UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA

Airon Magno Aires
Zootecnista

JABOTICABAL, SP - BRASIL
2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA

Airon Magno Aires
Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, Unesp, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

JABOTICABAL, SP - BRASIL
2009

Aires, Airon Magno
A298b Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida / Airon Magno Aires. – – Jaboticabal, 2009
xviii, 134 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009
Orientador: Jorge de Lucas Junior
Banca examinadora: Roberto Alves de Oliveira, Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Bibliografia

1. Produção de biogás. 2. Aproveitamento de resíduos. 3. Biodigestor batelada e contínuo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 662.76:636.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
E-mail: aironzootecnista@yahoo.com.br

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

AIRON MAGNO AIRES – nascido na cidade de Sorocaba-SP, aos 21 dias do mês de novembro do ano de 1980, filho de Roseli Narciso de Oliveira e Ivo Aires dos Santos. Em 1999 obteve a Habilitação Profissional de Processamento de dados pelo Instituto de Educação “Ciências e Letras”, Sorocaba-SP. Em Agosto de 2006, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana-MS. Em março de 2007, ingressou no curso de Pós-graduação em Zootecnia, junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, área de concentração em Produção Animal, em nível de Mestrado.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma"

(Antoine Laurent Lavoisier, 1774 – Lei da Conservação das Massas - Químico francês)

“Nada neste mundo é tão poderoso como uma idéia que chegou no tempo certo”

(Victor-Marie Hugo, 1885 – Pensamento político - Escritor, poeta e político francês)

“Por onde quer que andeis, sempre deixeis uma imagem”

(Victor Narciso de Oliveira, 1997 – Conselho de avô – Inventor, artesão e poeta brasileiro)

Aos meus exemplos de vida,

meus pais, Ivo e Rose, que sempre com sorriso e amor,

estão presentes nas minhas conquistas, me ensinando,

me ajudando e me apoiando. Por tudo que significam em

minha vida, por toda confiança na realização do meu sonho

e por não medirem esforços para minha formação pessoal.

Agradeço por vocês terem me proporcionado o convívio com

os animais e com a vida do campo, isso ajudou a incentivar a

minha verdadeira vocação profissional. Muito Obrigado !!!

DEDICO

Aos meus espelhos,

meus avós, João e Carolina (*in memorian*),

Victor e Iraídes, a ensinarem desde

pequeno o significado da vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e iluminar minha vida em todos os momentos e por me dar saúde, para que eu siga meu caminho.

À minha família, meu porto-seguro, que sempre me apoiou, independente da distância, sempre esteve presente, especialmente meus pais pelo apoio e incentivo em todas as decisões da minha vida, os quais sacrificaram o próprio pão para ofertá-lo a mim. Aos meus tios(as), primos(as), padrinhos e madrinhas, que sempre tiveram uma palavra amiga de incentivo, força e amizade. E as minhas queridas irmãs, Aieska e Aletéia, e sobrinhos Allison e Marcelinho, e sobrinhas Cacá e Duda, por todo amor e carinho.

Aos meus avós que sempre me deram carinho, em especial ao meu avô Victor que além de exemplo de vida, é um poeta, um artista que encanta e lança seu perfume de sabedoria e amor sobre a nossa família... Obrigado.

A minha linda namorada Tatiana Champion por todo companheirismo, paciência, ajuda, amor e força em todos os momentos. Admiro a sua ética profissional, suas condutas sempre me ensinam a ser uma pessoa melhor, obrigado por fazer parte da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior, o qual tenho como um pai aqui em Jaboticabal, por sua paciência, ensinamentos, convívio, amizade, confiança, exemplo de profissionalismo, amor à profissão e principalmente pelo incentivo a pesquisa, muito obrigado !

Ao nosso grupo de pesquisa, Camila Romantini, Ellen Fukayama, Adélia Miranda, Adriane Silva e Cristiane Xavier, por toda ajuda na condução dos experimentos e análises laboratoriais. Seria muito difícil concluir esta Dissertação sem ajuda de vocês ! Saibam que admiro o profissionalismo de cada um. Minha eterna gratidão !

E aos colegas de laboratório orientados(as) do Prof. Roberto, que sempre me passaram dicas na hora das análises. E aos amigos de Jaboticabal, companheiros ou não de PG, pelas conversas amigas e pensamentos positivos, meu abraço.

Aos membros da qualificação e defesa Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira, Prof. Dra. Vera Maria Barbosa de Moraes e Prof. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa pelas contribuições prestadas a este trabalho.

A todos os funcionários do Depto de Eng° Rural (Lui zinho, Primo, Marquinho, Cido, Maranhão, Torto, Tião, Fiapo, Luís Fiapo, Luís Cláudio, Carlão, Miriam, David, Ari, Silvia e Clarice) do setor de Avicultura (Robson, Vicente, Izildo e João), fundamentais no suporte deste trabalho e na minha vida profissional. Cada um sabe o quanto foram significantes para mim.

Ao meu amigo Diego, por ter me ajudado, tanto na universidade como na vida pessoal, e pelo convívio tão harmonioso e saudável que tivemos durante esses anos... Obrigado amigão !

Aos amigos da UNESP que de alguma forma me ajudaram a realizar este trabalho. E a todos que mesmo à distância, me deram suporte e apoio em toda esta jornada.

Aos meus senseis de Judô, Eduardo Odin de Arruda, Loi, Sergio Tanigawa e Lincoln Ortolani por terem me ensinado os princípios orientais do judô, contribuindo para o fortalecimento do meu caráter, a busca da serenidade e da simplicidade, minha gratidão !

A Empresa Rei Frango (São Carlos-SP/Brasil), pela contribuição no desenvolvimento do experimento das criações dos frangos de corte e pela cama de amendoim cedida, Muito Obrigado.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV - UNESP, campus de Jaboticabal e ao programa de Pós-graduação do curso de Zootecnia pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

Página

Lista de Tabelas..... vi

Lista de Figuras..... xii

Lista de Apêndice..... xv

Lista de Abreviaturas..... xvi

Resumo..... xvii

Abstract..... xviii

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS 01

1.1. Introdução 01

1.2. Revisão de Literatura 04

1.2.1. Problemas ambientais relacionados aos dejetos 04

1.2.2. Produção de biogás e biodigestão anaeróbia 06

1.2.3. Caracterização da cama de frango 07

1.2.4. Pré-tratamento da cama de frango para biodigestão anaeróbia 09

1.2.5. Fatores intrínsecos a biodegradação da matéria orgânica 10

1.2.6. Compostagem de cama frango 12

1.3. Objetivos Gerais 15

1.4. Estrutura da Dissertação 16

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE PARA ABASTECIMENTO DE BIODIGESTORES. 17

Resumo..... 17

Abstract..... 18
2.1. Introdução 19
2.2. Material e Métodos 20
2.2.1. Delineamento do teste de diluições 20
2.2.2. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis 21
2.2.3. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável 22
2.2.4. Análise estatística dos dados 22
2.3. Resultados e Discussão 23
2.4. Conclusões 26

CAPÍTULO 3 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM SISTEMA BATELADA 27

Resumo..... 27
Abstract..... 28
3.1. Introdução 29
3.2. Material e Métodos 30
3.2.1. Coleta da cama de frango de corte 30
3.2.2. Ensaio de biodigestão anaeróbia com cama de frango 32
3.2.3. Preparo da solução (fração líquida) 35
3.2.4. Preparo do inóculo 35
3.2.5. Preparo do substrato 36
3.2.6. Dados meteorológicos do período experimental 39
3.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis 39
3.2.8. Digestão e quantificação dos minerais 40
3.2.9. Determinação da produção de biogás 41

3.2.10. Teste de queima 42
3.2.11. Determinação dos teores de metano e dióxido de carbono e impurezas 43
3.2.12. Análise estatística dos dados 43
3.3. Resultados e Discussão 43
3.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis 43
3.3.2. Concentração de nutrientes dos substratos 45
3.3.2.1. Concentração de nutrientes da cama de frango 45
3.3.2.2. Concentração de nutrientes da fração líquida da cama de frango (solução) 47
3.3.2.3. Concentração de nutrientes do inóculo 49
3.3.2.4. Concentração de nutrientes dos afluentes 50
3.3.2.5. Concentração de nutrientes dos efluentes 54
3.3.3. Produção de biogás dos biodigestores batelada 55
3.4. Conclusões 62

CAPÍTULO 4 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO. 63

Resumo..... 63
Abstract..... 64
4.1. Introdução 65
4.2. Material e Métodos 66
4.2.1. Coleta da cama de frango de corte 67
4.2.2. Ensaio de biodigestão anaeróbia com cama de frango 69
4.2.3. Preparo da solução (fração líquida) 72
4.2.4. Preparo do inóculo 72

4.2.5. Preparo das cargas e coletas de efluentes 72
4.2.6. Preparo do substrato 75
4.2.7. Dados meteorológicos do período experimental 77
4.2.8. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis 78
4.2.9. Digestão e quantificação dos minerais 79
4.2.10. Determinação da produção de biogás 80
4.2.11. Teste de queima 81
4.2.12. Determinação dos teores de metano e dióxido de carbono 81
4.2.13. Análise estatística dos dados 82
4.3. Resultados e Discussão 82
4.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis 83
4.3.2. Concentração de nutrientes dos substratos 84
4.3.2.1. Concentração de nutrientes da cama de frango 84
4.3.2.2. Concentração de nutrientes da fração líquida da cama de frango (solução) 87
4.3.2.3. Concentração de nutrientes do inóculo 88
4.3.2.4. Concentração e redução de nutrientes dos afluentes e efluentes 90
4.3.3. Produção de biogás 91
4.4. Conclusões 96

CAPÍTULO 5 - COMPOSTAGEM DO MATERIAL RETIDO EM PENEIRA APÓS A SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGO DE CORTE 97

Resumo..... 97
Abstract..... 98
5.1. Introdução 99
5.2. Material e Métodos 99

5.2.1. Materiais utilizados na compostagem, montagem e monitoramento da leira (temperatura e peso) 100
5.2.2. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis 100
5.2.3. Digestão e quantificação de minerais 102
5.2.4. Teor de carbono orgânico 103
5.2.5. Análise estatística dos dados 103
5.3. Resultados e Discussão 103
5.3.1. Temperatura da Leira 103
5.3.2. Pesagens e sólidos totais da leira 105
5.3.3. Teores de carbono orgânico (C) e nitrogênio (N). 106
5.3.4. Teores da MO, MOC e MORC da leira 108
5.3.5. Teores de macro e micronutrientes da leira 109
5.4 Conclusões 110

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS 111

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 116

APÊNDICES 129

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS 1

Tabela 1. Concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nos materiais estudados. 9

CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE PARA ABASTECIMENTO DE BIODIGESTORES. 17

Tabela 1. Valores médios obtidos com a separação da fração sólida (FS) e líquida (FL) de cama de frango em diferentes diluições, sólidos totais (ST) da fração líquida. 23

CAPÍTULO 3 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM SISTEMA BATELADA. 26

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH), quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com as reutilizações de cama. 38

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e massa e redução de SV em porcentagem, para as diferentes reutilizações de cama de frango em biodigestores batelada. 44

Tabela 3.	Concentrações de macronutrientes na casca de amendoim, em g/100g de matéria seca (MS).	45
Tabela 4.	Concentrações de micronutrientes e metais na casca de amendoim, em mg/kg de matéria seca (MS).	45
Tabela 5.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores batelada.	45
Tabela 6.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores batelada.	46
Tabela 7.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores batelada e contínuo.	48
Tabela 8.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores batelada e contínuo.	48
Tabela 9.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores batelada e contínuo, abastecidos com cama de frango.	49
Tabela 10.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores batelada e contínuo, abastecidos com cama de frango.	50
Tabela 11.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS) nos afluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.	51
Tabela 12.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos afluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.	51

Tabela 13. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS) nos efluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango. 53

Tabela 14. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos efluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango. 53

Tabela 15. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm., em biodigestores batelada abastecidos com camas de frango reutilizadas. 55

Tabela 16. Valores médios da produção diária de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm, em biodigestores alimentados com cama de frango de diferentes reutilizações de cama. 57

Tabela 17. Produção média de CH_4 e CO_2 e impurezas (%) da última semana de operação dos biodigestores, para diferentes reutilizações de cama de frango. 60

Tabela 18. Média do dia inicial da queima do biogás, para diferentes reutilizações. 61

Tabela 19. Média da produção de biogás acumulada (%) antes e após o início da queima. 62

CAPÍTULO 4 – BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO. 63

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH) e quantidades médias dos componentes iniciais do substrato colocado nos biodigestores, de acordo com o tratamento. 77

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem, para as

	diferentes reutilizações de cama de frango em biodigestores contínuo.	83
Tabela 3.	Concentrações de macronutrientes na casca de amendoim, em g/100g de matéria seca (MS).	84
Tabela 4.	Concentrações de micronutrientes e metais na casca de amendoim, em mg/kg de matéria seca (MS).	84
Tabela 5.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores contínuos.	85
Tabela 6.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores contínuo.	85
Tabela 7.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores contínuo.	87
Tabela 8.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores contínuo.	87
Tabela 9.	Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores contínuo, abastecidos com cama de frango.	89
Tabela 10.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores contínuo, abastecidos com cama de frango.	89
Tabela 11.	Concentrações médias de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), nos afluentes e efluentes de biodigestores contínuo abastecidos com cama de frango.	90
Tabela 12.	Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos afluentes e efluentes de biodigestores	90

contínuo abastecidos com cama de frango.

Tabela 13. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm., em biodigestores contínuo abastecidos com camas de frango reutilizada. 91

Tabela 14. Valores médios da produção semanal de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm, em biodigestores alimentados com cama de frango de diferentes reutilizações de cama. 92

Tabela 15. Produção semanal de CO_2 e de CH_4 e impurezas (%) a partir da sexta semana para diferentes reutilizações de cama de frango. 94

Tabela 16. Média da produção de biogás acumulada (%) antes e após o início da queima. 95

CAPÍTULO 5 - Compostagem do material retido em peneira após a separação de sólidos e líquidos da cama de frango de corte 97

Tabela 1. Quantidades (kg) na matéria natural (MN), na matéria seca (MS) e porcentagem (%) de sólidos totais (ST) e as reduções de ST da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água). 105

Tabela 2. Teores de carbono orgânico (C %), nitrogênio (N %) e a relação C/N da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água). 107

Tabela 3. Teores da matéria orgânica (MO %), matéria orgânica compostável (MOC %) e matéria orgânica resistente a compostagem (MORC %) da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água). 108

Tabela 4. Teores de (%) de macronutrientes da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água). 109

Tabela 5. Teores de (%) de micronutrientes da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água). 110

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE PARA ABASTECIMENTO DE BIODIGESTORES. 17

Figura 1. Quantidade de carbono, em kg por 100 kg e tendência polinomial da fração sólida e líquida segundo as diluições de cama de frango em água. 25

Figura 2. Quantidade de matéria orgânica compostável, em kg por 100 kg e tendência polinomial com curva de regressão da fração sólida e líquida segundo as diluições de cama de frango em água. 25

CAPÍTULO 3 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM SISTEMA BATELADA. 28

Figura 1. Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm. 33

Figura 2. Biodigestores tipo batelada utilizados no experimento. 34

Figura 3. Parte interna do biodigestor tipo batelada utilizado no experimento. 34

Figura 4. Volume acumulado de biogás (m^3/49 dias) e tendência polinomial (1º a 4º lote de criação de aves) dos tratamentos peneirados e não peneirados em 49 dias de produção, 56

utilizando cama de frango reutilizadas.

Figura 5. Volume de Biogás m^3/dia de cama de frango de números diferentes de reutilizações não peneiradas. 58

Figura 6. Volume de Biogás m^3/dia de cama de frango de números diferentes de reutilizações peneiradas. 58

Figura 7. Volume de biogás (m^3/dia) e tendência polinomial (1º a 4º lote de criação de aves) dos tratamentos peneirados e não peneirados, utilizando cama de frango reutilizadas. 59

CAPÍTULO 4 – BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO. 63

Figura 1. Esquema dos biodigestores contínuos. 70

Figura 2. Biodigestores tipo batelada utilizados no experimento. 71

Figura 3. Parte interna do biodigestor tipo contínuo utilizado no experimento 71

Figura 4. Valores médios do volume de biogás (m^3/semana) início da queima e tendência polinomial das camas de frango reutilizadas, durante sete semana para o tratamento não peneirado e 23 semanas para o tratamento peneirado. 93

CAPÍTULO 5 - COMPOSTAGEM DO MATERIAL RETIDO EM PENEIRA APÓS A SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGO DE CORTE 97

Figura 1. Temperatura (ºC) e tendência polinomial da leira de compostagem durante os 90 dias de avaliação. 104

Figura 2. Peso (kg) na matéria natural e tendência linear da leira de compostagem durante os 90 dias de avaliação. 105

LISTA DE APÊNDICES

		Página
APÊNDICE 1.	Galpão de frangos de corte utilizado no experimento.	134
APÊNDICE 2.	Abertura de uma vala em cada box para coleta da cama.	134
APÊNDICE 3.	Espaço para homogeneização da cama após a coleta	134
APÊNDICE 4.	Sistema de separação de sólidos e líquidos da cama de frango (Cama *in natura*, separação dos sólidos e fração líquida resultante).	135
APÊNDICE 5.	Inóculo (biofertilizante) do lote anterior.	135
APÊNDICE 6.	Fluxograma do delineamento dos tratamentos peneirado (com diluição 4:1 e separação de sólidos e líquidos) e não peneirado (sem diluição e separação), para biodigestão anaeróbia e compostagem da cama de frangos de corte.	136
APÊNDICE 7.	Dados meteorológicos mensais do ano de 2007 em Jaboticabal no período experimental.	137
APÊNDICE 8.	Carga diária de biodigestores contínuos.	137
APÊNDICE 9.	Início do processo de compostagem (Figura A); Material final peneirado após 90 dias de enleiramento (Figura B); Material retido em peneira com malha de 10 mm no fim do processo (Figura C); Perspectiva do material peneirado e retido na peneira ao final da compostagem (Figura D).	138

LISTA DE ABREVIATURAS

atm	atmosfera
cm.c.a	centímetros de coluna d'água
cm	Centímetro
CO_2	Dióxido de Carbono
C:N	Relação entre Carbono e Nitrogênio
CV	Coeficiente de Variação (estatística)
Cu	Cobre
kWh	Quilowatt-hora
FL	Fração líquida
Fe	Ferro
FS	Fração sólida
G	Grama
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLM	
º	Grau
ºC	Grau Celsius
HNO_3	Ácido Nítrico
$HClO_4$	Ácido Perclórico
H_2S	Ácido Sulfídrico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
K	Potássio
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
L	Litro
M	Metro
M^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
Mg	Magnésio
µg	Micrograma
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MWh	Megawatt-hora
MN	Matéria Natural
MOC	Matéria orgânica compostável
MORC	Matéria orgânica resistente à compostagem
N	Nitrogênio
N_2	Gás Nitrogênio
Na	Sódio
NH_3	Amônia
N_2O	Óxido Nítrico
O_2	Oxigênio
P	Fósforo
%	Porcentagem
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Peso obtido após queima em mufla
Pu	Peso úmido
Ps	Peso seco
S	Sul
SAS	Statistical Analyis Software
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TRH	Tempo de retenção hidráulica
U	Umidade
Z	Fator de compressibilidade
Zn	Zinco

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA

RESUMO: Objetivou-se avaliar o efeito da reutilização das camas de quatro lotes de frango de corte, sobre a produção de biogás, sendo estas submetidas ou não à diluição e separação de sólidos e líquidos em biodigestores operados em batelada e contínuo. No Capítulo 1 é apresentado o problema, a justificativa do estudo juntamente com os objetivos gerais do projeto. O Capítulo 2 teve como objetivo avaliar as diluições de cama de frango e as concentrações de Sólidos Totais (ST). As camas de casca de amendoim foram diluídas em água e separadas em peneira de malha de 3 mm, nas seguintes proporções: 2:1; 4:1 até 14:1. Assim foi escolhida a diluição 4:1 (a qual se obteve 3,01 % de ST) para realizar os ensaios. Os Capítulo 3 e 4 avaliaram as camas de quatro lotes de frango de corte com diluição 4:1, submetidas ou não à separação de sólidos, em biodigestores batelada e contínuo respectivamente. O tratamento não peneirado obteve maiores produções de biogás em relação ao tratamento peneirado (Capítulo 3), ao passo que no Capítulo 4 os resultados se inverteram. Em ambos os os ensaios experimentais, ocorreram aumento da concentração de minerais em massa. O objetivo do Capítulo 5 foi avaliar o processo de compostagem da cama de frango, após diluição e separação de sólidos. O ensaio foi conduzido por um período de 90 dias, utilizando-se a cama de frango de corte de 4º reutilização. Foram utilizados para montagem da leira 348,94 kg de cama de frango/MN. A cama retida na peneira se mostrou favorável ao processo de compostagem, apresentando uma relação C:N de 12:1, o que influenciou na redução de 25 % dos ST ao final do enleiramento.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, biogás, biodigestor batelada e contínuo, compostagem, dejetos, energia.

