro a maior parte da amônia (NH_3) e metade do sulfeto de hidrogênio (H_2S), se presentes, estarão ionizados e dissolvidos na fase líquida como NH_4^+ e HS^- , conforme a reação descrita abaixo:



A principal importância da determinação da atividade metanogênica específica baseia-se no fato de que este parâmetro pode fornecer informações muito úteis sobre a digestão anaeróbia, através de um ensaio relativamente simples e rápido. Como as medidas da atividade metanogênica dão respostas a respeito da potencialidade da biomassa ativa presente nos lodos, esta sua característica tem sido utilizada em diversos estudos. Como por exemplo, no acompanhamento da partida de reatores anaeróbios (ZEEUW, 1994).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no câmpus Campo Mourão, Paraná.

O trabalho passou por várias etapas para que melhor fosse desenvolvido, de forma que, foi elaborado um fluxograma metodológico das mesmas, como é observado na figura 4.

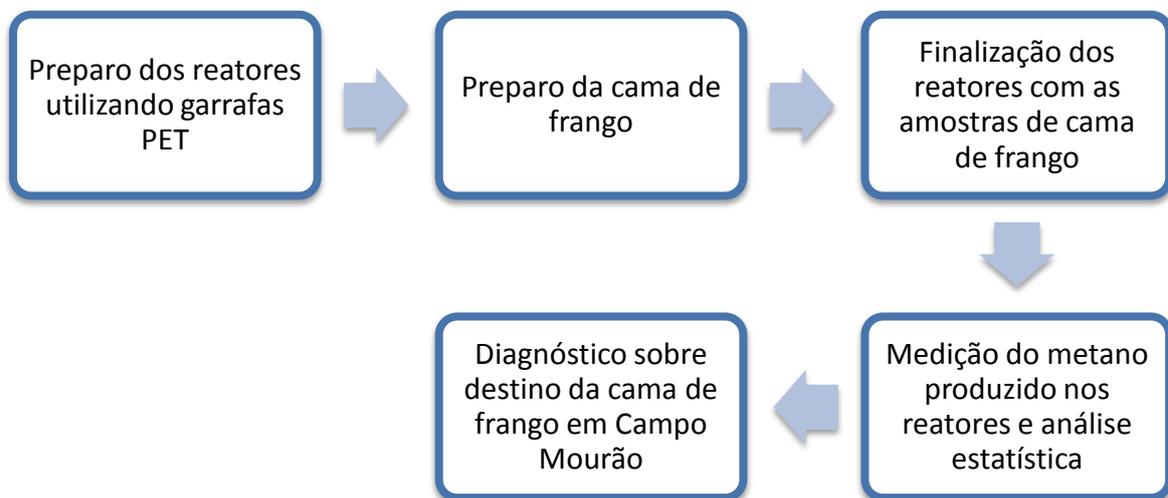


Figura 4: Fluxograma metodológico.

A primeira etapa iniciou-se com a preparação do material, onde foram utilizadas 10 unidades de garrafas tipo PET de 1L cada, foram feitos furos na tampa das garrafas com aproximadamente 6,5mm de diâmetro utilizando furadeira, por onde passaram tubos de PVC tipo Cristal transparente, com aproximadamente 45 cm de comprimento por 1/4"x15mm, unidos à tampa com cola silicone para que não houvesse vazamento do gás nos biorreatores. Foi utilizado um Becker graduado de maneira que as garrafas fossem preenchidas com 1L de água potável.

A segunda etapa compreendeu a preparação da cama de aviário, por meio do peneiramento, utilizando peneiras de 9mm e 4,35mm respectivamente. Esse peneiramento auxiliou na retirada de partículas maiores e melhorou o

aproveitamento do material, tornando-o mais homogêneo, conforme pode ser observado na Figura 5.



Figura 5: Cama de frango in loco (A) e cama de frango após o peneiramento (B).

Após o preparo da cama, os reatores foram separados em dois grupos onde cada grupo recebeu uma concentração de cama diferente, de modo que, com o auxílio de uma balança de precisão, o denominado grupo T1, recebeu 50 gramas de cama de frango em cada um dos biorreatores, e o denominado grupo T2 recebeu 100 gramas da cama respectivamente, como observado na figura 6.