ANAEROBIC DIGESTION OF BROILER LITTER WITH OR WITHOUT SEPARATION OF FRACTION SOLID AND LIQUID

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effect of reuse of litters of four batches of broilers on the production of biogas. The litters were submitted or not the dilution and separation of solids and liquids in batch and continuous systems of anaerobic digestion (AD). In Chapter 1 is presented the problem, the justification of the study together with the general objectives of the project. Chapter 2 was to evaluate the dilutions of broiler litter and the concentrations of Total Solids (TS) for AD. The litter of peanut hulls was diluted in water and separated in a mesh sieve of 3 mm, as follows: 2:1, 4:1 to 14:1. The highest values of TS were found in the lower dilutions, was chosen as the dilution 4:1 (which returned 3.01% in TS) to perform the tests for AD. In Chapter 3 and 4 were intended to assess the DA of the litters of four batches of broiler with 4:1 dilution, or not submitted to the separation of solids in batch and continuous systems, respectively. The treatment not sieved obtained higher production of biogas in the treatment sieved (Chapter 3), while Chapter 4 the results are reversed. In both chapters were reductions of mineral mass (kg) after AD. The purpose of Chapter 5 was to evaluate the process of composting of broiler litter, after dilution and separation of solids. The test was conducted in a period of 90 days, using the litter of broilers from 4 reuses. Were used for assembling a pile 348.94 kilograms of broiler litter / MN. The litter retained on the sieve was favorable to the process of composting, giving a C:N of 12:1, which influenced the reduction of 25% of the end of piling ST.

Keywords: biogas, compost, digesters batelada and continuous, energy, manure, recovery of waste.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Introdução

Durante o último século e início deste, o mundo se fez dependente de energia de fontes não renováveis, os combustíveis fósseis, os quais contribuem intensivamente ao aquecimento global. Estes combustíveis oriundos do petróleo tiveram por várias vezes seus fornecimentos comprometidos e preços super valorizados por crises políticas e econômicas. Por isso, durante os últimos decênios estudos relacionados à produção de energias de fontes renováveis tem-se intensificado no meio rural em especial na avicultura, no sentido de substituir a fonte de energia até agora utilizada.

A partir da crise do petróleo nos anos 70, ocorreu uma busca de fontes alternativas de energia, no Brasil e no mundo. Para o meio rural, a alternativa que se mostrou promissora foi o biogás obtido com a biodigestão anaeróbia de material orgânico vegetal e/ou animal. Considerando a elevação crescente dos preços dos insumos energéticos, o que torna extremamente cara a utilização de combustíveis de natureza fóssil, a vocação avícola do Brasil e suas condições climáticas, verifica-se que a geração de biogás, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, constitui-se em importante alternativa de fornecimento de energia às propriedades avícolas, contribuindo para sustentabilidade da cadeia produtiva.

Visto que, ao longo de 2008 uma empresa de fornecimento de energia elétrica desenvolveu um projeto piloto (com respaldo em autorização concedida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), eficaz e de baixo custo para o gerenciamento e geração de eletricidade pelo produtor rural. E de forma pioneira em janeiro de 2009, fez uma chamada pública inédita no Brasil para comprar energia elétrica produzida com biogás gerado por dejetos de animais. O objetivo da empresa é adquirir a energia elétrica produzida em instalações com no máximo 300 kW (quilowatts) de potência instalada cada, até atingir um limite de 3 mil kW no total. Com essa potência, seria possível atender aproximadamente 600 residências de

padrão médio de consumo. O resultado dessa chamada pública foi a contratação de seis empresas que geram de 20 a 240 kW com preço de venda de até R$ 129,72/MWh.

O setor avícola só tem a ganhar com estas iniciativas, visto que a produção de cama de frango está intimamente ligada a geração de energia térmica através da produção de biogás.

Registra-se que em 2008 foram produzidos no Brasil 5,08 bilhões de pintos de corte, que resultaram a produção de 11,03 milhões de toneladas de carne, consagrando o Brasil como o maior exportador mundial de carne de frango por cinco anos consecutivos (ABEF, 2009; UBA, 2009). Considerando-se a produção média de cama de 2,19 kg por frango de corte na matéria natural (MN) (SANTOS e LUCAS JR., 2003) estima-se, portanto que em 2008 foram produzidos aproximadamente 11,12 bilhões de kg de cama de frango (MN).

À medida que a produção nacional de frangos aumenta, maiores quantidades de cama são geradas sendo notória a necessidade eminente de se pensar nas possibilidades de manejo e de destino deste resíduo a fim de minimizar os impactos por ele causados, principalmente pelas elevadas concentrações de nitrogênio e carbono orgânico presente no material.

Entre as novas opções de manejo de resíduos encontra-se a separação das frações sólidas e líquidas com destinos diferenciados dentro da propriedade, aonde a fração líquida teria o destino da biodigestão anaeróbia e a fração sólida a compostagem. No entanto, para uma otimização do processo de biodigestão anaeróbia, esse substrato residual, a fração líquida, pode precisar de ajustes em suas características de sólidos totais e diluições necessárias visando o melhor desempenho do biodigestor com a menor diluição possível.

O conteúdo de sólidos totais do resíduo líquido do efluente pode ser separado, em termos gerais, entre aquele dissolvido e o presente como matéria suspensa. De acordo com este fato, um fracionamento útil do material suspenso pode ser realizada para refletir a performance dos principais grupos de equipamentos de separação

disponíveis. Estas frações são constituídas por sólidos dissolvidos, partícula coloidal, sólidos finos, grossos e fibras (BURTON, 2007).

Neste sentido muitos estudos surgiram nas últimas décadas para avaliar a biodigestão anaeróbia de dejetos de aves com a finalidade de otimizar a produção de biogás (JONES JR e OGDEN, 1984; WEBB e HAWKES, 1985; LUCAS JR et al., 1993; CHEN e SHYU, 1998; ITODO e AWULU, 1999; SANTOS, 2001; STEIL et al., 2002; AUGUSTO, 2007; FUKAYAMA, 2008; AIRES et al., 2008).

A biodigestão anaeróbia de excretas, uma das formas de bioconversão, oferece várias vantagens como: conversão de resíduos orgânicos em gás metano, o qual pode ser usado diretamente como fonte energética; redução da emissão de amônia; controle de odores e o efluente da digestão anaeróbia, que pode ser utilizado como biofertilizante nas plantações, por ser fonte de vários minerais, além de contribuir para a rápida amortização dos custos da tecnologia instalada.

Além destas, outras vantagens da digestão anaeróbia podem ser citadas como: a contribuição para a mitigação das emissões de gases estufa como o CH_4; a conservação de áreas destinadas a aterro de resíduos, diminuindo o acúmulo de metais no solo, além da lixiviação dos mesmos para o lençol freático; alterações nas relações familiares e sociais nas camadas de baixa renda em função do fornecimento de energia de baixo custo e todas as benéficas conseqüências; influência na balança comercial do país pela substituição de combustíveis fósseis e redução dos conseqüentes impostos; minora distorções de mercado referentes a práticas monopolistas do setor energético em função da auto-suficiência que propicia; a atuação como um mecanismo de segurança para o sistema regional ou local de geração e distribuição de energia e a geração de empregos (FUKAYAMA, 2008).

Segundo Konzen (2003), a cama de frangos de corte pode constituir fertilizante eficiente e seguro na produção de grãos e de pastagem, desde que precedidos dos ativos ambientais que assegurem 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 frangos como fonte de energia

renovável, é possível observar a necessidade de maiores avaliações para implantação de uma linha de base com o objetivo da 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.

1.2. Revisão de Literatura

1.2.1. Problemas ambientais relacionados aos dejetos

O problema ambiental que vem recebendo atenção especial nos últimos anos, não apenas no que se refere à avicultura, mas a produção animal em geral é o alto potencial de emissão de gases de efeito estufa proveniente da degradação dos dejetos em locais inapropriados. Segundo a United Nations Framework Convention on Climate Change (2006) 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa são provenientes das atividades agropecuárias, sendo o metano (produzido durante a degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio) e o óxido nitroso (produzido em meios anaeróbios utilizando os compostos nitrogenados de natureza orgânica ou inorgânica) os principais gases envolvidos. Estes gases impedem a saída da radiação solar que é refletida na superfície da Terra para o espaço contribuindo assim para o aumento da temperatura global.

Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera e seu potencial de aquecimento global com relação ao CO_2 (o CO_2 é o principal gás do efeito estufa, por isso foi eleito como sendo índice 1 para o aquecimento global e os demais gases são comparados a ele). Segundo a United Nations Framework Convention on Climate Change (2006) a vida média desses gases na atmosfera seria de 12 anos para o CH_4 e 120 anos para o N_2O e os respectivos potenciais de aquecimento global de 21 e 310.

A única forma de evitar a emissão destes gases seria a captação e posterior queima, onde o CH_4 e N_2O seriam transformados em CO_2 e N_2 após a queima, reduzindo assim a contribuição para o aquecimento global.

Em função desse apelo ambiental o manejo de dejetos merece destaque como, atualmente como uma preocupação a mais aos produtores do setor, envolvendo qualidade, comércio e interferindo nos custos de investimento e retorno, que são fatores importantes na produção lucrativa de aves.

Os dejetos provenientes da avicultura de corte são tão valiosos do ponto de vista biológico que devem ser usados com inúmeras vantagens e não simplesmente como dejeto a ser eliminado (MORENG e AVENS, 1990).

Os resíduos, quando dispostos sem prévio tratamento, comprometem a qualidade do solo e da água, com contaminação dos mananciais pelos microrganismos, toxidade a animais e plantas e depreciação do produto, porém com percepção em médio e longo prazo.

Deste modo, fica evidente a necessidade de desenvolvimento de tecnologias mais limpas com perspectivas de mitigar o abuso ao meio ambiente e produção de tais resíduos.

O direcionamento para cada uma dessas situações depende exclusivamente do manejo adotado que, quando bem conduzido, permite o aproveitamento quase que integral dos resíduos dentro das condições estabelecidas em cada propriedade (SANTOS, 2000).

Com base nas características quantitativas, qualitativas e pelo alto potencial de emissão de gases de efeito estufa dos dejetos de aves, torna-se evidente a necessidade de um tratamento que atue sobre cada um desses pontos. A biodigestão anaeróbia pode ser utilizada nesse tratamento, pois além de reduzir o poder poluente, e os riscos sanitários dos dejetos, tem como subprodutos o biogás e o biofertilizante (PLAIXATS et al., 1988).

Enfim o poder poluente dos dejetos animais é extremamente alto, face ao elevado número de contaminantes que possui, cuja ação individual ou combinada, representa uma fonte potencial de contaminação e degradação do ar, dos recursos

hídricos e do solo. Estes fatos vêm exigindo a fixação de parâmetros de emissão cada vez mais rigorosos pela legislação ambiental, visando à preservação dos recursos naturais, do conforto e da saúde humana (STEIL et al., 2003).

1.2.2. Produção de biogás e biodigestão anaeróbia

O biogás é o nome comum dado à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica (RUIZ et al., 1992; CAMARERO et al., 1996; GARBA, 1996; LASTELLA et al., 2002; YADVIKA et al., 2004).

Na forma como é produzido, o biogás é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH_4) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de O_2, N_2, H_2S, etc., segundo Ruiz et al. (1992).

O processo biológico para produção de biogás ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interage estreitamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (FORESTI et al., 1999).

A biodigestão anaeróbia geralmente é dividida em três fases, hidrólise, acidogênese e metanogênese. Porém, há autores que a dividem em quatro fases, acrescentando a acetogênese, fase intermediária entre a acidogênese e a metanogênese (CAMARERO et al., 1996; SINGH e SINGH, 1996; STERLING et al., 2001). Há ainda quem divida o processo nas fases de hidrólise, acetogênese e metanogênese (SHARMA et al., 2000).

A primeira fase da digestão anaeróbia é chamada de hidrólise e envolve a transformação mediada por enzimas extracelulares dos compostos insolúveis e dos compostos com alto peso molecular como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucléicos em compostos solúveis mais simples como os monossacarídeos, os aminoácidos e os ácidos graxos. As bactérias que hidrolisam a matéria orgânica nessa primeira fase são facultativas e anaeróbias estritas.

Na segunda fase, chamada de acidogênese, outro grupo de microrganismos transformam os produtos resultantes da fase anterior em ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono e outros ácidos orgânicos como o propiônico e o butírico que podem ser convertidos em ácido acético.

Na terceira fase, o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos em uma mistura de metano e de dióxido de carbono pelas arquéias metanogênicas (dentre elas as que utilizam o acetato, *Methanosarcina spp.* e *Methanosaeta* e as que utilizam o formiato e o hidrogênio, *Methanobacterium spp.* e *Methanococcus spp.*) (RUIZ et al., 1992; GARBA, 1996; HESSAMI et al., 1996; HAMMAD et al., 1999; LASTELLA et al., 2002; LIU et al., 2002)

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia depende, portanto, de condições ambientais específicas (nutrientes, temperatura, tempo de retenção hidráulica suficiente e outros) para que as diferentes populações de microrganismos possam crescer e se multiplicar (SINGH, S. e SINGH, S.K. 1996; HAMMAD et al., 1999; YADVIKA et al., 2004).

O uso do biogás traz ganhos econômicos devido à redução dos gastos com combustíveis, como também traz ganhos ambientais através da troca de um combustível não renovável por um renovável e redução da contribuição da atividade para o aquecimento global.

1.2.3. Caracterização da Cama de Frango

Cama é todo o material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves (PAGANINI, 2004), sendo uma mistura de excreta, penas das aves, ração e o material utilizado sobre o piso. Vários materiais são utilizados como cama: maravalha, casca de amendoim, casca de arroz, casca de café, capim seco, sabugo de milho picado, entre vários outros materiais (GRIMES, 2004).

A cama de frango foi fornecida para ruminantes por muito tempo, porém, devido aos problemas sanitários ocorridos na Europa em 2001, como a encefalopatia

espongiforme bovina (BSE), o Ministério da Agricultura publicou uma Instrução Normativa (BRASIL, 2001) proibindo, entre outros, a comercialização da cama de frango com a finalidade de alimentação para ruminantes. Tal proibição se deve aos riscos de haver contaminação da cama com restos de ração que por ventura tenha proteína animal em sua composição. Devido à dificuldade de fiscalização em todo o território brasileiro para a diferenciação se as aves foram alimentadas com proteína especificamente vegetal ou animal, a instrução proíbe o uso de toda e qualquer cama, independente da sua origem.

Com esta correta proibição, o destino para cama de frango tornou-se restrito, sendo necessárias pesquisas com objetivo de estudar alternativas para o aproveitamento deste resíduo.

A reutilização da cama é uma alternativa viável para diminuir o impacto ambiental provindo do acúmulo deste resíduo, além de favorecer regiões em que há escassez do material base e dificuldade para vender a cama após a saída dos animais.

Outras razões para a reutilização da cama são: custo para aquisição do material; mão-de-obra para retirar a cama do galpão, aliada à tentativa de diminuir o tempo ocioso das instalações; diminuição da atividade madeireira, tornando escassa a oferta de maravalha e adaptação às épocas do ano para disponibilidade dos materiais (PAGANINI, 2004).

Segundo Lien et al. (1992); Malone (1992) e Brake et al. (1993), a cama pode ser reutilizada de 1 a 6 vezes sem que haja diferenças significativas no que se refere à mortalidade, ganho de peso, consumo de ração, eficiência alimentar e qualidade das carcaças.

Vários fatores influenciam a composição químico-bromatológica da cama de frango, como a composição da ração, quantidade do material de cobertura do piso do galpão, estação do ano, densidade de alojamento das aves, tipo de substrato de cama, ventilação do galpão, nível de reutilização da cama e características das excretas das aves.

Santos (1997) constatou que há diminuição significativa na produção de resíduos na granja quando se reutiliza a cama. Segundo a autora, o coeficiente de resíduo no

qual se criou um lote foi de 0,521 kg de matéria seca (MS) de cama/kg de peso vivo de ave, e para dois lotes de 0,439 kg de MS de cama/kg de peso vivo de ave, indicando que uma reutilização pode diminuir o coeficiente de resíduo (produção de cama) em aproximadamente 16%. Severino et al. (2006), ao estudarem onze materiais orgânicos (Tabela 1), dentre esses a casca de amendoim e a cama de frango, encontraram valores de macronutrientes diferentes de Santos et al. (1997).

Tabela 1. Concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nos materiais estudados.

Materiais	N	P	K	Ca	Mg
			(g/100g)		
Casca Amendoim	1,53	0,36	0,79	0,46	0,21
Cama Frango	2,95	3,87	1,10	4,71	6,93

Fonte: SEVERINO et al. (2006).

Como a concentração de minerais na cama de frango pode influenciar no desenvolvimento da biodigestão anaeróbia, demonstra-se a importância de conhecê-la para melhor manejar o biodigestor e conseqüentemente conhecer o valor agronômico do efluente (biofertilizante) para adubação de plantas.

1.2.4. Pré-tratamento da cama de frango para biodigestão anaeróbia

Pode ser necessário que a cama tenha que sofrer um pré-tratamento antes de ser adicionada ao biodigestor, o mais indicado seria a moagem, pois as partículas de maravalha são muito grandes e isso pode diminuir a eficiência da atividade dos microrganismos. Em relação ao teor de umidade da cama, é necessária a adição de água para a da diminuição do teor de sólidos e diluição do conteúdo. Se o teor de sólidos totais for muito alto, demandará um longo TRH dificultando a consorciação produção de biogás/avicultura.

Segundo Lucas Junior et al. (1993), há biomassas que apenas diluídas podem apresentar bons resultados no processo de digestão anaeróbia, com relativa facilidade de degradação, porém outras são mais difíceis de serem degradadas pelos microrganismos envolvidos no processo, apresentando degradação lenta e nesses casos, se faz necessária não apenas a diluição como também a inoculação.

Um dos problemas é a quantidade de material de difícil degradação existente em algumas camas de frangos, como por exemplo a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para os microorganismos na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha, desta fração grosseira existente na cama possa incrementar a produção de biogás e reduzir o percentual de ST, antes da biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar.

1.2.5. Fatores intrínsecos a biodegradação da matéria orgânica

A temperatura é um fator extremamente importante na digestão anaeróbia, uma vez que influi na velocidade do metabolismo bacteriano, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI et al., 1999). O efeito da temperatura sobre o processo de digestão anaeróbia tem sido estudado por diversos autores nas faixas psicrofílica, abaixo de 20 ºC (MASSÉ et al., 2000; MASSÉ e DROSTE, 2000), mesofílica, entre 20 e 45 ºC (BROUGHTON et al., 1998; CHEN e SHYU, 1998), e termofílica, entre 50 e 70 ºC (ÖZTÜRK, 1993; LEPISTO e RINTALA, 1996).

A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. Dentre eles o carbono, nitrogênio e o fósforo são minerais essenciais para todos os processos biológicos da metanogênese. A quantidade de N e P necessária para a degradação da matéria orgânica presente depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, a partir de reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (FORESTI et al., 1999).

Embora essencial ao processo de biodegradação da matéria orgânica, o nitrogênio, pode tornar-se um fator inibitório quando em altas concentrações na forma de amônia. As concentrações do íon amônio (NH_4+) e amônia livre (NH_3) são ditadas pelo pH, com altos valores de pH a forma NH_3 prevalece, e é mais inibitória que a forma ionizada (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

Damianovic (1992) em revisão de literatura sobre aspectos nutricionais em processos anaeróbios fez referências a uma série de trabalhos que comprovaram a importância de micronutrientes na estimulação do processo, no entanto, o único metal traço testado em reatores de grande porte foi o ferro, com resultados bastante satisfatórios.

Apesar dos dejetos de aves possuírem alta degradação, uma fração deste total pode não ser biodegradável ou lentamente biodegradável. Por isso espera-se que a separação desta fração sólida do restante do resíduo a ser destinado ao tratamento anaeróbio, se torne mais facilmente degradado pelos microorganismos. Com isso o processo pode se tornar mais eficiente (maior produção de biogás/kg de sólido), rápido (menor tempo de retenção hidráulica) e econômico, pois necessitará de biodigestores menores para um mesmo número de animais.

Existem várias formas de separar frações mais degradáveis de frações menos degradáveis. Em se tratando de água residuária, uma das formas mais comuns é a separação da fração sólida da fração líquida, por meio de peneiras de separação, tambores rotativos, centrifugação e decantação. A fração liquida possui maior quantidade de nutrientes solúveis, já na fração sólida maiores quantidades de frações insolúveis menos degradáveis como celulose, hemicelulose e lignina.

O fato de a fração sólida possuir menor potencial de produção de biogás não implica que essa fração deva ser descartada do processo, a decisão vai depender da eficiência e a rapidez que se necessita para tratar os dejetos. Caso a decisão seja favorável à separação de sólidos será necessário um tratamento concomitante (compostagem), para que os resíduos sólidos sejam tratados, pois estes possuem um poder poluente elevado e necessitam de tratamento adequado antes de serem aplicados no meio ambiente.

Os avanços conseguidos na avicultura, como um todo, indicam que os números que correspondem ao crescimento da atividade avícola, tanto da produção de carne como da produção de dejetos, merecem ser analisados sob aspectos que se relacionam aos ganhos de mercado e as perdas e degradação de recursos naturais. Nesse contexto, consideram-se os impactos nos receptores de efluentes (solo, água e ar), indicando que qualquer sistema que promova transformação nos dejetos seja o mais eficiente possível em reduzir os impactos, quando o meio em que se instala a atividade se apresentar com alta sensibilidade no comprometimento dos recursos.

Porém quando o meio apresentar boa capacidade suporte para a atividade, o sistema de estabilização dos dejetos deverá ser o mais eficiente possível em permitir a ciclagem energética e orgânica/mineral na propriedade, resultando em menores custos de produção. Este fato justifica o estudo da separação de sólidos, dos tempos de retenção hidráulica e do potencial de produção de biogás remanescente no efluente dos biodigestores, pois este dado permitirá a avaliação do potencial de emissão de metano para atmosfera em cada tempo de retenção adotado.

1.2.6. Compostagem de cama de frango

O composto orgânico é um material bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, coloração escura, rico em matéria orgânica, isento de microrganismos patogênicos e o teor de nutrientes presentes no composto orgânico é determinado pelas matérias-primas que foram utilizadas no processo. Tem capacidade de liberação lenta de macro e micronutrientes, excelente estruturador do solo, favorecendo rápido enraizamento das plantas e aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão (KIEHL, 1985; MELO et al., 1997).

A matéria orgânica presente no composto orgânico é responsável por algumas reações químicas que ocorrem no solo, como complexação dos elementos tóxicos e micronutrientes, influência na capacidade de troca catiônica e pH, além de fornecer nutrientes às plantas (CEZAR, 2001).

Segundo Kiehl (1985), compostagem é um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante, obtendo-se mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica. Para Carvalho (2001) a compostagem é um processo de bio-oxidação exotérmica, aeróbio, de um substrato orgânico sólido e heterogêneo obtendo como produto final água, gás carbônico, com simultânea liberação de matéria orgânica que estabiliza após a maturação.

O processo de compostagem consiste em duas fases distintas: a primeira, fase termofílica, em que ocorre a máxima atividade microbiológica de degradação fazendo a temperatura permanecer elevada entre 45 e 65℃ (VITORINO e PEREIRA NETO, 1992). Tal condição causa a morte efetiva de patógenos e sementes de plantas invasoras (LEAL e MADRID de CAÑIZALES, 1998). Os microrganismos predominantes nesta fase são bactérias, em geral do gênero *Bacillus*, fungos e actinomicetos (PAUL, 1996).

Nesta fase o material apresenta a característica de fitotoxidade, formando ácidos orgânicos, minerais e toxinas de curta duração. Se o material contiver mais nitrogênio (N) do que o necessário para que os microrganismos decomponham o resíduo, como no caso dos dejetos de galinhas poedeiras, este excesso pode ser eliminado na forma de amônia (KIEHL, 2002).

Após a fase termofílica, segue-se uma fase de abaixamento de temperatura, chegando a temperaturas próximas ao ambiente, quando se dá a bioestabilização da matéria orgânica e humificação e consequentemente a produção de um composto final, denominado composto orgânico (KIEHL, 1985).

No processo de compostagem, a matéria-prima é absolutamente heterogênea e tem seus componentes agrupados em moléculas de rápida degradação, como por exemplo, amido e hemicelulose, que são responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico. Já as proteínas são hidrolisadas em peptídeos, aminoácidos e outros produtos de transformação que se incorporam ao composto durante o processo de humificação. Os fragmentos da degradação da lignina dão origem à diferentes derivados que são moléculas de degradação lenta. Ao mesmo tempo, a lignina reage

com o nitrogênio para formar moléculas de lignoproteínas e nitrogênio heterocíclico, que não são encontrados nos vegetais. Estas reações são realizadas por fungos lignolíticos, bactérias e actinomicetos (CARVALHO, 2001).

Os materiais a serem compostados geralmente apresentam-se com tamanhos de partículas completamente irregulares. A sua redução favorece o aumento da atividade bioquímica durante o processo de compostagem. Quanto mais fragmentado for o material, maior será a área superficial sujeita à ataques microbiológicos. Entretanto, a redução excessiva desse tamanho pode acarretar em falta de espaço para a entrada de ar, ocupação dos espaços vazios pela água e conseqüente anaerobiose indesejada. Em geral, as partículas do material inicial devem estar entre 25 e 75 mm, como sugeriu KIEHL (1985).

Das características químicas dos materiais, além do carbono, o nitrogênio é o principal elemento que caracteriza a matéria prima e sua presença em certo grau é uma garantia de que os outros nutrientes importantes, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e micronutrientes, também estão presentes num grau proporcional. Por isso ao invés de se fazer uma análise dos teores de todos os elementos, determina-se o N em relação ao teor de C (relação C:N). Materiais ricos em N terão C:N baixa; materiais pobres em N terão C:N alta. Segundo KIEHL (2002), a relação ideal para os microrganismos decompositores fica entre 25/1 a 35/1.

Na prática, a aplicação dos dejetos como fertilizantes no solo, tem sido utilizada por muitos anos, pois possuem elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas, acreditando-se que o solo seja um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e depurar os resíduos nele adicionados (SEGANFREDO, 2000), mas para uso como fertilizante, o dejeto deve sofrer um processo de fermentação microbiológica, provocando a decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia ou anaeróbia. A compostagem e a biodigestão anaeróbia são exemplos respectivos de cada uma dessas formas de decomposição controlada.

1.3. Objetivos Gerais

- Avaliar a biodigestão anaeróbia da cama de frangos com ou sem separação de sólidos em dois tipos de biodigestores (batelada e contínuo);
- Avaliar a concentração de nutrientes em camas de frangos reutilizadas de quatro lotes de criações, em afluentes e efluentes de biodigestão anaeróbia e em material compostado;
- Avaliar a redução de sólidos totais e voláteis das camas reutilizadas durante o processo de biodigestão anaeróbia;
- Caracterizar qualitativa e quantitativamente os efeitos dos diferentes preparos na produção de biogás;
- Avaliar a produção de composto com os resíduos retidos no peneiramento da cama.

1.4. Estrutura da Dissertação

O desenvolvimento da Dissertação foi embasado em dados coletados em galpão experimental de uma granja comercial de produção de frangos de corte.

No Capítulo 1 foi feita a apresentação do problema, justificativa do estudo, revisão bibliográfica e objetivos.

Para iniciar os ensaios com biodigestão anaeróbia, foi necessária a realização de um projeto piloto para encontrar a melhor diluição da cama de frangos de corte (Capítulo 2).

Com a diluição mais adequada apresentada no Capítulo 2, foram realizados ensaios experimentais de biodigestão anaeróbia, com biodigestores em batelada para avaliar a diluição e a separação dos sólidos na produção de biogás, bem como a concentração de nutrientes do efluente (Capítulo 3).

Foram apresentados no Capítulo 4, ensaios realizados com biodigestores contínuos, utilizando a mesma avaliação do Capítulo anterior.

O material retido na peneira foi estabilizado em processo de compostagem, sendo este descrito no Capítulo 5.

No Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e implicações dos resultados obtidos nos Capítulos 3 e 4, mostrando estimativas econômicas e bioconversões energéticas comparando dados do experimento com dados da literatura.

O estabelecimento da estrutura da dissertação e das referências bibliográficas seguiram orientações constantes no volume 4 das Normas para Publicações da UNESP (UNESP, 2003) e ABNT (2002), respectivamente.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE PARA ABASTECIMENTO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a operação de diluição e separação dos sólidos. Foram avaliados os percentuais de sólidos totais e quantidades mínimas de água para diluição. Foram delineados três ensaios para encontrar uma diluição que utilizasse menores quantidades de água. As camas de casca de amendoim foram diluídas em água e separadas em peneira de malha de 3 mm, nas seguintes proporções: 2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1, 12:1 e 14:1 (água/cama). Os menores valores de Sólidos Totais (ST) foram encontrados nas maiores diluições, mas as menores quantidades de água são prioridade para viabilidade da execução do projeto, assim foi escolhida a diluição 4:1 (com a qual se obteve 3,01 % de ST) para realizar os ensaios de biodigestão anaeróbia.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, separação de sólidos, biogás, casca de amendoim

CHAPTER 2 - AVALIATION OF DILUTION AND SEPARATION OF SOLID AND LIQUID OF LITTER BROILERS FOR SUPPLY OF ANAEROBIC DIGESTERS.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the process of dilution and separation of solids, which was measured in percentage of total solids and minimum amounts of water for dilution. Three experimental trials were designed to find a dilution with high concentrations of ST and that use smaller quantities of water in dilutions. The litter of peanut hulls were diluted in water and separated into a mesh sieve of 3 mm, as follows: 2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1, 12:1 and 14: 1 (water / litter). The lowest total solids (TS) were found in higher dilutions, but the smaller quantities of water are priority for feasibility of implementation of the project, was chosen as the dilution 4:1 (which returned 3.01% in ST) to conduct testing of anaerobic digestion.

Keywords: recovery of waste, solids separation, biogas, peanut shell

2.1. Introdução

Com a crescente demanda pela produção de alimentos, a agropecuária vem acentuando sua participação nos impactos provocados ao ambiente, o que torna cada vez mais necessário o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis (AMORIM et al., 2004). Por isso hoje, a transformação de dejetos animais em formas de aproveitamento bioenergético, apresenta repercussão no setor agropecuário, surgindo um mercado paralelo, que transforma ativos ambientais em ativos financeiros.

No setor avícola, a intensa produção de cama de frango de corte é uma das maiores preocupações, pois este é um resíduo sólido de alto poder poluente, principalmente pelas elevadas concentrações de nitrogênio e carbono orgânico presente no material. O manejo do dejeto na forma sólida gera um poder calorífico por combustão direta de 14,8 X 10^{12} Kcal (JONES JR. e OGDEN, 1984), porém esta não é mais uma possibilidade quando se pensa em melhoria ambiental.

Entre as novas opções de manejo encontra-se a separação das frações sólidas e líquidas com destinos diferenciados dentro da propriedade, aonde a fração líquida teria o destino da biodigestão anaeróbia e a fração sólida poderia ser compostada. No entanto, para uma otimização do processo de biodigestão anaeróbia, esse substrato residual, a fração líquida, pode precisar de ajustes em suas características de sólidos totais e diluições necessárias visando o melhor desempenho do biodigestor com a menor diluição possível.

A performance aparente do sistema de separação dependerá do volume da fração sólida produzida em porcentagem de alimento. Um simples equilíbrio de massa pode demonstrar que esta irá aumentar rapidamente conforme a concentração de nutrientes se aproxima dos sólidos finais dos efluentes (MARTINEZ et al., 1995).

O conteúdo de sólidos totais do resíduo líquido do efluente pode ser separado, em termos gerais, entre aquele dissolvido e o presente como matéria suspensa. De acordo com este fato, um fracionamento útil do material suspenso pode ser realizado para refletir a performance dos principais grupos de equipamentos de separação

disponíveis. Estas frações são constituídas por sólidos dissolvidos, partícula coloidal, sólidos finos, grossos e fibras (BURTON, 2007).

Essas técnicas de separação de sólidos indicam que podem promover um processo biológico aeróbico em remover relativamente, materiais indigestíveis dos efluentes; melhorar a performance de biodigestão anaeróbia por produzir uma concentração de nutriente vindo do efluente diluído; produzir uma fração de sólido compostável de resíduos líquidos.

Para tanto, avaliou-se a diluição e separação dos sólidos e líquidos, sendo estes separados em peneira para avaliação dos percentuais de sólidos totais e de massa dos materiais.

2.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Campus de Jaboticabal, o qual está em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitud e de 575 metros.

2.2.1. Delineamento do teste de diluições

Realizaram-se para o estudo, três ensaios experimentais, utilizando cama de frango de corte reaproveitada de quarto lote, retirada de uma granja comercial no município de São Carlos-SP.

A cama utilizada era de casca de amendoim e foi diluída em água e separada em peneira de malha de 3 mm: os tratamentos consistiram em diluições de 2 kg água em 1 kg de cama, 4 kg água em 1 kg de cama, 6 kg água em 1 kg de cama, 8 kg água em 1 kg de cama , 10 kg água em 1 kg de cama, 12 kg água em 1 kg de cama, 14 kg água em 1 kg de cama.

Em seguida foram realizadas pesagens das frações sólidas e líquidas para calcular o percentual de passagem do líquido diluído e do material retido na peneira.

2.2.2. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, das camas de frangos de corte, foram acondicionadas em latas de alumínio previamente tarados, pesados para se obter o peso úmido (Pu) do material e em seguida, levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65ºC até atingirem peso constante e em seguida, resfriadas em dessecador e pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologias descritas pela APHA (2000).

Onde:

$$ST = 100 - U \qquad e \qquad U = (PU - PS) / PU \times 100$$

No qual:

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso seco da amostra, em g.

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA® A11 basic, para realização de todas as análises experimentais.

Para a determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram pesados em cadinhos de porcelana e levados à mufla a temperatura de 575ºC durante um período de 2 horas, após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas. O teor de sólidos voláteis foi determinado a partir de metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$SV = ST - cinzas \quad e \quad cinzas = \{ 1 - [(PU - Pm) / PU] \} \times 100$$

No qual:

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

Pm= peso obtido após queima em mufla, em g.

Os sólidos voláteis foram expressos, portanto, em porcentagem da matéria seca.

2.2.3. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável

O princípio do método para a determinação de C fundamenta-se no fato da matéria orgânica oxidável ser atacada pela mistura sulfo-crômica, utilizando-se o próprio calor formado pela reação Dicromato de potássio com o ácido sulfúrico como fonte calorífica; o excesso de agente oxidante, que resta desse ataque, é determinado por titulação com sulfato ferroso ou sulfato ferroso amoniacal. O método oferece a vantagem de não oxidar a fração de matéria orgânica não decomponível durante o período de compostagem, baseado em KIEHL (1985).

A partir desse dado pode-se calcular: a matéria orgânica compostável (MOC) em porcentagem, multiplicando-se o teor de carbono orgânico encontrado pelo fator 1,8 (Lossin, 1971 citado por KIEHL, 1985).

2.2.4. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

2.3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos durante o experimento estão apresentados na Tabela 1.

Não houve diferença significativa quanto às quantidades de fração sólida retida na peneira. As maiores diluições de cama de frango aumentam a quantidades da fração líquida, variando de 20,9 a 89,4 % dos totais dos dejetos diluídos. Houve diferença significativa para os teores de ST da fração líquida. As maiores diluições apresentaram menores teores de ST, o que era esperado já que a peneira retinha mesmas quantidades de material para as diferentes diluições e nos tratamentos com maiores diluições, maiores quantidades de água diluíam mesmas quantidades de ST.

Tabela 1. Valores médios obtidos com a separação da fração sólida (FS) e líquida (FL) de cama de frango em diferentes diluições, sólidos totais (ST) da fração líquida.

Diluição		FS	FL	FS	FL	ST
Água : Cama		.....(kg).....		.....(%).....		
2	1	2,305^{a}	0,628^{d}	76,8^{a}	20,9^{d}	5,0^{a}
4	1	2,310^{a}	2,528^{cd}	46,2^{b}	50,6^{b}	3,1^{b}
6	1	2,245^{a}	4,560^{c}	32,1^{c}	65,1^{bc}	3,1^{b}
8	1	2,200^{a}	6,783^{b}	24,4^{d}	75,4^{ab}	2,4^{bc}
10	1	2,155^{a}	8,745^{b}	19,6^{de}	79,5^{ab}	1,5^{c}
12	1	2,018^{a}	11,348^{a}	15,5^{e}	87,3^{a}	1,5^{c}
14	1	2,345^{a}	13,408^{a}	15,6^{e}	89,4^{a}	1,4^{c}
CV (%)		6,76	7,49	5,12	5,34	20,12

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os teores de ST da fração líquida variaram de 1,4 à 5,0%. Esse parâmetro é importante para o abastecimento de biodigestores anaeróbios, pois têm relação com a produção de biogás (Itodo e Awulu, 1999). Se os teores de ST são demasiado altos ou baixos pode ocorrer inibição do processo (Yadvika et al., 2004). Além disso, substratos muito diluídos, com menores teores de ST e, por conseqüência, menores potenciais de produção, contribuem para o aumento dos custos na instalação dos biodigestores.

Utilizando-se os resultados obtidos nessas duas diluições para o dimensionamento de biodigestores, inferem-se que seria necessário um volume útil três vezes maior para obtenção do dobro da produção de biogás, na diluição 6:1, o que encarece o sistema. Outro fator a ser considerado são os teores de ST que nas menores diluições chegam mais próximo dos teores recomendados por Lucas Jr. (1996) para esse tipo de dejeto. Todavia, os teores de ST dos dejetos podem influenciar na escolha do tipo de biodigestor.

Um fator importante a ser respeitado na escolha da diluição mais adequada, ou seja, aquela que trará maior quantidade de gás produzido com menores quantidades de diluente é a viabilidade manual ou mecânica (dependendo do sistema) de homogenização da cama e a sua separação por peneira. Estes fatores podem influenciar na quantidade de sólidos, em ambas as frações. Isto explica os resultados de linhas de tendências polinomiais na caracterização orgânica das diluições de cama de frango.

Outro fator preponderante na escolha da diluição é a quantidade de água a ser utilizada para diluição, pois com a escassez eminente, nos faz escolher tratamentos os quais estejam dentro de padrões respeitáveis nos sistemas de sustentabilidade ambiental.

Os teores de carbono orgânico e matéria orgânica compostável das frações sólida e líquida estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

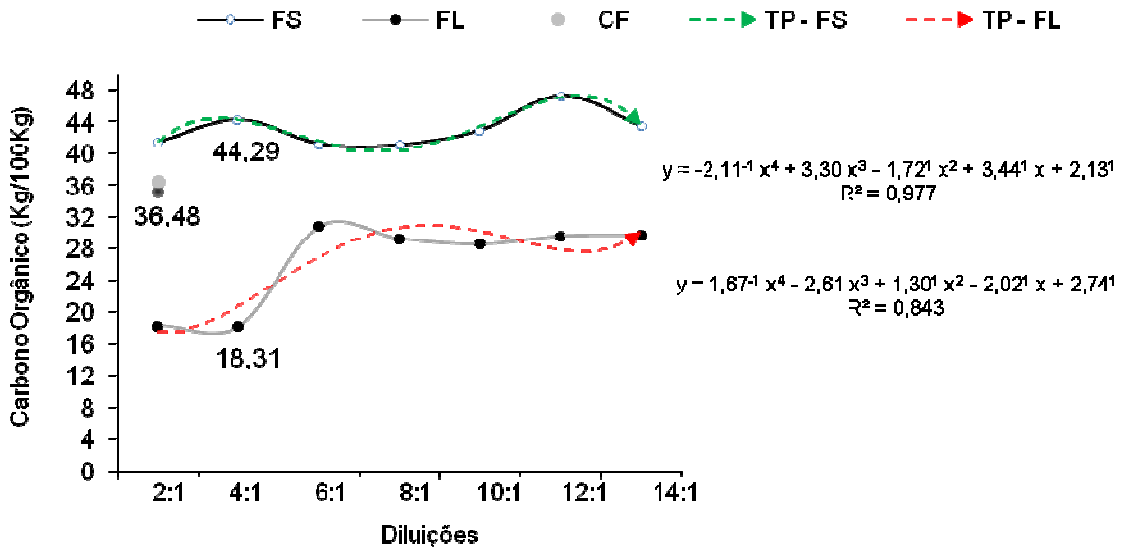


Figura 1. Quantidade de carbono orgânico, em kg por 100 kg e tendência polinomial da fração sólida (FS) e líquida (FL) segundo as diluições de cama de frango em água.

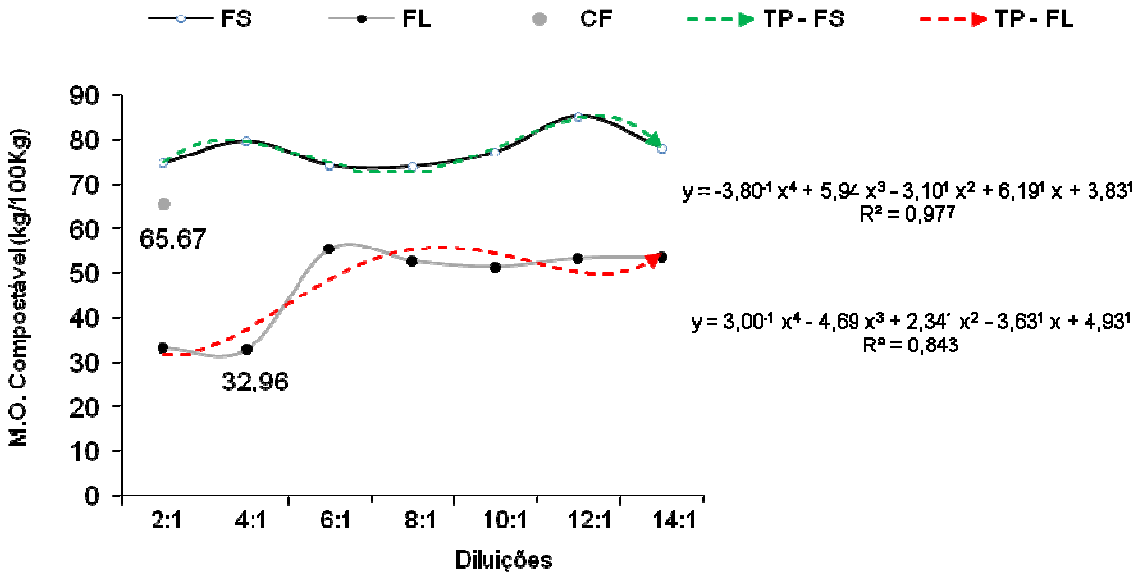


Figura 2. Quantidade de matéria orgânica compostável, em kg por 100 kg e tendência polinomial com curva de regressão da fração sólida (FS) e líquida (FL) segundo as diluições de cama de frango em água.

As quantidades de carbono orgânico variaram de 18,31 a 30,87 kg por 100 kg da fração líquida nas diluições 4:1 e 6:1, respectivamente, E na fração sólida de 41,10 à 47,34 kg por 100 kg nas diluições 8:1 e 12:1, respectivamente.

As quantidades de matéria orgânica compostável variaram de 73,97 à 85,20 kg por 100 kg da fração sólida, enquanto que a cama de frango ficou com 62,67 kg por 100 kg de cama de frango.

Os maiores valores obtidos para matéria orgânica na fração líquida foram das diluições 6:1 e 14:1, com 55,56 e 53,60 kg por 100 kg, respectivamente, evidenciando que a mesma quantidade de matéria orgânica entraria num biodigestor anaeróbio por ambas as diluições.

2.4. Conclusões

A separação das frações líquida e sólida da cama de frango é viável nas diluições de 4:1 e 6:1, pois estas garantem uma proporção adequada entre o percentual de sólidos totais (3,01 %) e uma economia de água para a diluição. A fração sólida é passível a compostagem, principalmente se obtida em grande escala.