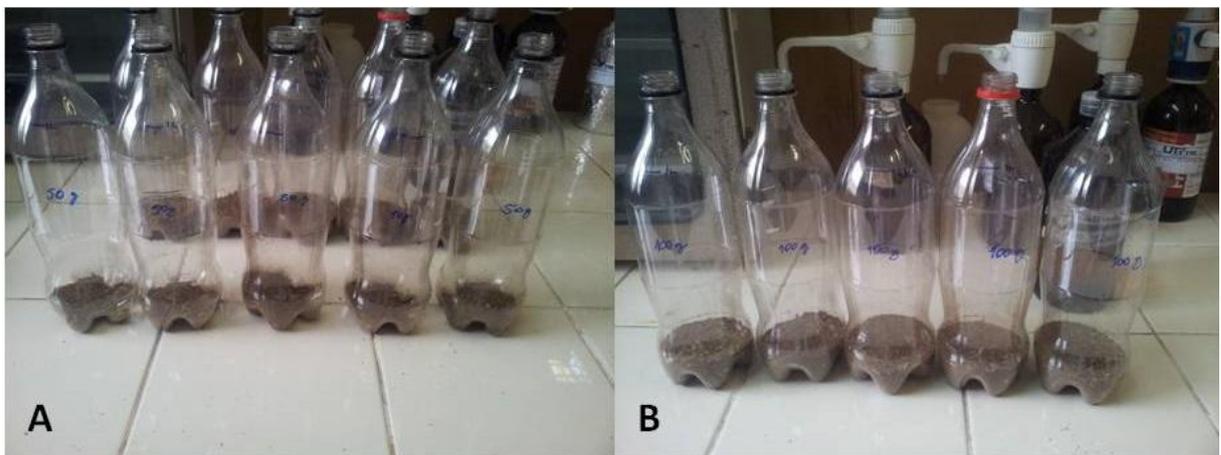


Figura 6: Grupo T1 com 50g de cama (A) e grupo T1 com 100 gramas de cama (B).

Na terceira etapa todas as garrafas foram preenchidas com um litro de água potável (figura 7).



Figura 7: Garrafas preenchidas com água tratada.

Depois as mesmas foram fechadas com as tampas adaptadas e forradas externamente com papel alumínio para evitar uma variação de temperatura e a luminosidade.

A extremidade do tubo que ficará na parte externa dos biorreatores, foi imersa dentro de recipientes de polietileno contendo 200 ml de solução de NaOH a 15%, como observado na figura 8. Os biorreatores foram colocados em incubadora, com temperatura controlada de 35 °C e monitorados por um período contínuo de 30 dias para as medições de metano.



Figura 8: Biorreatores finalizados e prontos para monitoramento.

A etapa 4 compreendeu na aplicação do método da Atividade Metanogênica Específica (AME), mais especificamente o método da medição direta de metano. De forma que para medir o volume apenas do metano, o biogás foi “lavado” em solução de NaOH à 15% para que assim, houvesse a absorção do CO_2 , onde o volume deslocado de NaOH foi medido com o auxílio de uma proveta graduada de 500 ml conforme metodologia adaptada de Aquino et al (2007), com medições diárias, caracterizando a quantidade de metano (cm^3) produzido por essa alteração de volume, considerando o volume inicial de 200 ml de NaOH.

Foi utilizada para a análise estatística dos dados obtidos em laboratório, o Teste estatístico *Mann Whitney* (Comparação de duas amostras), visando verificar a existência de diferenças entre as médias de produção de metano entre as duas concentrações de cama de frango.

Foi elaborado também um diagnóstico da destinação da cama de frango após seu uso, por meio de levantamento de dados *in loco* (entrevistas com agricultores,

avicultores e agropecuaristas) e com o auxílio de uma ficha de diagnóstico sobre a destinação da cama de frango na cidade de Campo Mourão, conforme Apêndice A.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O condomínio avícola da comunidade Rio Claro, situado na BR 487, próximo a Campo Mourão, onde o estudo foi realizado, é composto por 15 aviários de 150 x 14 metros cada, com capacidade de 31.000 frangos de corte por aviário com 6 lotes de criação com a mesma cama de frango. A produção total anual foi de 2.790.000 cabeças de frango.

A maravalha utilizada como cama vem da região de Doutor Camargo, PR totalizando 5400 quilos de maravalha por galpão.

Nesse sentido, considerando o total de aves no condomínio é de 465.000 cabeças, considerando os 15 galpões, adaptando a fórmula de Tessaro (2011) chegou-se a equação 1:

$$Pc = (pf * 0,5 * L) + CD \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Pc = total de cama de frango produzida;

pf = capacidade máxima de cabeças de frango em um galpão;

L = quantidade de lotes que uma mesma cama é utilizada

CD = quantidade de cama bruta (maravalha).

2,1 é o fator de produção de esterco por ave/ano.

Assim: $Pc = (31.000 * 0.5 * 6) + 5.400 = 5.792,46$ kg/ano de cama de frango produzidos em um único galpão no condomínio avícola. Isso equivale a aproximadamente 5.8 toneladas de cama de frango/ano por galpão. Como o condomínio avícola de Rio Claro conta com 15 aviários, a produção total de cama de frango chega a 86.886,9 kg/ano ou aproximadamente 86.9 toneladas de cama de frango por ano produzidas no condomínio Rio Claro.