CAPÍTULO 3 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM SISTEMA BATELADA

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar a diluição e a separação de sólidos e líquidos da cama de frango de corte em diferentes reutilizações (1 a 4° Lotes) sobre a biodigestão anaeróbia da fração líquida em sistema batelada. Foram realizadas análises de avaliação de produção de biogás e de caracterização mineral dos afluentes (entrada) e efluentes (saída) dos biodigestores. Para cada lote de aves foi realizado um ensaio de biodigestão anaeróbia, sendo quatro ensaios para cada tratamento (tratamento com separação de sólidos - PEN e sem separação de sólidos - NPE). Para o tratamento peneirado utilizou-se a diluição 4:1 (água/cama), com 3,01 % de Sólidos Totais (ST) em ambos os tratamentos. Foram utilizados 24 biodigestores em batelada, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento. Ambos os tratamentos apresentaram menores produções de biogás nas duas primeiras reutilizações, e melhores resultados nas reutilizações seguintes. Com o tratamento NPE obtiveram-se maiores produções de biogás em relação ao tratamento PEN, visto que apresentou maiores ST adicionados por m^3 de biogás/kg. Ambos os tratamentos apresentaram reduções de minerais em massa (kg) após a biodigestão anaeróbia, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, biodigestores anaeróbios, casca de amendoim, energia, excretas, peneira.

CHAPTER 3 - ANAEROBIC DIGESTION OF DIFFERENT REUSES OF BROILER CUTTING WITH OR WITHOUT THE SEPARATION OF LIQUID AND SOLID FOR PRODUCTION OF BIOGAS SYSTEM IN BATELADA

ABSTRACT: The aim of this study is to assess the dilution and separation of solids and liquids from the litter of broilers in different reuses (1 to 4 batchs) on the anaerobic digestion of liquid fraction in batch system. Were analyzed the production of biogas and mineral characterization of the affluents (entry) and effluents (exit) of digesters. For each batch of broiler was a test of anaerobic digestion, four tests for each treatment (treatment with separation of solids - PEN and without separation of solids - NPE). For treatment sieved using the dilution (found in Chapter 2) 4:1 (water / litter), with 3.01% Total Solids (TS) in both treatments. 24 digesters were used in batch, distributed in a completely randomized design with three replicates per treatment. Both treatments showed lower production of biogas in the first two reuses, and reuses the following major results. Treatment NPE obtained highest yields of biogas in the treatment PEN, since it showed higher ST added per m^3 of biogas / kg. Both treatments showed reductions in mineral mass (kg) after the anaerobic digestion and there were no differences between treatments.

Keywords: anaerobic digesters, energy, manure, peanut hulls, recovery of waste, sieve.

3.1. Introdução

Atualmente a exploração avícola tem se caracterizado pela produção de frango de corte cada vez mais precoce, que constitui um dos ramos da produção animal de maior desenvolvimento e progresso tecnológico, no entanto esse aumento gera um montante de resíduos de mesma proporção.

Por isso é constante a busca de alternativas que visam reduzir os efeitos que estes resíduos possam causar. Nesse sentido, tem-se verificado a necessidade de maiores estudos relacionados com o manejo adequado de resíduos gerados pela avicultura, principalmente com o destino final da cama de frango de corte, que pode passar de “vilão a salvação da lavoura” quando se transforma a cama de frango em biogás + biofertilizantes, através da biodigestão anaeróbia.

A biodigestão anaeróbia, conversão anaeróbia de substratos orgânicos complexos, na ausência de luz, nitrato, nitrito e sulfato é realizada por bactérias quimioheterotróficas e bactérias metanogênicas. Ela é influenciada por diversos fatores que atuam no início da produção de biogás, degradação do substrato, população de microrganismos presentes no substrato, assim como na eliminação de patógenos. Estes fatores englobam temperatura, pH, uso de inóculo, composição do material e teor de sólidos totais, entre outros (LUCAS e SANTOS, 2000).

A cama de frango de corte quando utilizada para produção de biogás, através da biodigestão anaeróbia possui alguns entraves que precisam ser solucionados para que essa alternativa se torne viável economicamente ao produtor.

Um dos problemas é a quantidade de material de difícil degradação existente em algumas camas de frangos, como por exemplo, a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para as bactérias na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha, desta fração grosseira existente na cama deva incrementar a produção de biogás e reduzir o percentual de ST, antes da biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar.

Dessa maneira, o objetivo desse estudo foi avaliar a diluição e a separação de sólidos e líquidos da cama de frango de corte em diferentes reutilizações sobre a biodigestão anaeróbia da fração líquida em sistema batelada.

3.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitud e de 575 metros.

Realizaram-se para o estudo, quatro coletas de camas de frango reutilizadas de 1 a 4 lotes, para realizar ensaios experimentais de biodigestão anaeróbia em biodigestores em batelada com ou sem separação de sólidos.

3.2.1. Coleta da cama de frango de corte

Foram avaliados quatro lotes subseqüentes criados em um galpão comercial pertencente à Empresa Rei Frango, localizada no município de São Carlos – SP (Apêndice 1).

O galpão experimental foi construído em alvenaria na orientação leste-oeste, com dimensões de 18,0 x 250,0 m, pé direito de 3,0 m, sem lanternim, coberto com telhas de fibrocimento, piso de concreto e mureta lateral em alvenaria com 0,6 m de altura, completada com tela de arame até o telhado e cortinado móvel externo. O galpão foi subdividido em 12 boxes de 18,0 x 20,7 m, sendo que no centro do galpão tem um corredor de 18,0 x 1,6 m.

As aves foram criadas nos períodos de 17 de janeiro a 19 de março (primeiro lote), 17 de abril a 9 de junho (segundo lote), 25 de junho a 09 de agosto (terceiro lote) e 31 de agosto a 11 de outubro (quarto lote) de 2007.

1º Criação: Todos boxes (1 a 12) receberam casca de amendoim nova

2º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 1º Criação **(2º Lote)** e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova.

3º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 2º Criação **(3º Lote)**, Boxes 1, 2 e 3 permaneceram com cama da criação anterior **(2º Lote)** e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova.

4º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 3º Criação **(4º Lote)**, Boxes 1, 2 e 3 permaneceram com cama da 2º Criação **(3º Lote)**, Boxes 7, 8 e 9 permaneceram com cama da criação anterior **(2º Lote)** e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova **(1º Lote)**.

Para todos os lotes de criações, a amostragem da cama foi realizada da seguinte forma:

1º passo: Em cada boxe de criação das aves, foram coletados amostras de cama, abrindo-se uma vala, no sentido norte e sul (sentido transversal) do galpão para obtenção da cama de várias situações, abaixo de comedouro, bebedouro e cantos do boxe. Cada vala possuía 0,5 m de largura, 18 m de comprimento e 0,3 m de altura (Apêndice 2).

2° passo: Dentro do mesmo boxe foi aberto um espaço de 8 m^2 para homogenização da cama (Apêndice 3), e em seguida foi amostrado 150 kg de cama (matéria natural) por boxe e levado para a realização da biodigestão anaeróbia. O restante da cama produzida permaneceu para condução do lote subseqüente.

Com a finalidade de controlar os aspectos sanitários na criação dos frangos de corte, os procedimentos para desinfecção do galpão foram da seguinte forma: 1)

Retirada da cama; 2) Limpeza do piso, da calçada e das telas; 3) Lavagem com água em todo galpão; 4) Pulverização com amônia quartenária 15% mais glutaraldeído 35% na proporção de 1 L para 1000 L de água; 5) Aplicação de cal virgem sobre o piso, na proporção de 60 kg de cal virgem para 200 L de água; 6) Colocação da casca de amendoim desinfectada.

Quando a cama era reutilizada, seguia os seguintes procedimentos: 1) Queima das penas com lança-chamas; 2) Aplicação de inseticida para controle de cascudinho (*Alphitobius diaperinus*); 3) Adição de 1000 kg de casca de amendoim nova (matéria natural) por boxe no pinteiro, previamente limpa e desinfectada com alguns dias de antecedência ao alojamento dos pintos.

3.2.2. Ensaio de biodigestão anaeróbia com cama de frango

Para cada lote de aves foi realizado um ensaio de biodigestão anaeróbia com as camas de frangos produzidas, totalizando oito ensaios, sendo quatro ensaios (camas de 1º a 4º reutilização) com separação de sólidos (tratamento peneirado - PEN) e quatro ensaios (camas de 1º a 4º reutilização) sem separação de sólidos (tratamento não peneirado - NPE).

Foram utilizados 24 biodigestores em batelada, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado sendo quatro reutilizações de cama, duas condições do substrato (com ou sem separação de sólidos) e três repetições.

Nas Figuras 1, 2 e 3 estão apresentadas as descrições dos biodigestores com capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação, fazendo parte de uma bateria de mini-biodigestores, descrita por Ortolani et al. (1986). São constituídos basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais se encontra inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água que se convencionou denominar “selo d´água”, atingindo profundidade de 480 mm.

Uma campânula flutuante de fibra de vidro, emborcada no “selo d´água”, armazena o gás produzido e conferi pressão ao mesmo.

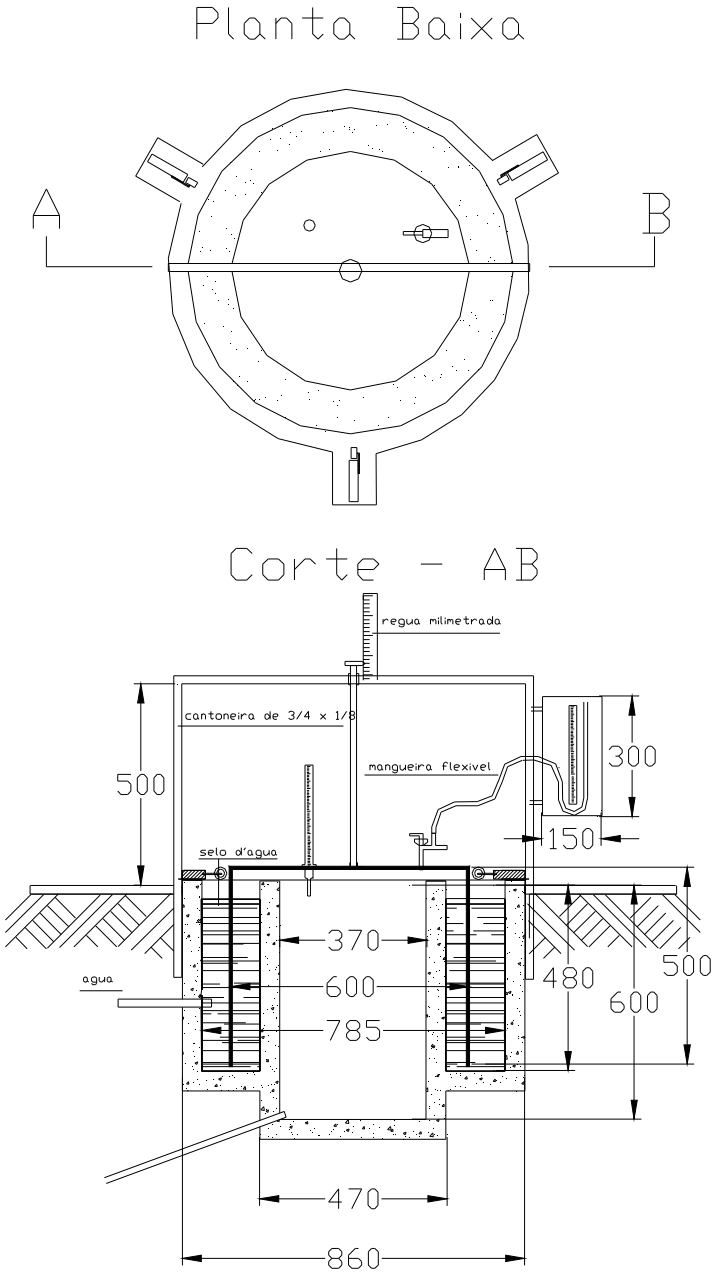


Figura 1. Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm.
(Fonte: ORTOLANI et al., 1986).



Figura 2. Biodigestores tipo batelada utilizados no experimento.



Figura 3. Parte interna do biodigestor tipo batelada utilizado no experimento.

Os biodigestores são semi-subterrâneos, sendo a superfície do solo a sua volta revestida por uma calçada de concreto com 5 cm de espessura. O cilindro interior (câmara de fermentação) encontra-se em comunicação com uma vala de drenagem por meio de um tubo de escoamento ligado ao fundo da câmara e que serve para descarga do efluente.

3.2.3. Preparo da solução (fração líquida)

Com os resultados encontrados no Capítulo 2, foi escolhida a diluição 4:1 kg de água/kg de cama para os ensaios experimentais, tendo como parâmetro os sólidos totais e a utilização da menor quantidade possível de diluente (água).

Para obter a fração líquida (Apêndice 4) das camas realizou-se uma padronização na separação dos sólidos, onde a cama após pesada e diluída na proporção de 4:1, era separada por malha de 3 mm, resultando em duas frações distintas.

3.2.4. Preparo do inóculo

O inoculo é composto por cama de frango digerida (Apêndice 5), a ser utilizado nos 24 biodigestores durante a fase inicial de avaliação experimental, foi previamente preparado em quatro biodigestores com capacidade de 60,0 kg, utilizando-se de 20,0 kg de biofertilizante de estrume de bovinos coletado em biodigestor contínuo modelo indiano, 4,5 kg de cama de frango e 35,5 kg de água para completar a capacidade de cada biodigestor.

Após a biodigestão anaeróbia utilizando cama de frango de 1° lote, obteve-se um efluente (biofertilizante), sendo este utilizado como inóculo na biodigestão anaeróbia seguinte, dessa maneira sempre havia inóculo para o próximo ensaio experimental.

3.2.5. Preparo do substrato

O inóculo utilizado para o abastecimento foi preparado para obtenção do teor de sólidos totais próximos a 15 % do total da mistura, como recomendado por Santos (2001), seguindo o modelo proposto por Lucas Junior (1994) onde, mistura-se cama de frango, água e inóculo. Os substratos dos abastecimentos dos biodigestores foram preparados para obtenção de teor de sólidos totais próximos a 3,0 %.

No Apêndice 6 apresenta-se um fluxograma que descreve o delineamento dos tratamentos e as suas formas de reciclagem.

Para o tratamento NPE, o substrato foi preparado conforme expressões citadas em Ortolani et al*.* (1991) e Lucas Junior (1994), adaptando-as para cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(1) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(2) $$IN = \left(\frac{SB \times PIs}{100}\right)$$

(3) $$CF = \left(\frac{SB - IN}{STc}\right) 100$$

(4) $$INS = \left(\frac{IN}{STi}\right) 100$$

(5) $$A = W - (CF + INS)$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;

W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;

STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

IN = fator de correção de inclusão de ST;
PIs = percentual de inoculo na matéria seca do substrato (15%);
CF = quantidade de cama em kg a ser adicionado em W;
STc = sólidos totais da cama de frango;
INS = peso de inóculo que deverá ser adicionado em W;
STi = porcentagem de sólidos totais contida no inóculo;
A = peso de água a ser misturado com CF e INS para se obter W.

Para o tratamento PEN, o substrato foi preparado conforme expressões já citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas Junior (1994), no entanto teve-se que adaptá-las para frações líquidas de cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(1) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(2) $$IN = \left(\frac{SB \times PIs}{100}\right)$$

(3) $$FL = \left(\frac{SB - IN}{STc}\right) 100$$

(4) $$CF = \left(\frac{1 \times FL}{PS}\right)$$

(5) $$A = \left(\frac{4 \times FL}{PS}\right)$$

(6) $$INS = \left(\frac{IN}{STi}\right) 100$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;

W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;

STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

IN = fator de correção de inclusão de ST;

PIs = percentual de inoculo na matéria seca do substrato (15%);

FL = fração líquida que será adicionada em W;

STℓ = sólidos totais da fração líquida;

CF = quantidade de cama em kg a ser diluída em água;

PS = peso da fração líquida (2,528 kg) do teste de diluição (4:1);

1 e 4 = Constante para diluição 4:1 (cama/água);

A = peso de água a ser misturado com CF para diluição;

INS = peso de inóculo que deverá ser adicionado em W;

STi = porcentagem de sólidos totais contida no inóculo.

Na Tabela 1, estão apresentados os períodos de operação dos experimentos, os tempos de retenção hidráulica (TRH) e as quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com as reutilizações de cama.

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH), quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com as reutilizações de cama.

Cama Reutilizada	**Período de Operação**	**TRH (dias)**	**Cama (kg)**	**Água (kg)**	**Solução (kg)**	**Inóculo (kg)**
NPE						
1º Lote	26/jul a 15/ago	50	2,13	45,79	-	12,08
2º Lote	26/jul a 15/ago	50	2,15	45,76	-	12,08
3º Lote	16/ago a 17/out	62	2,15	37,41	-	20,44
4º Lote	18/out a 03/dez	50	2,02	49,63	-	8,35
PEN						
1º Lote	26/jul a 15/ago	50	19,20	76,80	48,54	11,47
2º Lote	26/jul a 15/ago	50	18,86	75,46	47,69	12,31
3º Lote	16/ago a 17/out	62	16,28	65,13	41,17	18,84
4º Lote	18/out a 03/dez	50	20,00	80,02	50,57	9,42

3.2.6. Dados meteorológicos do período experimental

No Apêndice 7, são apresentadas as médias das variáveis climáticas em Jaboticabal – SP, obtidas durante o período experimental.

3.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, dos substratos e efluentes nos ensaios de biodigestão anaeróbia, foram acondicionadas em latinhas de alumínio previamente tarados, pesados para se obter o peso úmido (Pu) do material e em seguida, levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65ºC até atingirem peso constante (em média 72 horas), em seguida foram pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$ST = 100 - U \qquad e \qquad U = (PU - PS) / PU \times 100$$

No qual :

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso seco da amostra, em g.

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA® A11 basic, para realização de todas as análises experimentais.

Para determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram pesados em cadinhos de porcelana e levados à mufla a temperatura de 575ºC durante um período de 2 horas e 30 minutos, após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com

precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas. O teor de sólidos voláteis foi determinado a partir de metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$SV = ST - cinzas \quad e \quad cinzas = \{ 1 - [(PU - Pm) / PU] \} \times 100$$

No qual :

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

Pm= peso obtido após queima em mufla, em g.

Os sólidos voláteis foram expressos, portanto, em porcentagem da matéria seca.

3.2.8. Digestão e quantificação dos minerais

As amostras coletadas foram digeridas, utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico ($HClO_4$) levados ao bloco digestor, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Neste extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g, zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo BATAGLIA et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizado ácido sulfúrico (H_2SO_4) e mistura digestora composta por sulfato de sódio (Na_2SO_4), sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$) e selenito de sódio (Na_2SeO_3). O nitrogênio foi determinado por meio da utilização do destilador micro-Kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal $(NH_4)2SO_4$ em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(NH_4)_2SO_4$, na presença do indicador ácido/base, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6N, onde a cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando-se assim a concentração de fósforo das amostras, por meio da utilização de uma reta padrão traçada previamente a partir de concentrações conhecidas, entre 0 e 32 µg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados através da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

3.2.9. Determinação da produção de biogás

As produções de biogás foram calculadas com base na leitura das réguas dispostas ao lado dos eixos de condução dos gasômetros que continham setas que apontavam nas réguas o deslocamento vertical do gasômetro obtido no intervalo entre as leituras. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, que no caso dos biodigestores batelada em questão era igual a 0,2827 m^2. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20^oC, foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985) no qual verificou-se que, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentou comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por Santos (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac,

Onde:

$$\frac{V_o\ P_o}{T_o} = \frac{V_1\ P_1}{T_1}$$

No qual:

V_o = volume de biogás corrigido, m^3;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de água;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10 mm de água;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

Expressão:

$$Vo = \frac{V_1}{T_1} \; x \; 273{,}84575$$

Após cada leitura do volume de biogás produzido, era verificada a temperatura do biogás com o uso de um termômetro digital portátil Brastermo (em ℃), o qual possui um sensor localizado na extremidade de uma haste metálica introduzida a 5 cm de profundidade no orifício de saída do gás do biodigestor.

3.2.10. Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama.

Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Após a detecção da mesma, este teste não mais era necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo.

3.2.11. Determinação dos teores de metano, dióxido de carbono e impurezas

Para avaliação do teor de metano no biogás produzido, foram retiradas amostras de biogás da última semana de operação, utilizando-se seringas de plástico de 100 mL de volume, apropriadas para coletas de biogás, sendo as determinações feitas utilizando-se cromatógrafo de fase gasosa GC 2001, equipado com colunas Porapack Q e Peneira Molecular 5A, utilizando o hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi feita com o gás padrão contendo metano, dióxido de carbono, oxigênio e nitrogênio. Os percentuais dos componentes foram determinados com o auxílio de um integrador processador.

3.2.12. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis

Estão apresentados na Tabela 2, os dados de concentração de ST e SV em (%) e (kg), dos afluentes e efluentes dos biodigestores PEN e NPE de diferentes reutilizações de cama de frango, além das suas reduções de SV.

Com o tratamento NPE obtiveram-se valores médios de 0,89 kg de ST adicionados nos afluentes, menores ($P<0,05$) que os valores médios do tratamento PEN (1,79 kg de ST adicionados).

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e massa e redução de SV em porcentagem, para as diferentes reutilizações de cama de frango em biodigestores batelada.

Criação Aves	Sólidos Totais				Sólidos Voláteis				
	*A	**E	*A	**E	*A	**E	*A	**E	Redução
	(%)		(kg)		(%)		(kg)		(%)
NPE									
1° Lote	1,21 ^{d}	0,87^{b}	0,72^{d}	0,52^{b}	0,84^{c}	0,55^{b}	0,45^{c}	0,29^{bc}	69,75^{a}
2° Lote	1,21 ^{d}	0,89^{b}	0,72^{d}	0,53^{b}	0,83^{c}	0,55^{b}	0,44^{c}	0,27^{c}	65,70^{a}
3° Lote	1,26 ^{d}	0,88^{b}	0,75^{d}	0,53^{b}	0,73^{c}	0,48^{b}	0,39^{c}	0,26^{c}	65,14^{a}
4° Lote	2,30 ^{c}	1,40^{ab}	1,38^{c}	0,84^{ab}	1,65^{b}	0,89^{ab}	0,93^{b}	0,50^{ab}	54,10^{ab}
PEN									
1° Lote	3,00 ^{abc}	1,97^{a}	1,79^{abc}	1,18^{a}	1,96^{ab}	1,14^{a}	1,08^{ab}	0,59^{a}	59,53^{ab}
2° Lote	3,33 ^{a}	1,99^{a}	2,00^{a}	1,20^{a}	2,29^{a}	1,06^{a}	1,24^{a}	0,56^{a}	46,31^{ab}
3° Lote	2,50 ^{bc}	1,64^{a}	1,50^{bc}	0,99^{a}	1,51^{b}	0,84^{ab}	0,84^{b}	0,46^{abc}	55,81^{ab}
4° Lote	3,13 ^{ab}	1,36^{ab}	1,88^{ab}	0,82^{ab}	1,95^{ab}	0,78^{ab}	1,10^{ab}	0,43^{abc}	40,20^{b}
P Value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0002	0,0136
CV (%)	12,12	17,53	12,12	17,53	12,25	19,27	12,41	18,24	14,63
R^2	0,94	0,83	0,94	0,83	0,93	0,78	0,94	0,79	0,62

* A = Afluente; ** E = Efluente.
Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Observa-se que ocorreram menores reduções de ST no tratamento NPE, visto que este tratamento possuía maiores quantidades de sólidos insolúveis.

Os valores médios do afluente do tratamento NPE (0,55 kg de SV) foram menores (P<0,05) que do tratamento PEN (1,07 kg de SV). Sendo que os SV dos efluentes também diferiram (P<0,05) e apresentaram os seguintes valores médios 0,33 e 0,51 kg de SV, para o tratamento NPE e PEN, respectivamente.

Os tratamentos apresentaram maiores (P<0,05) valores médios (63,7 e 50,5 % de SV reduzidos) ao fim do processo de biodigestão anaeróbia, para o NPE e PEN, respectivamente, quando comparados com Santos (2001), que na avaliação da biodigestão anaeróbia de cama de frango (maravalha), obteve 41,3 a 41,9 % de redução nos teores de SV nas camas de 1º e 2º reutilização, respectivamente.

3.3.2. Concentração de nutrientes dos substratos

3.3.2.1. Concentração de nutrientes da cama de frango

Os resultados médios da composição química para o aproveitamento das camas de frangos para biodigestão anaeróbia estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, para os materiais originais e nas Tabelas 5 e 6, para as camas obtidas em 4 lotes seguidos de criações de frangos de corte.

Tabela 3. Concentrações de macronutrientes na casca de amendoim, em g/100g de matéria seca (MS).

Material	N	P	K	Ca	Mg
			g/100g		
Casca Amendoim	0,56	ND	0,86	0,26	0,11

*ND: Não Detectável

Tabela 4. Concentrações de micronutrientes e metais na casca de amendoim, em mg/kg de matéria seca (MS).

Material	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Casca Amendoim	135	189	81	947

*ND: Não Detectável

Tabela 5. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores batelada.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
Cama 1º L	5,10	1,33^{c}	2,35^{b}	2,11^{c}	0,52^{b}	0,48^{b}
Cama 2º L	6,14	1,47^{c}	2,44^{b}	2,37^{bc}	0,58^{b}	0,60^{ab}
Cama 3º L	6,28	2,27^{a}	3,17^{a}	3,42^{a}	0,76^{a}	0,78^{ab}
Cama 4º L	6,49	1,80^{b}	2,76^{ab}	2,84^{b}	0,61^{b}	0,85^{a}
P Value	ns	<0,0001	0,0089	0,0001	0,0015	0,0307
CV (%)	16,28	6,7	8,49	7,06	7,62	19,30

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05)
ns: não significativo.

Tabela 6. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores batelada.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Cama 1º L	399,10[b]	524,50	333,39[b]	1495,85[b]
Cama 2º L	472,44[ab]	558,66	343,82[b]	1569,53[ab]
Cama 3º L	567,44[a]	631,11	442,48[a]	1715,83[a]
Cama 4º L	532,56[ab]	597,89	383,82[ab]	1405,99[b]
P Value	0,0200	ns	0,0028	0,0058
CV (%)	10,68	10,66	6,71	4,86

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Comparando com os resultados apresentados neste experimento a casca de amendoim apresentou maiores teores de macronutrientes do que os obtidos em estudo realizado por Severino et al. (2006), os quais foram 1,53; 0,36; 0,46 e 0,21 % para N, K, Ca e Mg, respectivamente.

Por ser um subproduto do beneficiamento de amendoim e não ser utilizado para o consumo, a composição deste material pode variar de acordo com a variedade da cultura, o clima, e principalmente o beneficiamento.

Comparando a média dos resultados de composição de minerais dos lotes de criações (reutilizações de cama) com a casca de amendoim, observa-se que houve um aumento em todos os teores: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn mostrando o acúmulo de nutrientes depositados após as criações das aves, devido a composição das excretas, penas, rações e outros materiais que compõem a cama de frango.

Observando os resultados nas Tabelas 5 e 6, os minerais P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn e Fe aumentaram significativamente (P<0,05) com a reutilização da cama, com exceção para o N e Cu.

Os resultados apresentados por Konzen (2003) sobre as concentrações de macronutrientes nas camas (N, P, K, Ca e Mg) estão próximos, com exceção do nitrogênio, que em média foi duas vezes menor (3,00 g/100g) que o encontrado neste experimento (6,00 g/100g).

Apenas alguns macronutrientes como P, Ca e Mg estavam próximos ao comparar os resultados citados por Jordaan (2004).

Severino et al. (2006), ao estudarem onze materiais orgânicos, dentre esses a casca de amendoim e a cama de frango, encontraram valores de macronutrientes (N: 1,53 e 2,95; P: 0,36 e 3,87; K: 0,79 e 1,10; Ca: 0,46 e 4,71; Mg: 0,21 e 6,93 g/100g, respectivamente) diferentes dos autores citados anteriormente e também dos resultados apresentados neste experimento.

Santos (1997) ao avaliar diferentes camas de frango (napier, maravalha e a mistura de napier com maravalha) sobre dois lotes de criação, observou aumento significativo ($P<0,05$) na concentração dos minerais (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr e Ni) na cama de frangos de acordo com a reutilização. Sendo os resultados apresentados por esta autora, semelhantes aos obtidos neste estudo.

Esta variação na composição química da cama de frango se deve ao fato de haver diferenças entre os materiais utilizados como cama, no balanço nutricional, no manejo dos frangos de corte, na reutilização da cama, dentre diversas outras variações.

3.3.2.2. Concentração de nutrientes da fração líquida da cama de frango (solução)

Estão apresentados na Tabela 7 e 8, a concentração de macro e micronutrientes das frações líquidas (solução) obtidas no peneiramento e diluição de 4:1 (água/cama) da cama de frango de corte.

Tabela 7. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores batelada.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
Solução 1º L	5,22[b]	0,89[b]	0,66[b]	3,89[b]	0,93	2,03[b]
Solução 2º L	5,61[b]	1,66[a]	0,72[b]	7,84[a]	1,00	7,15[a]
Solução 3º L	5,61[b]	1,47[ab]	0,83[b]	6,08[ab]	0,95	5,51[a]
Solução 4º L	6,35[a]	1,13[ab]	1,12[a]	6,19[ab]	0,90	8,18[a]
P Value	0,0065	0,0226	0,0005	0,0086	ns	0,0008
CV (%)	4,835	19,518	9,978	16,543	20,238	19,913

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 8. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores batelada e contínuo.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Solução 1º L	1321	1060[b]	595	2379
Solução 2º L	1797	1760[ab]	738	2800
Solução 3º L	2522	2090[a]	653	3019
Solução 4º L	2111	2275[a]	845	2847
P Value	ns	0,0132	ns	ns
CV (%)	27,989	19,687	15,156	16,105

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Os valores encontrados nos macro e micronutrientes das soluções tiveram variações nas suas concentrações em relação ao material original (cama sem diluição em água), visto que o processo de coleta da cama pode muitas vezes influenciar na concentração e quantificação dos nutrientes.

Outro fator que também pode influenciar é a forma como a cama se apresenta após a sua utilização na granja. Normalmente são formados blocos (dejeto + casca de

amendoim + umidade ambiente) que dificultam a solubilização após a maceração e diluição em água.

A fração líquida da cama de frango diluída em 4:1 (água/cama), apresentou de maneira geral, um aumento nas quantidades dos macro e micronutrientes avaliados, conforme se aumentava a reutilização. Isto se deve a quantidade de tempo que a cama ficou disponível aos frangos de corte.

Além de que, a forma com que a separação por malha dos sólidos e líquidos é realizada, pode também influenciar na passagem da quantidade de nutrientes, dificultando a padronização dos sólidos.

Por isso deve se padronizar a separação dos sólidos, sendo esta realizada da melhor forma, quando mecanizada, pois assim não existirá um menor risco de erros na mensuração ou quantificação dos macro e micronutrientes.

3.3.2.3. Concentração de nutrientes do inóculo

As concentrações de macro e micronutrientes dos inóculos utilizados encontram-se nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores batelada e contínuo, abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
Inóculo 1º L	3,65^{c}	0,76^{d}	1,81^{a}	3,21	0,91^{ab}	2,04
Inóculo 2º L	4,46^{b}	1,99^{c}	0,33^{c}	3,50	0,82^{b}	2,76
Inóculo 3º L	4,63^{b}	2,48^{b}	0,95^{b}	3,57	1,13^{a}	2,25
Inóculo 4º L	5,17^{a}	2,91^{a}	1,22^{b}	4,45	1,11^{a}	2,49
P Value	0,0007	<0,0001	0,0012	ns	0,0284	ns
CV (%)	2,45	0,69	11,19	15,83	7,01	16,31

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 10. Concentrações de micronutrientes, em mg/kg de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores batelada e contínuo, abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Inóculo 1º L	591[c]	242[c]	349[b]	2309[b]
Inóculo 2º L	1013[b]	746[b]	426[ab]	2185[b]
Inóculo 3º L	1027[b]	1000[ab]	459[ab]	2486[b]
Inóculo 4º L	2297[a]	1121[a]	547[a]	3964[a]
P Value	0,0002	0,0006	0,0575	0,0142
CV (%)	7,61	8,16	10,58	11,53

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

As concentrações de N, P, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe dos inóculos aumentaram significativamente (P<0,05) com a reutilização da cama de frango. Já o K, Ca e o Na, não sofreram aumentos significativos.

Como o inóculo contém mais de 90% de água e a quantidade de nutrientes tende a ser mais concentrada com a reutilização da cama, provavelmente, a maior concentração de alguns minerais devem-se ao aumento da quantidade de excreta e também pela decomposição da matéria orgânica, da qual a maior parte é carbono.

Uma vez passado pelo processo, o carbono é transformado em metano e em dióxido de carbono, sendo perdidos do substrato na forma de gases. Cada quilo de matéria seca do inóculo passa a ter então, maior quantidade de outros elementos que não carbono.

3.3.2.4. Concentração de nutrientes dos afluentes e efluentes

Os teores de macro e micronutrientes dos afluentes PEN e NPE encontram-se nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS) nos afluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
NPE						
Afluente 1º L	4,30^{bc}	1,60	1,62	2,80	0,67	2,47
Afluente 2º L	4,47^{bc}	1,92	1,55	2,84	0,72	3,07
Afluente 3º L	3,57^{cd}	2,24	1,88	3,16	0,59	3,03
Afluente 4º L	2,99^{d}	1,20	1,94	2,91	0,79	2,89
PEN						
Afluente 1º L	5,31^{ab}	2,00	1,41	2,38	0,71	2,71
Afluente 2º L	5,66^{a}	1,51	1,33	2,51	0,63	3,43
Afluente 3º L	3,77^{cd}	1,68	1,80	2,63	0,61	4,56
Afluente 4º L	3,66^{cd}	1,43	1,68	2,62	0,46	3,06
P Value	<0,0001	Ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9,69	28,75	12,52	15,02	22,34	26,05

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 12. Concentrações de micronutrientes, em mg/kg de matéria seca (MS), nos afluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
NPE				
Afluente 1º L	1870	1683	710	3328
Afluente 2º L	2023	1591	749	2809
Afluente 3º L	1938	1920	715	3087
Afluente 4º L	1803	1821	613	3867
PEN				
Afluente 1º L	2010	1736	712	3180
Afluente 2º L	1788	1437	663	2618
Afluente 3º L	1785	1659	613	3210
Afluente 4º L	1855	1838	691	3563
P Value	ns	ns	Ns	ns
CV (%)	6,16	11,51	13,75	14,35

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Houve diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de N dos afluentes utilizados para biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama. Essa diminuição de N se deve provavelmente ao aumento da volatilização conforme se aumenta a reutilização da cama. Observa-se que a concentração de minerais nos afluentes de maneira gerais aumentaram com as reutilizações de cama, devido ao acúmulo de excretas nas camas reutilizadas.

Para abastecimento dos biodigestores de todos os lotes, os teores de sólidos totais foram calculados para obter valor próximo a 3,0 % e 15,0 % de inóculo, porém verificou-se no 4° lote uma diminuição nos teores de macronutrientes e nas concentrações de micronutrientes, isso se deve provavelmente a maior matéria seca determinada na cama e inóculo de 4° lote para cálculo de abastecimento dos biodigestores. Com isso, a quantidade de inóculo foi menor em comparação ao 3º lote, como verificado na Tabela 1, sendo utilizados 20,44 e 8,35 kg de inóculo para lote NPE, 18,84 e 9,42 kg de inóculo para lote PEN, ambos de 3° e 4° lote respectivamente, acarretando em uma diminuição dos minerais no 4° lote.

Não houve diferença (P>0,05) nos micronutrientes dos 4 lotes avaliados, tanto no tratamento PEN como NPE. Esses resultados não coadunam com resultados de Fukayama (2008), que trabalhou com diferentes reutilizações de cama de amendoim. Em seus estudos ocorreram diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de micronutrientes dos afluentes utilizados para biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama.

As concentrações de macro e micronutrientes dos efluentes da biodigestão anaeróbia dos tratamentos NPE e PEN, encontram-se nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

Tabela 13. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS) nos efluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
NPE						
Efluente 1º L	3,69^{b}	1,62^{cde}	1,55	2,88	0,82^{ab}	2,61^{c}
Efluente 2º L	5,15^{ab}	2,60^{a}	1,46	2,87	0,85^{ab}	3,08^{bc}
Efluente 3º L	4,46^{ab}	2,35^{abc}	1,82	3,20	0,62^{b}	3,45^{abc}
Efluente 4º L	3,80^{b}	1,30e	1,77	3,07	1,15^{a}	2,94^{bc}
PEN						
Efluente 1º L	5,70^{ab}	2,31^{abcd}	1,39	2,59	0,77^{ab}	3,69^{abc}
Efluente 2º L	6,58^{a}	1,72^{bcde}	1,31	2,67	0,71^{b}	4,63^{ab}
Efluente 3º L	4,74^{ab}	2,45^{ab}	1,78	2,71	0,83^{ab}	4,87^{a}
Efluente 4º L	4,85^{ab}	1,54^{de}	1,62	2,68	0,79^{ab}	3,18^{abc}
P Value	0,0049	0,0001	ns	ns	0,0136	0,0027
CV (%)	15,71	14,05	12,28	17,31	16,77	17,03

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 14. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos efluentes de biodigestores batelada abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
NPE				
Efluente 1º L	1930	1858	788	3353^{bc}
Efluente 2º L	2059	1984	868	2834^{c}
Efluente 3º L	1977	2014	835	3700^{abc}
Efluente 4º L	1908	2037	704	4724^{a}
PEN				
Efluente 1º L	2004	2084	810	3877^{abc}
Efluente 2º L	1851	1963	755	2705^{c}
Efluente 3º L	2036	1760	734	3539^{abc}
Efluente 4º L	1875	1876	809	4299^{ab}
P Value	ns	ns	ns	0,0004
CV (%)	10,87	9,59	12,09	11,91

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Houve diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de macronutrientes dos efluentes da biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama. Observa-se que as concentrações de minerais nos efluentes (N, P, K, Mg e Na) apresentaram variações das concentrações de nutrientes nas diferentes reutilizações de cama. Fukayama (2008) encontrou diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de macronutrientes, micronutrientes e metais nos efluentes de biodigestores abastecidos com cama de frango em diferentes reutilizações de cama.

As médias das concentrações de N no tratamento NPE (1º lote) do afluente e no efluente foram 4,3 e 3,69 g/100g (Tabela 12 e 14), respectivamente, porém em ST foram utilizados 0,645 e 0,463 kg de afluentes e efluentes (Tabela 2), portanto em massa foram produzidos 0,028 e 0,017 g/100g de N no afluente e efluente, respectivamente. Comparando os mesmo dados para o tratamento PEN, tem-se em massa 0,087 e 0,058 g/100g de N no afluente e efluente, respectivamente. Por fim tem-se um percentual de 38,40 e 32,91 % de redução de N para o tratamento NPE e PEN (1º lote), respectivamente.

Portanto, observa-se que a quantidade (em massa) dos nutrientes no efluente, diminui com a biodigestão anaeróbia.

Essas variações de concentrações de minerais, podem ser um representatividade da quantidade de dias das quais as aves ficaram alojadas, em detrimento disto as concentrações de afluentes variaram.

Houve diferença significativa (P<0,05) nas concentrações de Fe nos efluentes da biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama. Já o Zn, Cu e o Mn apresentaram variações nas suas concentrações sem diferenças (P>0,05) nas diferentes reutilizações. Ao passo que, Fukayama (2008) ao trabalhar com biodigestores abastecidos com cama de frango, encontrou nos efluentes, um aumento na concentração de micronutrientes com as reutilizações de cama, devido ao acúmulo de excretas nas camas reutilizadas.

3.3.3. Produção de biogás dos biodigestores batelada

O potencial médio de produção de biogás durante 49 dias e por dia em biodigestores abastecidos com cama de frango de diferentes reutilizações de cama, com ou sem separação de sólidos e líquidos encontra-se na Tabela 17.

Tabela 15. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm., em biodigestores batelada abastecidos com camas de frango reutilizadas.

Criação Aves	Produção de Biogás (m^3)					
	Volume (m^3)	Substrato	Cama	ST* adic	SV** adic	SV** red
	49 dias	(m^3/kg)				
NPE						
1° Lote	0,337 ^{ab}	0,006^{ab}	0,158^{b}	0,472^{ab}	0,742^{b}	2,023^{b}
2° Lote	0,310 ^{bc}	0,005^{bc}	0,144^{b}	0,429^{abc}	0,698^{bc}	1,837^{b}
3° Lote	0,457 ^{a}	0,008^{a}	0,212^{a}	0,607^{a}	1,172^{a}	3,613^{a}
4° Lote	0,419 ^{ab}	0,007^{ab}	0,207^{a}	0,317^{bcd}	0,465^{cd}	1,008^{c}
PEN						
1° Lote	0,174 ^{cd}	0,003^{cd}	0,009^{c}	0,100^{d}	0,166^{ef}	0,445^{de}
2° Lote	0,131 ^{d}	0,002^{d}	0,007^{c}	0,066^{d}	0,471^{f}	0,194^{e}
3° Lote	0,327 ^{ab}	0,005^{ab}	0,020^{c}	0,219^{cd}	0,563^{de}	0,871^{cd}
4° Lote	0,395 ^{ab}	0,007^{ab}	0,020^{c}	0,211^{bcd}	0,361^{de}	0,606^{cde}
P Value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)	15,61	15,61	10,53	31,35	16,73	13,91
R^2	0,87	0,87	0,99	0,80	0,96	0,98

Em cada coluna seguida de letras minúsculas comparam tratamento, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05);
* ST: Sólidos totais **; SV: Sólidos voláteis; C: Cama; S: Solução.

Quanto à produção média de biogás, para as variáveis m^3/kg de substrato, apresentaram valores médios superiores (P<0,05) na comparação de lotes, 3º e 4º lotes de ambos os tratamentos. Já na comparação de tratamentos, não houve diferença (P>0,05) entre 1º, 3º e 4º lotes e 3º e 4º lotes dos tratamentos, NPE e PEN, respectivamente.

Para as variáveis que comparam valores médios de m^3/kg de cama, os lotes com maiores (P<0,05) produções foram o 3º e 4º lotes de ambos os tratamentos.

E na comparação de tratamento houve diferença (P<0,05) na produção de biogás, ficando com os maiores valores médios o tratamento NPE (3º, 4º lotes), 0,212 e 0,207 m^3/kg de biogás/cama.

Ao se comparar a produção de biogás entre os tratamentos, observa-se que houve uma maior (P<0,05) produção de biogás no tratamento NPE, no entanto ao analisar a quantidade de sólidos totais adicionados observa-se um aumento na quantidade de excretas nas camas reutilizadas deste tratamento.