Segundo diagnóstico realizado in loco essa cama é recolhida e vendida aos pequenos agricultores, a maioria monocultores, nas cidades de Araruna, Cianorte, Cruzeiro do Oeste, Goioerê, Campo Mourão e demais cidades da região como fertilizante para o solo.

Fazendo um comparativo com dados da Associação Brasileira dos produtores de Frangos de Corte (2012), que divulgou uma produção de 6.24 bilhões de frangos de corte em 2012/2013, considerando que a produção média de cama é de 0.5kg por frango de corte temos uma produção média de 3.12 milhões de toneladas de cama de frango produzida em todo o Brasil.

5.1 PRODUÇÃO DE METANO E EFICIÊNCIA DOS REATORES

Nos dois tratamentos T1 e T2 a produção de metano teve início a partir do terceiro dia tendo um crescimento gradual ao longo dos 30 dias (todos os reatores foram mantidos à temperatura constante de 35° C). Apenas os reatores T4 (grupo T1), P2 e P4 (grupo T2) mostraram desempenhos reduzidos, ou seja, houve um decaimento na produção de metano, comportando-se de maneira atípica dos outros reatores, como demonstrado nos gráficos 1 e 2, tais comportamentos não puderam ser explicados.

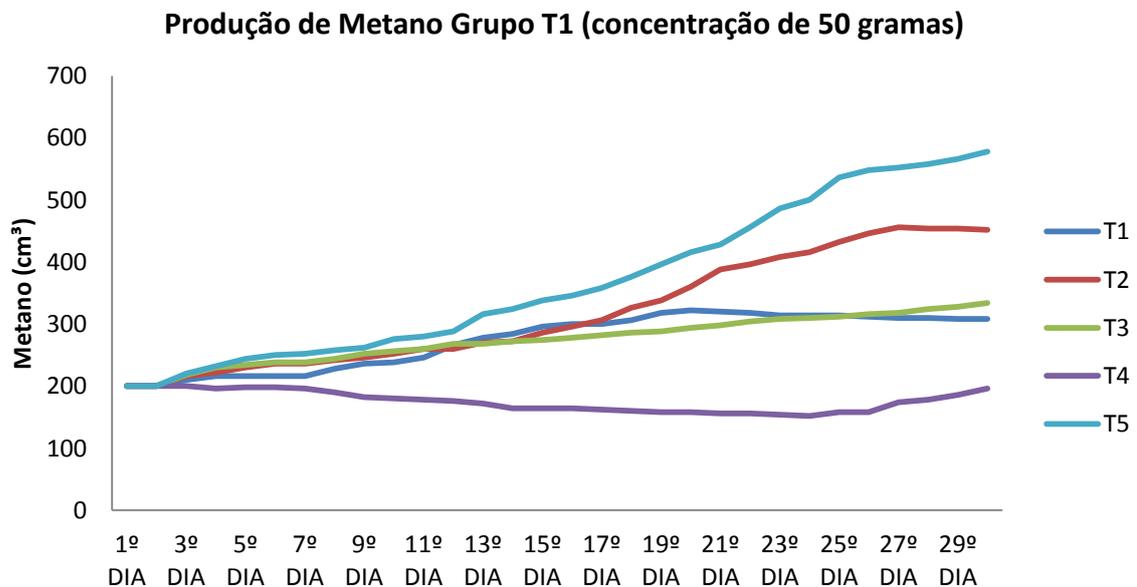


Gráfico 1: Produção de metano em cm³ em reatores com concentração de 50g de cama de frango.

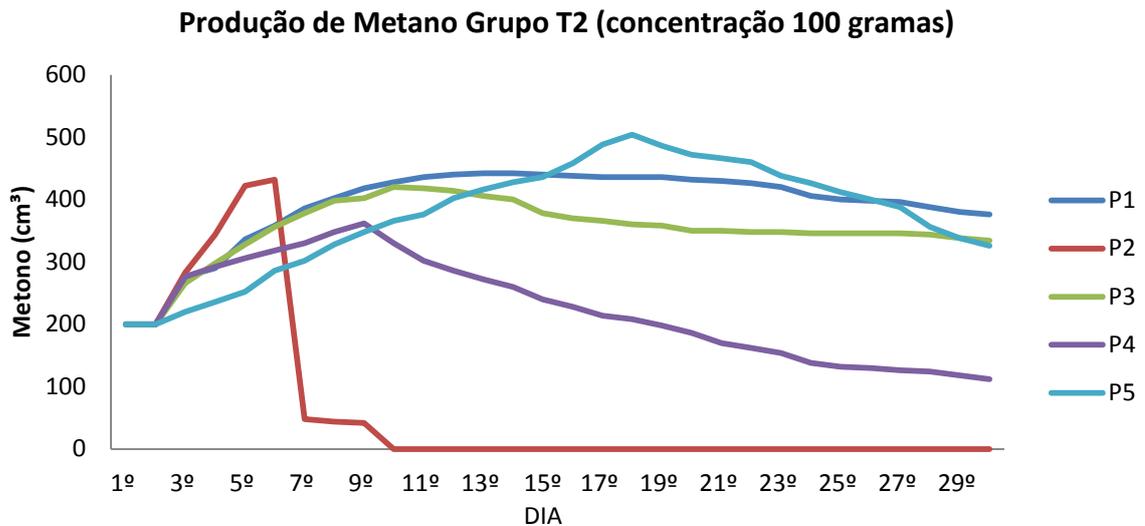


Gráfico 2: Produção de metano em cm^3 em reatores com concentração de 100g de cama de frango.

Pode-se observar, segundo o gráfico 1 e 2 acima, que os reatores tiveram comportamentos diferentes entre si durante o período de monitoramento estipulado, mesmo sendo réplicas exatas (a única diferenciação entre os dois grupos de quintuplicas era a concentração de cama de frango), os reatores T2, T3, e T5 mostraram produção contínua além dos 30 dias, isso só vem a acrescentar que esse período não é suficiente para uma medida máxima de saturação, sugerindo que seria necessário mais tempo de monitoramento.

Van Velsen & Lettinga (1980) e Gonçalves (1982), alertam para fator digestibilidade, uma vez que os principais componentes digeríveis na matéria orgânica poderão não estar disponíveis ao ataque de microrganismos por apresentarem formas estruturais com ligações químicas estáveis como celulose e hemicelulose que quando impregnada por lignina, como na madeira, tornam-se materiais de difícil degradação em ambientes anaeróbios.

A outro ponto que também deve ser abordado é quanto a qualidade e eficiência dos reatores, já que foram montados e adaptados de forma totalmente artesanais, feitos 100% de material reciclável, haveria a necessidade de testes preliminares de eficiência quanto ao rendimento desses reatores, para fundamentar seu uso como bom equipamento para esse tipo de experimento. Apesar desses testes preliminares não terem sido possíveis, e esse equipamento apresentar muitas variações de produção comparando reatores em si, os reatores feitos de PET mostraram-se economicamente viáveis e atenderam a proposta exigida.

Segundo estudos feitos por Santana (2009) o Politereftalato de etileno, ou PET, possui diversas variações para seu uso, podendo ser aplicado de muitas maneiras, como: garrafas de bebidas, óleos vegetais e produtos de limpeza. O seu uso é bastante difundido por causa de suas propriedades como: boa resistência térmica e química, flexibilidade, peso e baixo custo de produção.

Considerou-se o grupo T1 como um único reator, assim como o grupo T2. Verifica-se no gráfico 3 um comparativo da produção média de metano entre as duas diferentes concentrações. Para efeito de cálculos os reatores T4, P2 e P4 foram desconsiderados por apresentarem resultados insatisfatórios.

Produção média de metano nas duas concentrações

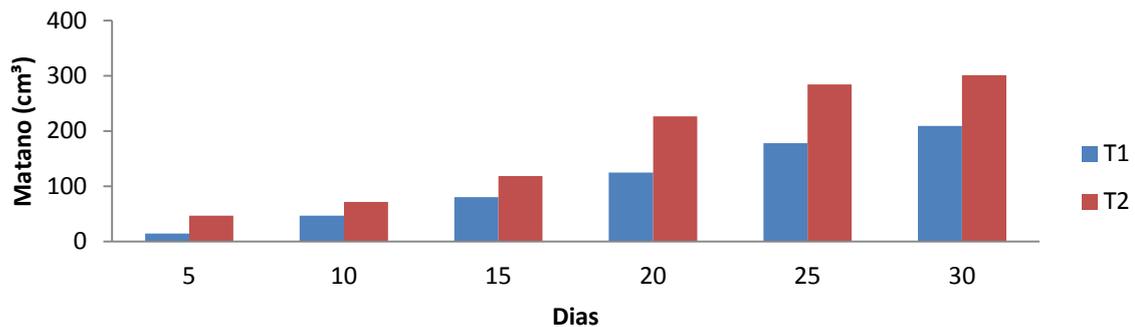


Gráfico 3: Comparativo da produção média de metano entre as concentrações de 50 gramas (T1) e 100 gramas de cama de frango (T2).

No gráfico 3, foram realizadas médias de produção do metano com intervalos de 5 dias, comparando a quantidade de metano produzido nas duas concentrações. Dentro do mês de monitoramento, pode-se observar que a produção de metano ao longo do tempo foi maior no tratamento com maior concentração de cama de frango do que no tratamento com concentração inferior, ou seja, mesmo os tratamentos sendo mantidos a mesma temperatura e tratados em equipamentos igualmente padronizados, sugerem-se quanto maior a concentração do substrato, maior a produção de gás metano.