Os valores médios de produção do tratamento NPE 0,46 m^3 de biogás/kg ST e 0,77 m^3 de biogás/kg SV adicionados foram superiores aos obtidos por Lucas Junior et al. (1993) – 0,25 a 0,29 m^3 de biogás/kg ST adicionados e Santos (1997) – 0,17 a 0,27 m^3 de biogás/kg ST adicionados e Webb e Hawkes (1985) – 0,25 a 0,37 m^3 de biogás/kg SV adicionados. Porém está próximo aos obtidos por Jamila (1990) citado por Santos (2001) – 0,20 a 0,40m^3 de biogás/kg ST adicionados. Isso se deve provavelmente ao material utilizado e o número de vezes que foi utilizado a cama de frango.

Por meio da visualização do comportamento das curvas de volume de biogás dos tratamentos é possível planejar um sistema que atenda determinada demanda de energia. A antecipação dos picos de produção de biogás dos tratamentos (1° e 4° reutilizações) pode ser claramente observada na Figura 4.

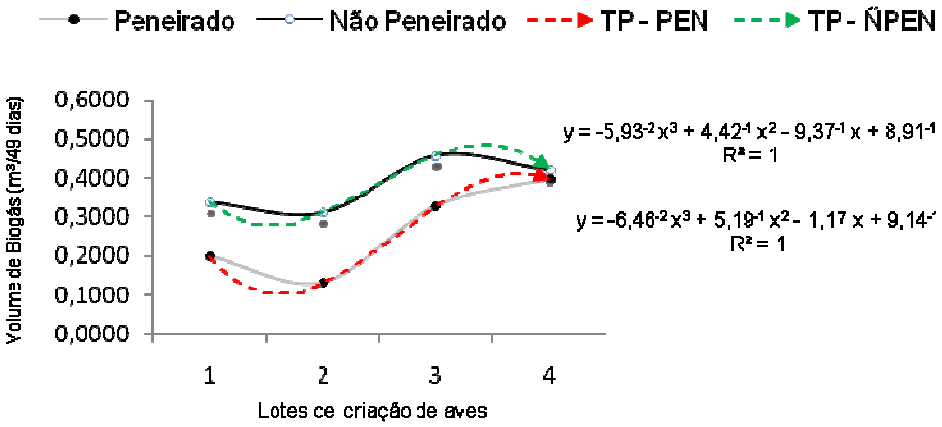


Figura 4. Volume acumulado de biogás (m^3/49 dias) e tendência polinomial (1º a 4º lote de criação de aves) dos tratamentos PEN e NPE em 49 dias de produção, utilizando cama de frango reutilizadas.

Estão apresentados na Tabela 18, os valores de produção diária de biogás de biodigestores operados com cama de frango de diferentes reutilizações, com tratamentos NPE e PEN.

Tabela 16. Valores médios da produção diária de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm, em biodigestores operados com cama de frango de diferentes reutilizações de cama.

Criação Aves	**Produção de Biogás (m^3/dia)**	
	NPE	**PEN**
1° Lote	0,0069 [a]	0,0045[Aa]
2° Lote	0,0063 [a]	0,0027[Bb]
3° Lote	0,0093 [a]	0,0067[Aa]
4° Lote	0,0086 [a]	0,0081[Aa]
F para tratamentos (T)		31,01**
F para Lotes (L)		19,83**
*F para T * L*		2,58
CV da parcela (%)		15,222

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Durante os 49 dias de biodigestão anaeróbia, não houve diferença (P>0,05) durante as reutilizações de cama de frango do tratamento NPE. No entanto ocorreram diferenças (P<0,05) no tratamento PEN, apresentando maiores valores o 4º, 3º e 1º lotes.

Já na comparação de tratamentos, ocorreram diferenças (P<0,05) apenas na produção de biogás entre o 2º lote, com 0,0063 e 0,0027 para tratamento NPE e PEN, respectivamente. Não ocorrendo interação entre lotes e tratamento ao logo do tempo.

Os dois primeiros lotes de ambos os tratamentos, apresentaram baixas produções de biogás em relação às reutilizações subseqüentes. Estes resultados indicam que as camas de 1º e 2º lote possam apresentar apenas casca de amendoim, com poucas quantidades de dejetos e conseqüentemente pouca matéria orgânica disponível para os microrganismos.

As médias diárias de produção de biogás são parâmetros importantes para se avaliar a freqüência média da produção, para que possa mensurar a quantidade de energia que estará disponível ao longo do tempo.

Estão apresentados nas Figuras 5 e 6, os valores diários do volume de biogás (m^3) produzido pelos biodigestores abastecidos com cama de frango, com tratamentos NPE e PEN, respectivamente .

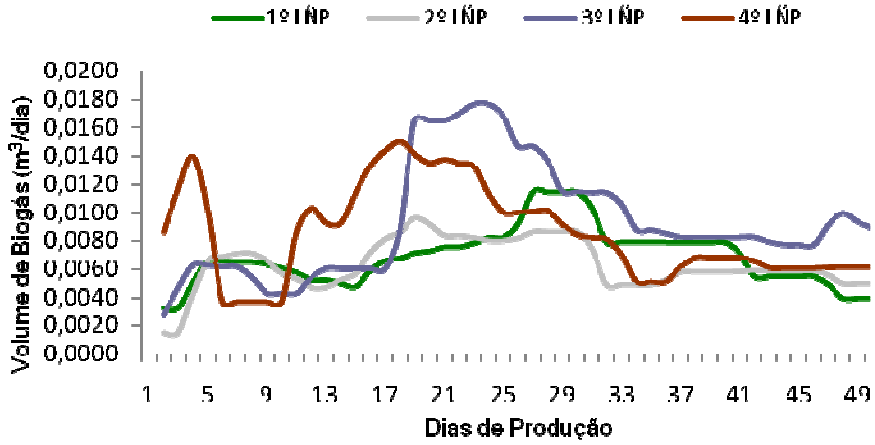


Figura 5. Volume de Biogás m^3/dia de cama de frango de números diferentes de reutilizações não peneiradas.

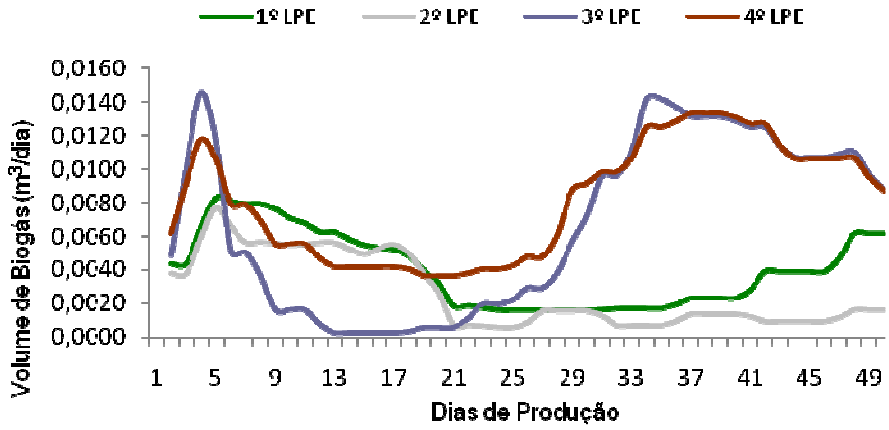


Figura 6. Volume de Biogás m^3/dia de cama de frango de números diferentes de reutilizações peneiradas.

O tratamento NPE apresentou nos três primeiros lotes, similaridade no volume de biogás (m^3/dia), com pequenos picos de CO_2 sem seqüência de vazio pós-pico, com picos de CH_4 entre os 23 dias em média, e após um pequeno vazio, apresentou uma produção constante de biogás em todos os lotes.

Os quatro lotes do tratamento PEN, tiveram picos iniciais de CO_2, caindo em um vazio durante 15 dias em média, ocorredo em seguiga um novo pico, agora com um percentual maior de CH_4. Deve- salientar que a produção biogás foi interrompida aos 49 dias de produção, para poder obter dados que se assemelhem com os dias de produção de um galpão de frango de corte, onde tem-se um período médio de 42 dias de criação e 15 dias de vazio sanitário. Observa-se que os biodigestores ainda produziriam um volume maior de biogás se fosse alongado o período de biodigestão anaeróbia.

Para comparação dos tratamentos, estão apresentados na Figura 7, a produção média do volume e a linha de tendência que mais se ajusta a este tipo de dado.

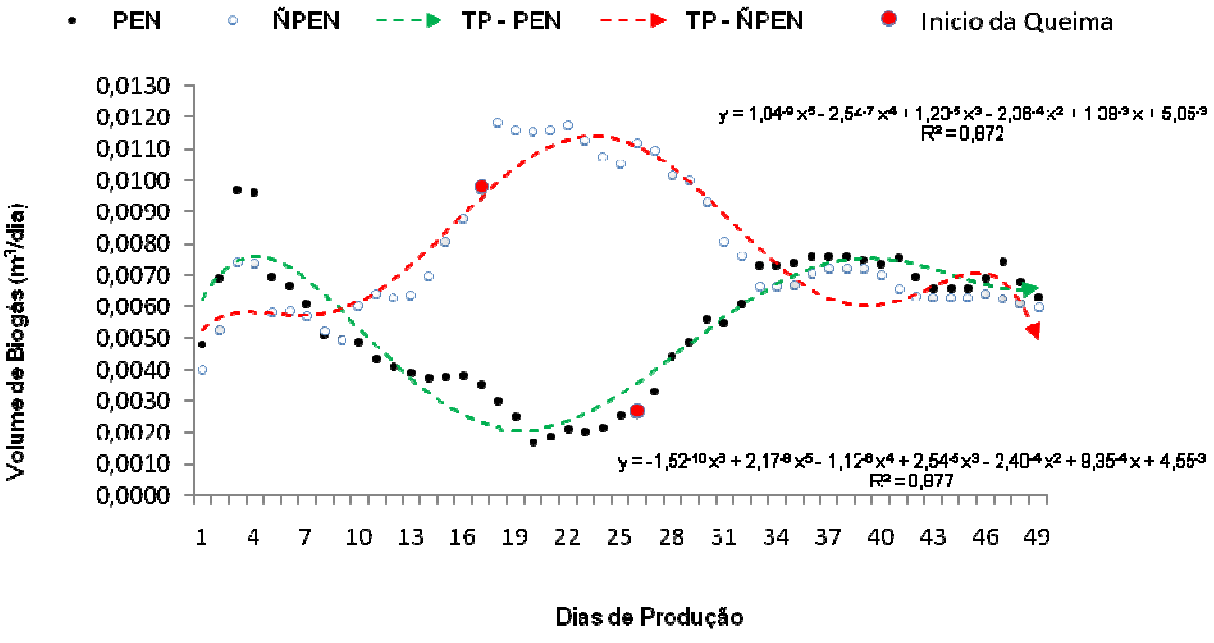


Figura 7. Volume de biogás (m^3/dia) e tendência polinomial (1º a 4º lote de criação de aves) dos tratamentos PEN e NPE, utilizando cama de frango reutilizada.

Se analisar as médias dos tratamentos de volume de biogás, observa-se que houve uma inversão nas épocas de maior produção de CO_2 e CH_4. O tratamento NPE obteve após um pequeno pico de CO_2, um pico maior de produção de CH_4, talvez em função da antecipação da queima. Já o tratamento PEN, apresentou médias de volume maiores no inicio do processo de biodigestão anaeróbia, seguido de vazio e um novo pico, para depois seguir em produção constante.

Estão apresentados na Tabela 19, os dados referentes à última semana de operação dos biodigestores, apresentando as produções médias de CH_4, CO_2 e impurezas (%) presentes no biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte.

Tabela 17. Produção média de CH_4 e CO_2 e impurezas (%) da última semana de operação dos biodigestores, para diferentes reutilizações de cama de frango.

Criações Aves	**Percentual de Metano (CH_4)**					
	NPE			**PEN**		
	CH_4	**CO_2**	**Impurezas**	**CH_4**	**CO_2**	**Impurezas**
1º Lote	81,35^{ab}	18,01^{ab}	0,64^{b}	78,92^{b}	20,07^{a}	1,01^{b}
2º Lote	82,98^{ab}	16,11^{ab}	0,91^{b}	80,66^{ab}	18,65^{ab}	0,70^{b}
3º Lote	85,98^{a}	13,37^{b}	0,65^{b}	81,98^{ab}	16,32^{ab}	1,70^{a}
4º Lote	84,93^{ab}	14,49^{ab}	0,58^{b}	79,98^{ab}	19,31^{ab}	0,71^{b}
Média	83,81^{A}	15,49^{B}	0,70^{B}	80,38^{B}	18,59^{A}	1,03^{A}
P Value	0,0165	0,0281	0,0002	0,0165	0,0281	0,0002
CV (%)	2,704	13,625	24,667	2,704	13,625	24,667

Em cada coluna médias seguidas de letras minúsculas, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
Em cada coluna médias dos tratamentos seguidas de letras maiúsculas, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Na comparação dos tratamentos não houve diferença (P>0,05) entre os lotes na última semana de produção de CH_4, exceto o 3º lote do tratamento NPE que diferiu (P<0,05) com maiores produções de CH4 (85,98 %).

Houve diferença (P<0,05) na comparação da produção de CO_2 dos tratamentos NPE (3º lote) e PEN (1º lote), apresentando valores médios 13,37 e 20,07 %, respectivamente.

E na comparação dos valores médios de CH_4 dos tratamentos NPE e PEN, observam-se maiores (P<0,05) valores 83,81 e 80,38 %, para o tratamento NPE.

E na comparação dos valores médios de CO_2 dos tratamentos NPE e PEN, observam-se maiores (P<0,05) valores 18,59 e 15,49 %, para o tratamento PEN.

Estão apresentados na Tabela 20, médias do dia inicial de queima dos biodigestores abastecidos com cama de frango.

Tabela 18. Média do dia inicial da queima do biogás, para diferentes reutilizações.

Criação Aves	**Início da queima** (dia)	
	NPE	**PEN**
1º Lote	23^{abc}	30^{a}
2º Lote	16^{bc}	27^{ab}
3º Lote	15^{c}	24^{abc}
4º Lote	14^{c}	24^{abc}
P Value	0,0019	
CV (%)	20,123	

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os tratamentos apresentaram suas queimas em média no 17º e 20º dia após o abastecimento dos biodigestores, para o tratamento NPE e PEN, respectivamente. O tratamento NPE apresentou uma queima precoce diferindo (P<0,05) do tratamento PEN.

Na comparação dos lotes, houve uma maior diferença (P<0,05) entre o 1º e 2º lote (PEN) e o 3º e 4º lote (NPE), apresentando valores médios 30 e 27; 15 e 14, respectivamente.

A produção média de biogás acumulado (%) antes e após o inicio da queima está apresentada na Tabela 21.

Os valores de produção de biogás acumulado antes da queima foram maiores (P<0,05) para o tratamento PEN (2º lote) apresentando 81,08 %, já o tratamento NPE obteve o menor valor 17,61 %.

Na comparação dos tratamentos após a queima de biogás, observam-se maiores (P<0,05) percentuais de CH_4 no tratamento NPE e PEN de 3º lote com valores médios de produção de biogás acumulado 82,39 e 78,66 % respectivamente.

Tabela 19. Média da produção de biogás acumulada (%) antes e após o início da queima.

Criação Aves	Produção de biogás acumulada (%)			
	NPE		PEN	
	Queima			
	Antes	Após	Antes	Após
1º Lote	41,86^{c}	58,14^{d}	69,43^{b}	30,57^{e}
2º Lote	28,32^{de}	71,68^{bc}	81,08^{a}	18,92^{f}
3º Lote	17,61^{f}	82,39^{a}	21,34^{ef}	78,66^{ab}
4º Lote	26,63^{def}	74,86^{ab}	35,16^{cd}	64,84^{dc}
P Value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)	8,325	5,471	8,325	5,471

Em cada coluna (antes e após) médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

3.4. Conclusões

A diluição e separação da cama de frangos de corte causam maiores aumento das concentrações de macro e micronutrientes ao final da biodigestão anaeróbia. A não diluição e separação de sólidos proporcionam maiores produções de biogás (m^3) na cama dos dois primeiro lotes de criação. Ao passo que nas 3 e 4º camas reutilizadas, não existe diferença no volume de biogás (m^3) produzido quando a cama de frango é diluída e separada, possibilitando a redução de sólidos pré biodigestão anaeróbia, reduzindo impactos ambientais.

CAPÍTULO 4 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES REUTILIZAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM OU SEM SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO.

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar a diluição e a separação de sólidos e líquidos da cama de frango de corte em diferentes reutilizações (1° a 4° Lotes) sobre a biodigestão anaeróbia da fração líquida em biodigestores contínuos. Foram realizadas análises de avaliação da produção de biogás e da caracterização mineral dos afluentes (entrada) e efluentes (saída) dos biodigestores. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos, sendo um com diluição e separação de sólidos e líquidos (PEN) e outro sem diluição e separação de sólidos e líquidos (NPE), com três repetições para cada tratamento, totalizando seis biodigestores. Para o tratamento PEN utilizou-se a diluição 4:1 (água/cama), com 3,0 % de Sólidos Totais (ST) em ambos os tratamentos. Os biodigestores foram abastecidos com cama de 1º lote, e suas cargas foram feitas com camas reutilizadas de 1º, 2º, 3º e 4º lote, mudando o lote a cada 40 dias, respectivamente. O tratamento NPE teve entupimento na caixa de entrada, por isso só foram obtidos dados até os 49 dias de operação, a partir daí operando como batelada, já o PEN foi operado até 160 dias. Em ambos os tratamentos foram obtidos 0,24 e 1,44 m^3 de biogás/kg de ST adicionados, respectivamente. A concentração de nutrientes de ambos os tratamentos apresentaram reduções de minerais em massa (kg) após a biodigestão anaeróbia.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, biodigestores anaeróbicos, casca de amendoim, dejetos, energia.

CHAPTER 4 - ANAEROBIC DIGESTION OF DIFFERENT REUSES OF LITTER BROILER WITH OR WITHOUT THE SEPARATION OF LIQUID AND SOLID FOR PRODUCTION OF BIOGAS IN CONTINUOUS SYSTEM OPERATED.

ABSTRACT: The aim of this study was to assess the dilution and separation of solids and liquids from the litter of broilers in different reuses (1 to 4 Lots) on the anaerobic digestion of liquid fraction in continuous system. Were analyzed for evaluation of production of biogas and mineral characterization of the affluents (entry) and effluents (exit) of digesters. The experimental was distributed in a completely randomized design with two treatments, one with dilution and separation of solids and liquids (PEN) and another without dilution and separation of solids and liquids (NPE) with three replications for each treatment, totaling six digesters. For treatment PEN used the dilution (found in Chapter 2) 4:1 (water / litter), with 3.01% Total Solids (TS) in both treatments. These were supplied with litter for 1 batch, and their load were made with reused litters for 1st, 2nd, 3rd and 4th batch, changing the lot every 40 days, respectively. Treatment NPE was clogging the inbox, so data were not obtained until the 49 days of operation, having to work as a batch, the PEN has operated up to 160 days. Both treatments were 0.24 and 1.44 m^3 of biogas / kg of ST added, respectively. The concentration of nutrients from both treatments showed reductions in mineral mass (kg) after anaerobic digestion.

Keywords: anaerobic digesters, energy, manure, peanut hulls, recovery of waste.

4.1. Introdução

A avicultura brasileira vem passando por períodos favoráveis nos últimos anos, pois durante os cinco últimos é a maior exportadora e a terceira maior produtora de frangos de corte do mundo. Com este invejável desempenho a avicultura também ostenta outro troféu pouco notável, que é o de campeão na produção de cama de frango.

Cama é todo o material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves (PAGANINI, 2004), sendo uma mistura de excreta, penas das aves, ração e o material utilizado sobre o piso. Vários materiais são utilizados como cama: maravalha, casca de amendoim, casca de arroz, casca de café, capim seco, sabugo de milho picado, entre vários outros materiais (GRIMES, 2004).

Há muitos anos a cama de frango vem sendo utilizado como fertilizante no solo, pois possuem elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas, acreditando-se que o solo seja um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e depurar os resíduos nele adicionados (SEGANFREDO, 2000), mas para uso como fertilizante, a cama de frango deve sofrer um processo de fermentação microbiológica, provocando a decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia ou anaeróbia. A compostagem e a biodigestão anaeróbia são exemplos respectivos de cada uma dessas formas de decomposição controlada.

Com a utilização de biodigestores, a cama de frango pode tornar-se fonte de geração de energia, visto que por meio da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, obtém-se o biogás com alto poder energético. Há possibilidade de utilização do biogás para geração de energia agregando valor ao dejeto diminuindo seus custos com o tratamento. O biofertilizante, material estabilizado no interior do biodigestor, pode ser utilizado na agricultura, pois é constituído por vários compostos minerais. Assim sendo, a utilização da biodigestão anaeróbia, propicia que três benefícios ocorram concomitantemente, ou seja, saneamento no meio rural, atendimento da demanda energética e a utilização do material biodegradado como biofertilizante.

O processo biológico para produção de biogás ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interage estreitamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (FORESTI et al., 1999).

A cama de frango de corte quando utilizada para produção de biogás, através da biodigestão anaeróbia possui alguns entraves que precisam ser solucionados para que essa alternativa se torne viável economicamente ao produtor.

Um dos problemas é a quantidade de material de difícil degradação existente em algumas camas de frangos, como por exemplo, a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para os microorganismos na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha, retendo a fração grosseira existente na cama deva incrementar a produção de biogás e reduzir o percentual de ST, antes da biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar.

Os ensaios de biodigestão anaeróbia das camas de frango de corte foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o potencial para produção de biogás em biodigestores contínuos das camas obtidas nos ensaios descritos no Capítulo 2, bem como conhecer a distribuição da produção ao longo do tempo. Além de quantificar e qualificar os afluentes e efluentes, assim como as suas reduções de matérias orgânicas.

4.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está instalado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

Realizaram-se para o estudo, quatro coletas de camas de frango reutilizadas de até 1º a 4º lote, para realizar ensaios experimentais de biodigestão anaeróbia em biodigestores contínuo com ou sem separação de sólidos.