Suzuki (2012) demonstra em diferentes tratamentos com cama de frango e manipueira que a quantidade de cama de frango trabalhado, influencia consideravelmente na produção de biogás, onde demonstra que quanto maior a

porcentagem de cama de frango no tratamento, maior era a produção de biogás, assim como mostra a tabela 2.

Tabela 2: Informações de agrupamento usando o método de Tukey 95% intervalos de confiança.

| Tratamento | Média (L) | Agrupamento | Proporção de cama de frango (%) | Estimativa de produção de biogás referente a cama de frango (L) |
|------------|-----------|-------------|---------------------------------|---|
| A | 0,3928 | A | 100 | 0,39280 |
| B | 0,2487 | B | 80 | 0,31424 |
| C | 0,2120 | B | 60 | 0,23568 |
| D | 0,1416 | C | 40 | 0,15712 |
| E | 0,0508 | D | 20 | 0,07856 |
| F | 0,0010 | D | 0 | 0 |

* Tratamentos que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

O Tratamento “A” possui 100% de cama de frango “B” 80%, “C” 60%, “D” 40%, “E” 20% e “F” 0%. Considerando somente a proporção de cama de aviário presentes nos tratamentos tem-se uma estimativa de produção de biogás referente somente a cama de frango, podendo verificar se tais tratamentos estão sendo eficientes na produção ou não em relação a manipueira adicionada.

Tabela 3: Valores de maior produtividade entre as duas diferentes concentrações T1 contendo 50 gramas e T2 100 gramas de cama de frango.

| | Grupo T1 (cm ³) | Grupo T2 (cm ³) |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Mínimo | 0,0 | 0,0 |
| Máximo | 378,0 | 304,0 |
| Mediana | 91,0 | 183,0 |
| Média Aritmética | 108,73 | 171,31 |
| Variância | 8067,15 | 5238,48 |
| Desvio Padrão | 89,81 | 72,37 |

p-valor (bilateral) = < 0.0001

Teste estatístico *Mann Whitney* (Comparação de duas amostras). Teste não paramétrico, pois os dados não apresentaram distribuição normal. Teste substituto ao teste t de *student*.

A partir da dos valores de produção encontrados na tabela acima, podemos gerar uma análise descritiva dos dados encontrados, assim obteve-se o gráfico 4:

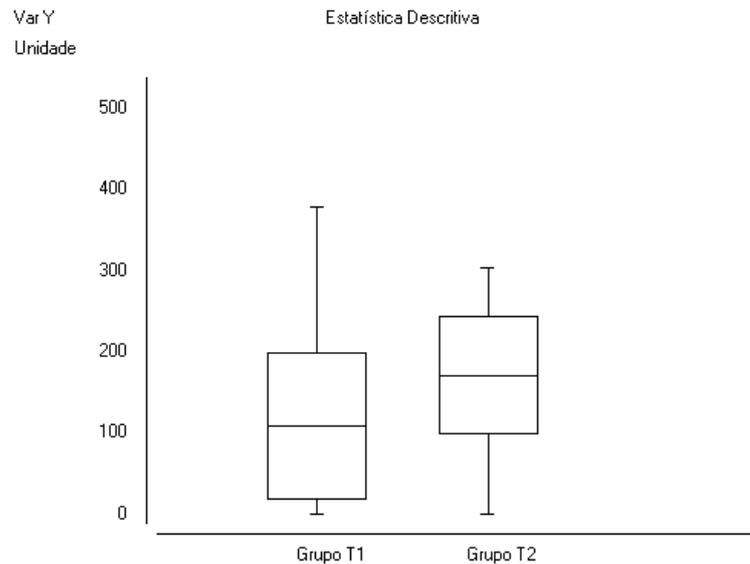


Gráfico 4: Valores descritivos englobando as amostras do grupo T1 e do grupo T2.

Analisando os dados, observou-se que o grupo T2 (com concentração de 100 gramas de cama de frango) mostrou maior produção de metano que o grupo T1 (concentração de 50 gramas de cama de frango), onde a média de produção do grupo T2 é igual a 171,3 cm³ de metano e 108,7 cm³ de metano do grupo T1.

Ressalta-se que a média encontrada é diretamente influenciada por valores extremos encontrados no experimento, pois ela reflete o comportamento considerando as irregularidades, onde os valores máximos e mínimos acarretam resultados pouco precisos. Por esse motivo foi calculada também a mediana pois ela mostra o real comportamento dos reatores, onde ela não sofre interferência dos valores de máximo e mínimo, ou seja, 50% dos valores encontrados no grupo de menor concentração estão acima ou abaixo de 91,0 cm³ de produção de gás, enquanto que, os valores do grupo com maior concentração estão acima ou abaixo de 183,0 cm³. Assim, pode-se dizer que a produção regular de metano no grupo T2 é mais que o dobro da produção de gás no grupo com metade da concentração de cama de frango. Portanto entende-se que a média pode ser mascarada por valores extremos, tanto para mais quanto para menos, enquanto a mediana reflete a regularidade de produção nos reatores. Firmando que, a produção de metano é muito melhor no tratamento T2 que no tratamento T1.

Assim, pode-se estimar que cada 1g de cama de frango produz uma média de 1,71 cm³ de metano, assim, 1 kg chega a produzir 1713 cm³ de metano, ou 0,0017 m³. Portanto, baseando-se no total de cama de frango produzido igual a 86,9 toneladas, o total de metano produzido nas mesmas condições seria aproximadamente de 147,73 m³.

Alguns dos reatores continuaram sua produção mesmo após os 30 dias estipulados, o que representa que, apesar de o experimento ter apresentado bons resultados, afirmando assim a hipótese principal de que a maior concentração produziu mais metano que a de menor concentrações, o tempo de 30 dias talvez seja insuficiente para obter resultados mais precisos, ou seja, os valores máximos obtidos nas duas concentrações não são necessariamente a capacidade máxima da biomassa utilizada, de produção do gás, sugerindo assim que o pico de produção das concentrações possa ocorrer após os 30 dias analisados.

5.2 ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO PARA O CONDOMÍNIO AVÍCOLA DO RIO CLARO NA CIDADE DE CAMPO MOURÃO

O principal componente do biogás é o gás metano e o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico se eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI et al., 2002).

De acordo com AIRES (2009) o biogás produzido pela cama de frango pode atingir concentrações de 70 a 80% de metano. A composição depende da eficiência do processo e sofre influência de fatores como pressão e fermentação durante a fermentação.

Destaca-se que pode existir a necessidade de pré-tratamento da cama de frango antes de ser adicionada ao biodigestor. A moagem é uma forma de tornar o material com granulometria adequada, já que as partículas de maravalha podem ser grandes e dificultar as atividades dos microrganismos.

Aires (2012) obteve 0,27 m³ de biogás/kg de cama de frango para uma mistura de fração líquida adicionada a um inóculo, utilizando uma concentração final de aproximadamente 3% de sólidos totais. Bujoczek et al. (2000) citado por Kelleher

et al. (2002), realizou estudos sobre biodigestão anaeróbia de cama de frango e a eficiência de conversão dessa biomassa para o metano e concluiu que para haver sucesso na biodigestão, a presença era de no máximo 10% de sólidos totais.

Conforme Fukuyama (2008), 1 m³ de biogás é capaz de gerar 1,25 kW de eletricidade ou fornecer energia para ligar uma lâmpada de 60 Watts por cerca de 7 horas, acionar um motor de 2 HP por uma hora, ou ainda, funcionar um refrigerador de 300 litros por horas.

Baseando-se nos autores e considerando que o condomínio Rio Claro, após o sexto lote obtém-se um total de 86,9 toneladas de cama de frango, essa biomassa produziria 321.852 m³ de biogás, ou ainda se convertida em energia elétrica produziria 402.315 kW por ano. Vale destacar que nesse trabalho foi apenas quantificado o metano e esses cálculos são estimados considerando o biogás produzido em biodigestores no condomínio.

Conforme Jorge Filho (2013) os gastos de energia nos aviários representam impacto significativo na avicultura e estão diretamente relacionados com a climatização (aquecimento e ventilação) dos galpões, sendo aproximadamente 22% dos custos totais de produção de frango para o avicultor.

O autor ressalta um estudo feito por Miele et al. (2010) e que o consumo de eletricidade em um aviário convencional por lote é de 1400 kWh. Desse modo, considerando o total de 6 lotes por ano, com um total de 15 aviários no condomínio, pode-se estimar um consumo de energia elétrica de 126.000 kW por ano.

Portanto considerando a estimativa feita com a cama de frango utilizando a metodologia da Atividade Metanogênica Específica, verificou-se que o total de energia elétrica poderia suprir as necessidades do condomínio. Ressalta-se que esses valores foram estimados baseando-se e outros estudos e não foram realizadas análises de viabilidade técnica para o condomínio.

De acordo com Duarte (2010) considerando o teor de umidade da cama de frango se faz necessário a adição de água nesta para uma diminuição do teor de sólidos e diluição do conteúdo, o que demandará um longo tempo de retenção hídrica (TRH) dificultando uma perfeita consorciação produção de biogás/avicultura. Para reduzir o TRH, que pode ser de semanas ou meses, pode-se utilizar de sistemas de agitação, aquecimento e, principalmente, adição de inóculo.