4.2.1. Coleta da cama de frango de corte

Foram avaliadas as camas de frango de corte de quatro lotes subseqüentes criados em um galpão comercial pertencente à Empresa Rei Frango, localizada no município de São Carlos – SP (Apêndice 1).

O galpão experimental foi construído em alvenaria na orientação leste-oeste, com dimensões de 18,0 x 250,0 m, pé direito de 3,0 m, sem lanternim, coberto com telhas de fibrocimento, piso de concreto e mureta lateral em alvenaria com 0,6 m de altura, completada com tela de arame até o telhado e cortinado móvel externo. O galpão foi subdividido em 12 boxes de 18,0 x 20,7 m, sendo que no centro do galpão tem um corredor de 18,0 x 1,6 m.

As aves foram criadas nos períodos de 17 de janeiro a 19 de março (primeiro lote), 17 de abril a 9 de junho (segundo lote), 25 de junho a 09 de agosto (terceiro lote) e 31 de agosto a 11 de outubro (quarto lote) de 2007.

1º Criação: Todos os boxes (1 a 12) receberam casca de amendoim nova

2º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 1º Criação (2º Lote) e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova.

3º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 2º Criação (3º Lote), Boxes 1, 2 e 3 permaneceram com cama da criação anterior (2º Lote) e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova.

4º Criação: Boxes 4, 5 e 6 permaneceram com cama da 3º Criação (4º Lote), Boxes 1, 2 e 3 permaneceram com cama da 2º Criação (3º Lote), Boxes 7, 8 e 9 permaneceram com cama da criação anterior (2º Lote) e nos demais boxes foi retirada toda a cama da criação anterior e colocada casca de amendoim nova (1º Lote).

Para todos os lotes de criações, a amostragem da cama foi realizada da seguinte forma:

1º passo: Em cada boxe de criação das aves, foram coletados amostras de cama, abrindo-se uma vala, no sentido norte e sul (sentido transversal) do galpão para obtenção da cama de várias situações, abaixo de comedouro, bebedouro e cantos do boxe. Cada vala possuía 0,5 m de largura, 18 m de comprimento e 0,3 m de altura (Apêndice 2).

2° passo: Dentro do mesmo boxe foi aberto um espaço de 8 m^2 para homogenização da cama (Apêndice 3), e em seguida foi amostrado 150 kg de cama (matéria natural) por boxe e levado para universidade para realização da biodigestão anaeróbia. O restante da cama produzida permaneceu para condução do lote subseqüente.

Com a finalidade de controlar os aspectos sanitários na criação dos frangos de corte, os procedimentos para desinfecção do galpão foram da seguinte forma: 1) Retirada da cama; 2) Limpeza do piso, da calçada e das telas; 3) Lavagem com água em todo galpão; 4) Pulverização com amônia quartenária 15% mais glutaraldeído 35% na proporção de 1 L para 1000 L de água; 5) Aplicação de cal virgem sobre o piso, na proporção de 60 kg de cal virgem para 200 L de água; 6) Colocação da casca de amendoim desinfectada.

Quando a cama era reutilizada, seguia os seguintes procedimentos: 1) Queima das penas com lança-chamas; 2) Aplicação de inseticida para controle de cascudinho (*Alphitobius diaperinus*); 3) Adição de 1000 kg de casca de amendoim nova (matéria natural) por boxe no pinteiro, previamente limpa e desinfectada com alguns dias de antecedência ao alojamento dos pintos

4.2.2. Ensaio de biodigestão anaeróbia com cama de frango

Os biodigestores foram inicialmente abastecidos com cama de 1º lote, e suas cargas foram feitas com camas reutilizadas de 1º, 2º, 3º e 4º lote, mudando o lote a cada 40 dias, respectivamente. Sendo três repetições para o tratamento com separação de sólidos (PEN) e três repetições sem separação de sólidos (NPE), totalizando seis biodigestores em sistema contínuo, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado.

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentadas as descrições dos biodigestores com capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação, fazendo parte de uma bateria de mini-biodigestores, descrita por ORTOLANI et al. (1986). São constituídos basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais se encontra inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água que se convencionou denominar “selo d´água”, atingindo profundidade de 480 mm.

Uma campânula flutuante de fibra de vidro, emborcada no “selo d´água”, armazena o gás produzido e conferi pressão ao mesmo.

Os biodigestores são semi-subterrâneos, sendo a superfície do solo a sua volta revestida por uma calçada de concreto com 5 cm de espessura. O cilindro interior (câmara de fermentação) encontra-se em comunicação com uma vala de drenagem por meio de um tubo de escoamento ligado ao fundo da câmara e que serve para descarga do efluente.

A diferença deste biodigestor (contínuo) com o biodigestor batelada, é que este possui uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras (Figura 3). A função da parede divisória e fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. Além de que neste é realizada uma carga diária de substrato, por isso ele possui uma caixa de entrada (local onde se deposita o afluente) e uma caixa de saída (local onde se extrai o efluente).

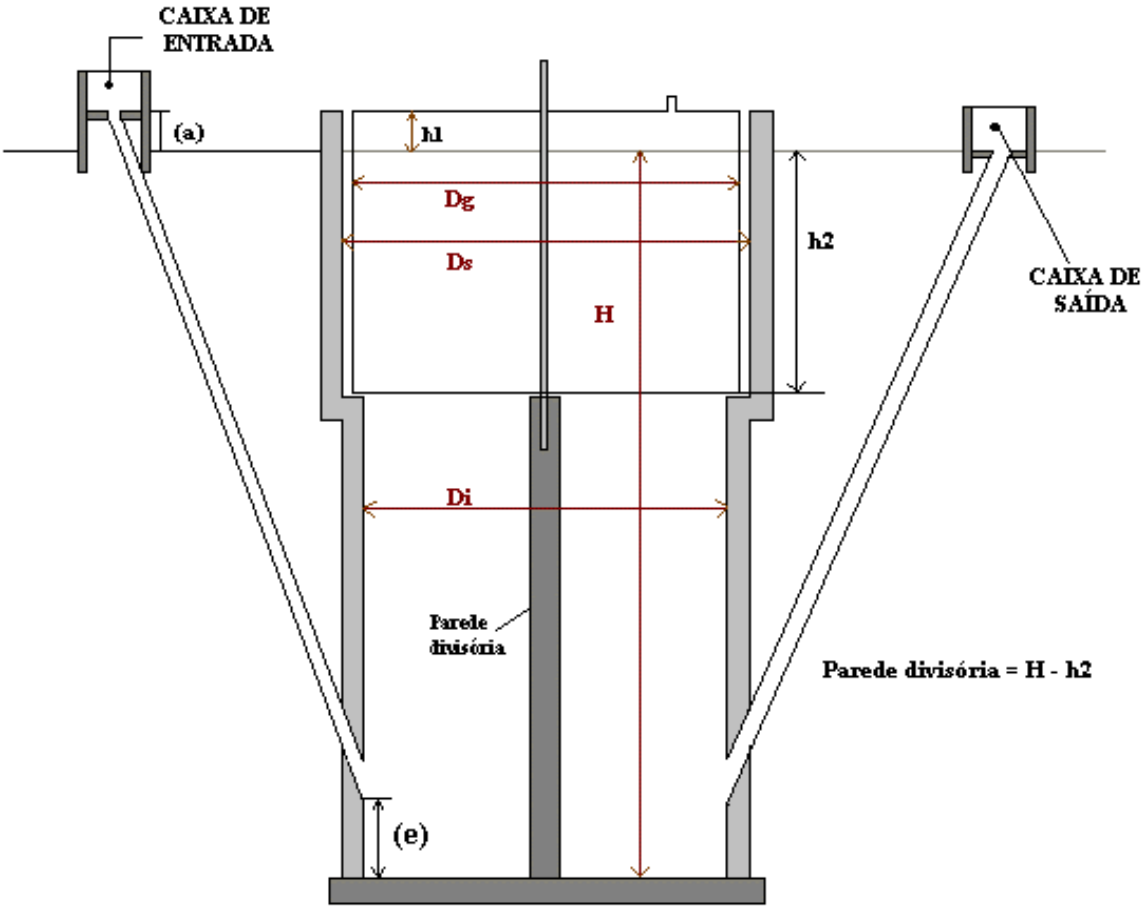


Figura 1. Esquema dos biodigestores contínuos.
(Fonte: ORTOLANI et al., 1986).

H - é a altura do nível do substrato;

Di - é o diâmetro interno do biodigestor;

Dg - é o diâmetro do gasômetro;

Ds - é o diâmetro interno da parede superior;

h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - é a altura útil do gasômetro.

a - é a altura da caixa de entrada.

e - é a altura de entrada do cano com o afluente.



Figura 2. Biodigestores tipo contínuo utilizados no experimento.



Figura 3. Parte interna do biodigestor tipo contínuo utilizado no experimento

4.2.3. Preparo da solução (fração líquida)

Através das diluições testadas no Capítulo 2, foi escolhida a de 4:1 kg de água/kg de cama para os ensaios experimentais, tendo como parâmetros os sólidos totais e a utilização da menor quantidade possível de diluente (água).

Para obter a fração líquida (Apêndice 4) das camas realizou-se uma padronização na separação dos sólidos, onde a cama após pesada e diluída na proporção de 4:1, era separada por malha de 3 mm, resultando em duas frações distintas.

4.2.4. Preparo do inóculo

O inóculo, composto por cama de frango digerida (Apêndices 5), a ser utilizado nos seis biodigestores na fase inicial de avaliação experimental, foi previamente preparado em quatro biodigestores com capacidade de 60,0 kg, utilizando-se de 20,0 kg de biofertilizante de estrume de bovinos coletado em biodigestor contínuo modelo indiano, 4,5 kg de cama de frango e 35,5 kg de água para completar a capacidade de cada biodigestor.

4.2.5. Preparo das cargas e coletas de efluentes

Foram realizados cálculos para obtenção de um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 30 dias:

Onde

$$CD = \frac{Vol.}{TRH} \qquad (1)$$

No qual:

CD = carga diária;
Vol. = volume do biodigestor;
TRH = tempo de retenção hidráulica.

Como o volume do biodigestor era de 60 L, foram adicionados dois litros diários (Apêndice 10) da fração líquida da cama de frango para o tratamento PEN e dois litros de cama de frango diluída em água (tratamento NPE).

O início das cargas diárias em ambos os tratamentos foram feitos após a queima do biogás.

As cargas diárias de ambos os tratamentos, foram preparadas para obtenção de teor de sólidos totais próximos a 3,0%. Para o tratamento NPE, as cargas foram preparadas conforme expressões citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas Junior (1994), adaptando-as para cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(6) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(7) $$CF = \left(\frac{SB}{STc}\right) 100$$

(8) $$A = W - CF$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;
W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;
STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;
CF = quantidade de cama em kg a ser adicionado em W;
STc = sólidos totais da cama de frango;
A = peso de água a ser misturado com CF para se obter W.

Para o tratamento PEN, as cargas foram preparadas conforme expressões já citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas Junior (1994), no entanto teve-se que adaptá-las para frações líquidas de cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(7) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(8) $$FL = \left(\frac{SB}{ST\ell}\right) 100$$

(9) $$CF = \left(\frac{1 \times FL}{PS}\right)$$

(10) $$A = \left(\frac{4 \times FI.}{PS}\right)$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;

W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;

STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

FL = fração líquida que será adicionada em W;

STℓ = sólidos totais da fração líquida;

CF = quantidade de cama em kg a ser diluída em água;

PS = peso da fração líquida (2,528 kg) do teste de diluição (4:1);

1 e 4 = Constante para diluição 4:1 (cama/água);

A = peso de água a ser misturado com CF para diluição;

Na mesma hora em que eram realizadas as cargas, eram feitas as coletas diárias dos efluentes, sendo separados em recipientes de plástico durante sete dias, obtendo sete amostras para cada biodigestor, totalizando 21 amostras. Em seguida eram congeladas em freezer para que ao final desse período, fossem misturadas, obtendo-se assim três amostras homogêneas de sete coletas diárias de cada tratamento, totalizando seis amostras semanais.

4.2.6. Preparo do substrato

O inóculo utilizado para o abastecimento foi preparado para obtenção do teor de sólidos totais próximos a 15%, como recomendado por Santos (2001). Seguindo o modelo proposto por Lucas Junior (1994) onde, mistura-se cama de frango, água e inóculo. Os substratos dos abastecimentos dos biodigestores foram preparados para obtenção de teor de sólidos totais próximos a 3,0%.

É apresento no Apêndice 6, um fluxograma que descreve o delineamento dos tratamentos e as suas formas de reciclagem.

Para o tratamento, NPE, o substrato foi preparado conforme expressões citadas em Ortolani et al*.* (1991) e Lucas Junior (1994), adaptando-as para cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(1) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(2) $$IN = \left(\frac{SB \times PIs}{100}\right)$$

(3) $$CF = \left(\frac{SB - IN}{STc}\right) 100$$

(4) $$INS = \left(\frac{IN}{STi}\right) 100$$

(5) $$A = W - (CF + INS)$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;

W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;

STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

IN = fator de correção de inclusão de ST;
PIs = percentual de inoculo na matéria seca do substrato (15%);
CF = quantidade de cama em kg a ser adicionado em W;
STc = sólidos totais da cama de frango;
INS = peso de inóculo que deverá ser adicionado em W;
STi = porcentagem de sólidos totais contida no inóculo;
A = peso de água a ser misturado com CF e INS para se obter W.

Para o tratamento PEN, o substrato foi preparado conforme expressões já citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas Junior (1994), no entanto teve-se que adaptá-las para frações líquidas de cama de frango, ou seja:

Fórmula:

(1) $$SB = \left(\frac{W \times STs}{100}\right)$$

(2) $$IN = \left(\frac{SB \times PIs}{100}\right)$$

(3) $$FL = \left(\frac{SB - IN}{STc}\right) 100$$

(4) $$CF = \left(\frac{1 \times FL}{PS}\right)$$

(5) $$A = \left(\frac{4 \times FL}{PS}\right)$$

(6) $$INS = \left(\frac{IN}{STi}\right) 100$$

No qual:

SB = peso seco da cama de frango a ser adicionado em W;

W = peso do substrato a ser colocado no biodigestor;

STs = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

IN = fator de correção de inclusão de ST;

PIs = percentual de inoculo na matéria seca do substrato (15%);

FL = fração líquida que será adicionada em W;

STℓ = sólidos totais da fração líquida;

CF = quantidade de cama em kg a ser diluída em água;

PS = peso da fração líquida (2,528 kg) do teste de diluição (4:1);

1 e 4 = Constante para diluição 4:1 (cama/água);

A = peso de água a ser misturado com CF para diluição;

INS = peso de inóculo que deverá ser adicionado em W;

STi = porcentagem de sólidos totais contida no inóculo.

Na Tabela 1, estão apresentados os períodos de operação dos experimentos e as quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com as reutilizações de cama.

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH) e quantidades médias dos componentes iniciais do substrato colocado nos biodigestores, de acordo com o tratamento.

Cama Reutilizada	**Período de Operação**	**TRH (dias)**	**Cama (kg)**	**Água (kg)**	**Solução (kg)**	**Inóculo (kg)**
NPE	26/jul a 14/set (50 dias)	50	2,13	45,79	-	12,08
PEN	26/jul a 03/dez (160 dias)	30	19,52	78,09	49,35	10,65

4.2.7. Dados meteorológicos do período experimental

São apresentadas no Apêndice 7, as médias das variáveis climáticas em Jaboticabal – SP, obtidas durante o período experimental.

4.2.8. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, dos substratos e efluentes nos ensaios de biodigestão anaeróbia, foram acondicionadas em cadinhos de alumínio previamente tarados, pesados para se obter o peso úmido (Pu) do material e em seguida, levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65ºC até atingirem peso constante e em seguida, resfriadas em dessecador e pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$ST = 100 - U \qquad e \qquad U = (PU - PS) / PU \times 100$$

No qual:

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso seco da amostra, em g.

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA® A11 basic, para determinação de todas as análises experimentais realizadas.

Para a determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram pesados em cadinhos de porcelana e levados à mufla a temperatura de 575ºC durante um período de 2 horas, após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas. O teor de sólidos voláteis foi determinado a partir de metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$SV = ST - cinzas \qquad e \qquad cinzas = \{ 1 - [(PU - Pm) / PU] \} \times 100$$

No qual :

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

Pm= peso obtido após queima em mufla, em g.

Os sólidos voláteis foram expressos, portanto, em porcentagem da matéria seca.

4.2.9. Digestão e quantificação dos minerais

As amostras coletadas foram digeridas, utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico ($HClO_4$) levados ao bloco digestor, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizado ácido sulfúrico (H_2SO_4) e mistura digestora composta por sulfato de sódio (Na_2SO_4), sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$) e selenito de sódio (Na_2SeO_3). O nitrogênio foi determinado por meio da utilização do destilador micro-Kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal $(NH_4)_2SO_4$ em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(NH_4)_2SO_4$, na presença do indicador ácido/base, conforme metodologia descrita por Silva (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6N, onde a cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando-se assim a concentração de fósforo das amostras, por meio da utilização de uma reta padrão

traçada previamente a partir de concentrações conhecidas, entre 0 e 32 µg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados através da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

4.2.10. Determinação da produção de biogás

As produções de biogás foram calculadas com base na leitura das réguas dispostas ao lado dos eixos de condução dos gasômetros que continham setas que apontavam nas réguas o deslocamento vertical do gasômetro obtido no intervalo entre as leituras. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, que no caso dos biodigestores batelada em questão era igual a 0,2827 m^2. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20^oC, foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985) no qual verificou-se que, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentou comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por Santos (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac,

Onde:

$$\frac{V_o \; P_o}{T_o} = \frac{V_1 \; P_1}{T_1}$$

No qual:

V_o = volume de biogás corrigido, m^3;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de água;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10 mm de água;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

Expressão:

$$Vo = \frac{V_1}{T_1} \; x \; 273{,}84575$$

Após cada leitura do volume de biogás produzido, era verificada a temperatura do biogás com o uso de um termômetro digital portátil Brastermo (em ℃), o qual possui um sensor localizado na extremidade de uma haste metálica introduzida a 5 m de profundidade no orifício de saída do gás do biodigestor.

4.2.11. Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores contínuos para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama.

Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Após a detecção da mesma, este teste não mais era necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo.

4.2.12. Determinação dos teores de metano e dióxido de carbono

Para avaliação do teor de metano no biogás produzido foram retiradas amostras de biogás a partir da 6º semana, até a última semana de operação, utilizando-se

seringas de plástico de 100 mL de volume, apropriadas para coletas de biogás, sendo as determinações feitas utilizando-se cromatógrafo de fase gasosa GC 2001, equipado com colunas Porapack Q e Peneira Molecular 5A, utilizando o hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi feita com o gás padrão contendo metano, dióxido de carbono, oxigênio e nitrogênio. Os percentuais dos componentes foram determinados com o auxílio de um integrador processador.

4.2.13. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

4.3. Resultados e Discussão

Os biodigestores NPE (eram em número de três), sofreram entupimento na tubulação de carga (entre o 17º e o 18º dia de operação). Foi realizado o desentupimento com mangueiras, as quais eram pressionadas para dentro do compartimento de carga, para que esta chegasse até a parte interna do biodigestor. Além disso, preocupou-se com a forma de preparo da carga, sendo este macerado de forma efetiva, não restando partes grosseiras. No entanto, sem êxito decidiu-se operar o tratamento NPE como batelada, ou seja, sem adição de cargas e coletas de efluentes. Sendo possível apenas um total de três cargas e coletas de efluentes semanais para esse tratamento.

O entupimento da tubulação se deve a dois fatores importantes, que devem ser levados em consideração no dimensionamento de biodigestores contínuos para operação com cama de frango: uma delas está relacionada com o dimensionamento estrutural do compartimento de carga, sendo que a altura e a angulação deste em

relação a parte interna do biodigestor, devem ter suas medidas redimensionadas, além de que é preciso rever o diâmetro da tubulação utilizada para realizar a carga e conseqüentemente a tubulação de coleta dos efluentes.

Outro fator importante é o grau de decomposição que a cama de frango se apresenta, pois uma das causas do entupimento pode ser também pela quantidade de material grosseiro existente na cama, justificando a diluição e a separação por malha. Por isso seria necessário um pré-tratamento da cama de frango, tal como foi realizado em um dos tratamentos.

4.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis

Estão apresentados na Tabela 2, os dados de concentração de ST e SV em (%) e (kg), dos afluentes e efluentes dos biodigestores PEN e NPE de diferentes reutilizações de cama de frango, além das suas reduções de SV. Não foram feitos análises estatísticas para comparação dos dois tratamentos, visto que o tratamento NPE foi operado como batelada.

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem, para as diferentes reutilizações de cama de frango em biodigestores contínuo.

Criação Aves	**Sólidos Totais**				**Sólidos Voláteis**				
	A	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**Redução**
	(%)		(kg)		(%)		(kg)		%
NPE	1,697	0,908	0,556	0,290	1,543	0,809	0,507	0,259	40,29
PEN	3,497	1,868	1,406	0,615	3,249	1,707	1,303	0,562	46,71

O tratamento NPE obteve valores médios de 0,556 kg de ST adicionados nos afluentes, menores que os valores médios do tratamento PEN (1,406 kg de ST adicionados). Esta diferença se deve ao tempo de retenção de ambos os tratamentos, pois o tratamento NPE foi prejudicado com a operação em batelada dos biodigestores.