Como trabalhos futuros, o uso de diferentes substratos de camas de frango podem ser analisadas e comparadas entre si (casca de amendoim, casca de arroz,

etc.) com o uso desta mesma metodologia proposta neste trabalho, também podem ser realizados trabalhos específicos voltados a eficiência dos reatores feitos com PET. Também podem ser feitos trabalhos quanto a diferentes lotes de produção, podendo ser feito um comparativo entre a produção de metano nesses diferentes lotes e compará-los com o que já foi proposto na literatura.

6 CONCLUSÃO

A cama de frango produzida no condomínio avícola do Rio Claro tem como material bruto a maravalha, advindo das cidades de Doutor Camargo. É utilizada por um período de 6 lotes (45 dias por lote) consecutivos, e após a último lote, é recolhida, e distribuída para agricultores das regiões de Goioerê, Araruna, Cianorte, Cruzeiro do Oeste e Campo Mourão, onde, a maioria desses agricultores, utilizam dessa biomassa como fertilizante para o solo em monoculturas.

A produção de metano a partir da cama de frango de maravalha, obtida do sexto lote no condomínio Rio Claro em Campo Mourão, é maior em reatores com maior concentração de cama de frango, com produção média de 171,3 cm³ de gás metano, em concentração de 100 gramas de biomassa de cama de frango, contra 108 cm³ de gás metano produzido em concentração de 50 gramas de cama de frango.

A partir do teste estatístico de *Mann Whitney* pode-se confirmar que, a produção de metano em reator com maior concentração de cama de frango é superior à produção encontrada em reator com menor concentração de cama de frango.

O condomínio tem uma produção de cama de frango anual de 86,9 toneladas, que pelas análises realizadas pode vir a gerar cerca de 321.852 m³ de biogás, ou ainda se convertida em energia elétrica produziria 402.315 kW por ano. Assim considerando o gasto anual de energia estimado para o condomínio Rio Claro, que foi de 126.000 kW/ano, pode-se concluir que o total de energia elétrica poderia suprir todas as necessidades energéticas do condomínio.

Com isso pode-se concluir que o uso da biomassa de cama de frango é uma alternativa viável na produção de biogás, capaz de substituir os combustíveis tradicionais e a energia elétrica consumida nas propriedades avícolas do condomínio avícola da comunidade Rio Claro em Campo Mourão.

REFERENCIAS

ANEEL. **Biomassa**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/apliccoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/apliccoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acessado em: 04 janeiro 2014.

AIRES, A.M.. **Biodigestão Anaeróbia da Cama de Frangos de corte com ou sem separação das frações sólidas e líquidas**. 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP campus Jaboticabal.

AIRES, A. M. **Desenvolvimento de um sistema para pré-processamento da cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”**. 2012. 143 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, SP 2012.

AQUINO et al. **Metodologias para a determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios**. 2007. Artigo técnico. p 194-196.

BERMANN, C. **Crise ambiental e as Energias renováveis**. Instituto de Eletrotécnica e Energia, USP. Cienc. Cult., vol.60, nº3 São Paulo, Setembro, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 15, de 17 de Julho de 2001**. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=3587>>. Acessado em 19 dezembro 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Plano de Agroenergia**. 2005. Disponível em: <<file:///D:/Downloads/planonacionaldeagroenergia-090427082124-phpapp02.pdf>>. Acessado em 19 junho 2014.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-20012%20a%202021-2022%20\(2\)\(1\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-20012%20a%202021-2022%20(2)(1).pdf)>. Acessado em: 20 de junho de 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energetica Nacional 2030. 2007**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz_energetica_nacional_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf>.

COLLERAN, E.; CONCANNON, F.; GOLDEN, T.; GEOGHEGAN, F.; CRUMLISH, B.; KILLILEA, E.; HENRY, M.; COATES, J. **Use of methanogenic activity tests to characterize anaerobic biodegradability and determine toxicity thresholds against individual anaerobic sludges, screen for anaerobic trophic groups and species.** *Anais do Sixth International Symposium on anaerobic digestion*, p.31-32, São Paulo, 1991.

CORREA, J. C.; MIELE, M. **A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos.** In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). **Manejo ambiental na avicultura.** 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152.

DAGANUTTI, R.; PALHACI, M. DO C.J.P.; ROSSI, M. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.**In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. *Anais eletrônicos.*

FIESP; CIES. **Ampliação da Oferta de Energia Através da Biomassa.** Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/AMbiente/relatorio_dma.pdf>. Acesso em: 18 janeiro 2014.

FIGUEIREDO, N.J.V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás: Estudo de caso.** Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2007.

FUKAYAMA, E.H. **Características Quantitativas e Qualitativas da Cama de Frango sob diferentes Reutilizações: Efeito na Produção de Biogás e Biofertilizante.** Jaboticabal, 2008. Tese (Doutorado em Zootecnia) Faculdade de ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, UNESP. p 8-15.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de Biodigestor em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR.** 2003. 106f.

GRANDINI, D.V. **Produção de bovinos a pasto com suplementos protéicos e/ou energéticos.** In: Reunião anual da sociedade brasileira de Zootecnia. Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2001.

GRIMES, J. L. **Alternatives litter materials for growing poultry.** North Carolina Poultry Industry Newsletter, v. 1, 2004.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acessado em 17/12/2013.

KIEHL, J.C. **Adubação orgânica de culturas forrageiras**. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FCAV/Unesp, 1997. p. 208-250.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1983. 32 p. (Circular técnica, 6).

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de frango**. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário técnico da cultura de milho. Videira, 2003.

LINDEMEYER, Ricardo Matsukura. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. 2008. 105 folhas. Trabalho de Conclusão de Estágio (Graduação em Administração). Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

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

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Biomassa**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acessado dia 06/06/2014.

MIELE, M.; SANTOS FILHO, J.; MARTINS, F.; SANDI, A. **Consolidação do custo do avicultor para a produção de frango de corte em Santa Catarina**. Embrapa, Concórdia, 2010.

MONTEGGIA, L. **Proposta de metodologia para avaliação do parâmetro 'Atividade Metanogênica Específica'**. In: 190 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, ABES, Foz do Iguaçu, 1997.

NUTRON. Shaping Tomorrow Nutrition. **Cama de Aviário**. Maio 2010. Disponível em: <<http://nftalliance.com.br/assets/Uploads/CamaAviria.pdf>>. Acessado em: 20 de junho 2014.

PENNA, J. A. Estudo da **metodologia do teste de atividade metanogênica específica**. Tese de doutorado, Escola de Engenharia, USP-São Carlos, 1994.

Santos, P. **Guia Técnico de Biogás**. CCE - Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000.

SANTOS, T.M.B.; LUCAS, J. J. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frango de corte**. 2001. 166p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SILVA, A. L. B., et al. **Comportamento da biomassa metanogênica de lodo de reator UASB tratando esgoto sanitário e lodo de descarte de biofiltros aerados submersos**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, ABES, Campo Grande, 2005.

SUZUKI, A.B.P., (2012), **Geração de Biogás Utilizando Cama de Aviário e Manipueira**. Cascavel, 60 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Energia na Agricultura). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

TESSARO, A. A. **Potencial Energético da Cama de Aviário Produzida na Região Sudoeste do Paraná Utilizada Como Substrato Para a Produção de Biogás**. Curitiba, 2011. Tese (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) Instituto de Engenharia do Paraná.p.13-18.

TURCO, J.E.P., MILANI, A.P., FURLAN, R.L., GUERREIRO, J.R., SECATO, E.R., MACARI, M. **Análise do consumo de energia elétrica e eficiência de conjuntos motor-ventilador utilizados na avicultura brasileira**; Engenharia Agrícola; Vol.18; Num.1; 1998.

UBABEF. **História da Agricultura no Brasil**. Disponível em: <http://www.ubabef.com.br/a_avicultura_brasileira/historia_da_avicultura_no_brasil>. Acessado em 15 janeiro 2014.

VALCKE, D., VERSTRAETE, W. A **Practical method to estimate the acetoclastic methanogenic biomass in anaerobic reactors**. J. Water Pollution Control Federation, v. 55, p. 1191-1195, 1983.

ZEEUW, W.J. **Aclimatization of anaerobic sludge for UASB – reactor Startup**. Doctoral Thesis. Agricultural University Wageningen, The Netherlands, pp.157, 1984.

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica.** / Hécio Alexandre Rodrigues Zilotti. — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012. 52 p.

APÊNDICE A
Formulário de Quesitação

| | |
|---|--------|
| Nome: | |
| RG: | Local: |
| Data: | |
| | |
| Quantidade de maravalha utilizada em cada galpão? | |
| | |
| | |
| Duração (em dias) de um lote de criação? | |
| | |
| | |
| Por quantos lotes a uma mesma cama de frango é reutilizada? | |
| | |
| | |
| Como a cama é trazida até o aviário? | |
| | |
| | |
| Quando a cama de frango chega no período de descarte, quem e como ela é coletada? | |
| | |
| | |
| Para onde essa cama de frango é levada? | |
| | |
| | |
| Qual o tratamento (se houver) da cama de frango descartada? | |
| | |
| | |
| Essa cama de frango é reutilizada após sair dos aviários? Para que? | |
| | |
| | |
| Se ela não é reutilizada após sair dos aviários, onde ela é descartada? De que maneira? | |
| | |
| | |
| Assinatura do Entrevistado: | |