Os tratamentos NPE e PEN apresentaram valores (40,29 e 46,71 % de SV reduzidos) que diferiram ao fim do processo de biodigestão anaeróbia em função do dos dias de operação utilizado paca cada tratamento. Esses valores são equivalentes aos encontrados por Santos (2001), avaliando a biodigestão anaeróbia de cama de frango (maravalha), obteve 41,27 a 41,95 % de redução nos teores de SV nas camas de 1º e 2º reutilização, respectivamente.

4.3.2. Concentração de nutrientes dos substratos

4.3.2.1. Concentração de nutrientes da cama de frango

Os resultados médios da composição química para o aproveitamento das camas de frangos para biodigestão anaeróbia estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, para os materiais originais e nas Tabelas 5 e 6, para as camas obtidas em 4 lotes seguidos de criações de frangos de corte.

Tabela 3. Concentrações de macronutrientes na casca de amendoim, em g/100g de matéria seca (MS).

Material	N	P	K	Ca	Mg	Na
	g/100g					
Casca Amendoim	0,56	ND	0,86	0,26	0,11	0,12

*ND: Não Detectável

Tabela 4. Concentrações de micronutrientes e metais na casca de amendoim, em mg/kg de matéria seca (MS).

Material	Zn	Cu	Mn	Fe
	(mg/kg)			
Casca Amendoim	135,40	189,56	81,24	947,79

*ND: Não Detectável

Tabela 5. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores contínuos.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			g/100g			
Cama 1º L	5,10	1,33^{c}	2,35^{b}	2,11^{c}	0,52^{b}	0,48^{b}
Cama 2º L	6,14	1,47^{c}	2,44^{b}	2,37^{bc}	0,58^{b}	0,60^{ab}
Cama 3º L	6,28	2,27^{a}	3,17^{a}	3,42^{a}	0,76^{a}	0,78^{ab}
Cama 4º L	6,49	1,80^{b}	2,76^{ab}	2,84^{b}	0,61^{b}	0,85^{a}
P Value	ns	<0,0001	0,0089	0,0001	0,0015	0,0307
CV (%)	16,28	6,7	8,49	7,06	7,62	19,30

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 6. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das camas utilizadas nos biodigestores contínuo.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
			(mg/kg)	
Cama 1º L	399,10^{b}	524,50	333,39^{b}	1495,85^{b}
Cama 2º L	472,44^{ab}	558,66	343,82^{b}	1569,53^{ab}
Cama 3º L	567,44^{a}	631,11	442,48^{a}	1715,83^{a}
Cama 4º L	532,56^{ab}	597,89	383,82^{ab}	1405,99^{b}
P Value	0,0200	ns	0,0028	0,0058
CV (%)	10,68	10,66	6,71	4,86

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Comparando com os resultados apresentados neste experimento a casca de amendoim apresentou maiores teores de macronutrientes do que os obtidos em estudo realizado por Severino et al. (2006), os quais foram 1,53; 0,36; 0,46 e 0,21 % para N, K, Ca e Mg, respectivamente.

Por ser um subproduto do beneficiamento de amendoim e não ser utilizado para o consumo, a composição deste material pode variar de acordo com a variedade da cultura, o clima, e principalmente o beneficiamento.

Comparando a média dos resultados de composição de minerais dos lotes de criações (reutilizações de cama) com a casca de amendoim, observa-se que houve um

aumento em todos os teores: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn mostrando o acúmulo de nutrientes depositados após as criações das aves, devido a composição das excretas, penas, rações e outros materiais que compõem a cama de frango.

Observando os resultados nas Tabelas 5 e 6, os minerais P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn e Fe aumentaram significativamente ($P<0,05$) com a reutilização da cama.

Em geral, os resultados apresentados por Konzen (2003) sobre as concentrações de macronutrientes nas camas (N, P, K, Ca e Mg) estão próximos, com exceção do nitrogênio, que em média foi duas vezes menor (3,00 g/100g) que o encontrado neste experimento (6,00 g/100g).

Apenas alguns macronutrientes como P, Ca, Mg e Na estavam próximos ao comparar com os resultados citados por Jordaan (2004).

Severino et al. (2006), ao estudarem onze materiais orgânicos, dentre esses a casca de amendoim e a cama de frango, encontraram valores de macronutrientes (N: 1,53 e 2,95; P: 0,36 e 3,87; K: 0,79 e 1,10; Ca: 0,46 e 4,71; Mg: 0,21 e 6,93 g/100g, respectivamente) diferentes dos autores citados anteriormente e também dos resultados apresentados neste experimento.

Santos (1997) ao avaliar diferentes camas de frango (napier, maravalha e a mistura de napier com maravalha) sobre dois lotes de criação, observou aumento significativo ($P<0,05$) na concentração dos minerais (N, P, K, Ca, MG, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr e Ni) na cama de frangos de acordo com a reutilização. Sendo os resultados apresentados por esta autora, semelhante apenas na concentração em K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe, devido a diferença do material utilizado como cama.

Esta variação na composição química da cama de frango se deve ao fato de haver diferenças nos materiais utilizados como cama, no balanço nutricional, no manejo dos frangos de corte, na reutilização da cama, dentre diversas outras variações.

4.3.2.2. Concentração de nutrientes da fração líquida da cama de frango (solução)

Estão apresentados na Tabela 7 e 8, a concentração de macro e micronutrientes das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição de 4:1 (água/cama) da cama de frango de corte.

Tabela 7. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores contínuo.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)			
Solução 1º L	5,22[b]	0,89[b]	0,66[b]	3,89[b]	0,93	2,03[b]
Solução 2º L	5,61[b]	1,66[a]	0,72[b]	7,84[a]	1,00	7,15[a]
Solução 3º L	5,61[b]	1,47[ab]	0,83[b]	6,08[ab]	0,95	5,51[a]
Solução 4º L	6,35[a]	1,13[ab]	1,12[a]	6,19[ab]	0,90	8,18[a]
P Value	0,0065	0,0226	0,0005	0,0086	ns	0,0008
CV (%)	4,835	19,518	9,978	16,543	20,238	19,913

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 8. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), das frações líquidas (solução) adquiridas no peneiramento e diluição 4:1 (água:cama), utilizadas nos biodigestores contínuo.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Solução 1º L	1321	1060[b]	595	2379
Solução 2º L	1797	1760[ab]	738	2800
Solução 3º L	2522	2090[a]	653	3019
Solução 4º L	2111	2275[a]	845	2847
P Value	ns	0,0132	ns	ns
CV (%)	27,989	19,687	15,156	16,105

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Os valores encontrados nos macro e micronutrientes das soluções foram maiores que o material original (cama sem diluição em água), isto porque o processo de coleta da cama pode muitas vezes influenciar na concentração e quantificação dos nutrientes.

Outro fator que também pode influenciar é a forma como a cama se apresenta após a sua utilização na granja. Normalmente são formados blocos (dejeto + casca de amendoim + umidade ambiente) que dificultam a solubilização após a maceração e diluição em água.

A fração líquida da cama de frango diluída em 4:1 (água/cama), apresentou de maneira geral, um aumento nas quantidades dos macro e micronutrientes avaliados, conforme se aumentava a reutilização. Isto se deve a quantidade de tempo que a cama ficou disponível aos frangos de corte.

Além de que, a forma com que a separação por malha dos sólidos e líquidos é feita, pode também influenciar na passagem da quantidade de nutrientes, dificultando a padronização dos sólidos.

Por isso deve se padronizar a separação dos sólidos, sendo esta realizada da melhor forma, quando mecanizada, pois assim não existirá um menor risco de erros na mensuração ou quantificação dos macro e micronutrientes.

4.3.2.3. Concentração de nutrientes do inóculo

As concentrações de macro e micronutrientes dos inóculos utilizados encontram-se nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9. Concentrações de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores contínuo, abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	N	P	K	Ca	Mg	Na
			g/100g			
Inóculo 1º L	591^{c}	242^{c}	349^{b}	2309^{b}	591^{c}	242^{c}
Inóculo 2º L	1013^{b}	746^{b}	426^{ab}	2185^{b}	1013^{b}	746^{b}
Inóculo 3º L	1027^{b}	1000^{ab}	459^{ab}	2486^{b}	1027^{b}	1000^{ab}
Inóculo 4º L	2297^{a}	1121^{a}	547^{a}	3964^{a}	2297^{a}	1121^{a}
P Value	0,0002	0,0006	0,0575	0,0142	0,0002	0,0006
CV (%)	7,61	8,16	10,58	11,53	7,61	8,16

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05; ns: não significativo.

Tabela 10. Concentrações de micronutrientes e metais, em mg/kg de matéria seca (MS), nos inóculos utilizados nos biodigestores contínuo, abastecidos com cama de frango.

Criação Aves	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Inóculo 1º L	591^{c}	242^{c}	349^{b}	2309^{b}
Inóculo 2º L	1013^{b}	746^{b}	426^{ab}	2185^{b}
Inóculo 3º L	1027^{b}	1000^{ab}	459^{ab}	2486^{b}
Inóculo 4º L	2297^{a}	1121^{a}	547^{a}	3964^{a}
P Value	0,0002	0,0006	0,0575	0,0142
CV (%)	7,61	8,16	10,58	11,53

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

As concentrações de N, P, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe dos inóculos aumentaram significativamente (P<0,05) com a reutilização da cama de frango. Já o K, Ca e o Na, não sofreram aumentos significativos.

Como o inóculo contém mais de 90% de água e as quantidades de nutrientes tendem a ser mais concentrada com a reutilização da cama, provavelmente, a maior concentração de alguns minerais deve-se ao aumento da quantidade de excreta e também pela decomposição da matéria orgânica, da qual a maior parte é carbono.

Uma vez passado pelo processo, o carbono é transformado em metano e em dióxido de carbono, sendo perdidos do substrato na forma de gases. Cada quilo de matéria seca do inóculo passa a ter então, maior quantidade de outros elementos que não carbono.

4.3.2.4. Concentrações de nutrientes dos afluentes e efluentes

Os teores de macro e micronutrientes dos afluentes e efluentes dos tratamentos PEN e NPE encontram-se nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11. Concentrações médias de macronutrientes, em g/100g de matéria seca (MS) nos afluentes e efluentes de biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango.

Criação	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Na**
Aves			**(g/100g)**			
NPE						
Afluente	4,10[b]	1,28[b]	1,06[b]	2,78	1,26	2,07
Efluente	6,11[a]	2,02[a]	1,28[a]	3,44	1,61	2,11
P Value	<0,0001	0,0187	0,0043	ns	ns	ns
CV (%)	2,847	14,388	1,433	17,909	31,268	11,172
PEN						
Afluente	4,73[b]	2,33	0,95	1,72	0,99	3,64
Efluente	6,47[a]	2,99	1,10	2,20	1,33	3,73
P Value	0,0286	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11,400	30,034	16,442	22,662	17,555	32,244

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
ns: não significativo.

Tabela 12. Concentrações de micronutrientes, em mg/kg de matéria seca (MS) nos afluentes e efluentes de biodigestores contínuo abastecidos com cama de frango.

Criação	**Zn**	**Cu**	**Mn**	**Fe**
Aves		**(mg/kg)**		
NPE				
Afluente	1519[b]	1374[b]	740	2922
Efluente	2018[a]	2509[a]	931[b]	4455
P Value	0,0168	0,0038	ns	ns
CV (%)	8,746	11,866	16,910	28,941
PEN				
Afluente	1480	1535	694	1372[b]
Efluente	1737	1932	842	2328[a]
P Value	ns	ns	ns	0,0072
CV (%)	8,093	27,001	10,618	12,534

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05); ns: não significativo.

Houveram diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de N, P e K do tratamento NPE e a concentração de N do tratamento PEN dos afluentes e efluentes utilizados para biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama. Observa-se que a concentração de minerais nos afluentes foi menor (P<0,05) que dos efluentes.

Apesar das concentrações de macro e micronutrientes nos efluentes apresentarem-se maior que nos afluentes, quando se avalia a massa (kg), observa-se que houve uma redução nos ST dos efluentes com a biodigestão anaeróbia.

Houve diferenças significativas (P<0,05) nas concentrações de Zn e Cu do tratamento NPE e as concentrações de Fe do tratamento PEN dos afluentes e efluentes utilizados para biodigestão anaeróbia com diferentes reutilizações de cama. Observa-se que a concentração de minerais nos afluentes foram menores (P<0,05) que dos efluentes.

4.3.3. Produção de biogás dos biodigestores contínuos

O potencial médio de produção de biogás durante 30 dias e por dia em biodigestores abastecidos com cama de frango de diferentes reutilizações de cama, com ou sem separação de sólidos e líquidos encontra-se na Tabela 13.

Tabela 13. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm., em biodigestores contínuo abastecidos com camas de frango reutilizada.

Criação Aves	Produção de Biogás (m^3)					
	Volume (m^3) 30 dias	Substrato	Cama	*STadic	**SVadic	***SVred
		(m^3/kg)				
NPE	0,337	0,006	0,018	0,240	0,259	0,824
PEN	0,801	0,013	0,376	1,441	1,581	3,693

Para demonstrar o potencial de produção de biogás dos biodigestores de ambos os tratamentos, foi escolhida uma faixa (30 dias) em que existiu constância de produção de biogás.

O tratamento PEN apresentou maiores valores de produção (0,013 m^3 biogás/kg de substrato) de biogás, do que o tratamento NPE (0,006 m^3 biogás/kg de substrato).

E na comparação de tratamento de m^3 biogás/kg de cama, houve diferença na produção de biogás, ficando com os maiores valores o tratamento PEN (0,376 m^3 biogás/kg de cama) e os menores o tratamento NPE (0,018 m^3/kg de biogás/cama). Estes valores se devem ao fato de que o tratamento peneirado teve uma maior quantidade de ST adicionados (1,581 m^3 biogás/kg de ST adicionados) do que o tratamento NPE. Os valores médios de produção do tratamento NPE 0,240 m^3 de biogás/kg ST coadunam com os obtidos por Lucas Junior et al. (1993) – 0,25 a 0,29 m^3 de biogás/kg ST adicionados e Santos (1997) – 0,17 a 0,27 m^3 de biogás/kg ST adicionados.

Os valores de SV adicionados foram maiores (P<0,05) para o tratamento PEN, obtendo 1,322 m^3 biogás/kg de SV a mais que o tratamento NPE. Webb e Hawkes (1985) encontraram valores mais baixos (0,25 a 0,37 m^3 de biogás/kg SV adicionados).

Estão apresentados na Tabela 14, os valores de produção diária de biogás de biodigestores operados com cama de frango, de tratamentos NPE e PEN, durante os primeiros 49 dias.

Tabela 14. Valores médios da produção semanal de biogás, corrigido para 20℃ e 1 atm, em biodigestores alimentados com cama de frango de diferentes reutilizações de cama.

Semanas	**Produção de Biogás (m^3/dia)**			
	NPE	*PEN*	*P Value*	*CV (%)*
1º	0,0478	0,0446	ns	19,232
2º	0,0669	0,0442	ns	25,667
3º	0,0931[a]	0,0414[b]	0,0231	26,293
4º	0,0715[a]	0,0349[b]	0,0023	12,106
5º	0,0444	0,0376	ns	31,469
6º	0,0432[b]	0,0754[a]	0,0402	22,236
7º	0,0768	0,0922	ns	15,241

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Durante os 49 dias de biodigestão anaeróbia, não houve diferença (P>0,05) durante a 1º, 2º 5º e 7º semana de produção de biogás. No entanto ocorreram diferenças (P<0,05) na 3º, 4º semana, com maiores valores o tratamento NPE, 0,931 e 0,0715 m^3/dia, respectivamente. No entanto, durante a 6º semana, houve um maior (P<0,05) valor (0,0754 m^3/dia) para o tratamento PEN.

As médias diárias de produção de biogás são parâmetros importantes para se avaliar a freqüência média da produção, para que possa mensurar a quantidade de energia que estará disponível ao longo do tempo.

Para avaliação do volume de biogás (m^3/semana) dos tratamentos, estão apresentados na Figura 4, a produção média de volume e a linha de tendência que mais se ajusta a este tipo de dado.

Em função do entupimento do dos biodigestores do tratamento NPE, não se apresenta um gráfico completo para uma comparação do volume de biogás produzido. No entanto, observa-se que o pico de volume de biogás do tratamento NPE e PEN, ocorre na 3º e 16º semana, com valores médios 0,0925 e 0,1783 m^3 biogás/semana.

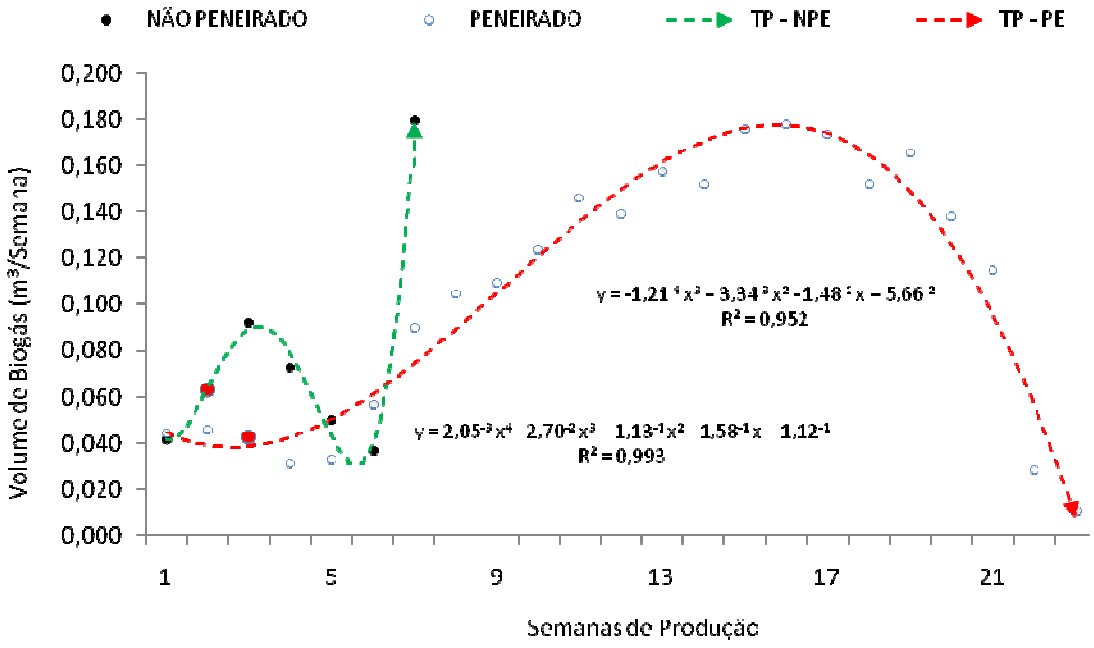


Figura 4. Valores médios do volume de biogás (m^3/semana) início da queima e tendência polinomial das camas de frango reutilizadas, durante sete semanas para o tratamento NPE e 23 semanas para o tratamento PEN.

Por meio da visualização do comportamento das curvas de volume de biogás dos tratamentos é possível planejar um sistema que atenda determinada demanda de energia. Esse conhecimento pode auxiliar na elaboração de programas que utilizem a biomassa na geração de bioenergia durante a criação de frangos de corte.

Estão apresentados na Tabela 15, os dados a partir da 6º semana de operação dos biodigestores, apresentando a porcentagem de CH_4, CO_2 e impurezas (%) presentes no biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte.

Tabela 15. Porcentagem de CO_2 e de CH_4 e impurezas (%) a partir da sexta semana para diferentes reutilizações de cama de frango.

Semana	Produção de Biogás (%)					
	NPE			PEN		
	CH_4	CO_2	Impurezas	CH_4	CO_2	Impurezas
6º	59,76	24,83	15,41	64,26	34,03	1,71
7º	69,09	26,65	4,26	63,85	34,44	1,71
8º	-	-	-	63,02	35,15	1,83
9º	-	-	-	65,50	34,07	0,43
10º	-	-	-	67,06	30,68	2,25
11º	-	-	-	67,85	31,72	0,42
12º	-	-	-	73,72	24,94	1,34
13º	-	-	-	73,11	26,14	0,75
14º	-	-	-	66,85	32,40	0,75
15º	-	-	-	71,25	28,10	0,65
16º	-	-	-	71,02	28,52	0,47
17º	-	-	-	72,29	27,15	0,56
18º	-	-	-	80,21	19,05	0,74
Média	64,43	25,74	9,84	69,23	29,72	1,05

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os picos máximos de volume do tratamento PEN, observados na Figura 4, não coincidem com picos de porcentagem de CH_4 e CO_2. Pode-se observar que o maior

percentual de CH_4 (80,2 %), ocorreu na 18º semana, duas semanas após o pico de vazão, e por conseqüência, esta foi a menor média percentual de produção de CO_2 (19,0 %).

Observa-se na Tabela 15 que o percentual médio de impurezas produzidos na biodigestão de ambos os tratamentos. Essa diferença na 6º e 7º semana ocorreu porque o tratamento NPE já estava no fim da sua produção de biogás (fase de falência), por isso apresentou os valores 15,41 e 4,26 % de impurezas, respectivamente, já o tratamento PEN, apresentou nessa mesma época, 1,71 e 1,71 % de impurezas, visto que este tratamento recebeu carga diária durante todo o período experimental, tal qual não aconteceu com o tratamento NPE.

Estão apresentados na Tabela 16, os percentuais médios de produção de biogás acumulado antes e após o inicio da queima de do biogás.

Observa-se que até o início da queima a produção de biogás acumulada foi maior (P<0,05) no tratamento PEN (41,43 %) e menor no tratamento NPE (29,01 %), ou seja, ocorreram picos maiores de CO_2 no tratamento PEN.

Tabela 16. Média da produção de biogás acumulada (%) antes e após o início da queima.

Tratamento	*** Produção de biogás acumulada (%)**	
	Queima	
	Antes	**Após**
NPE	29,01[b]	70,99[a]
PEN	41,43[a]	58,57[b]
P Value	0,0026	0,0026
CV (%)	6,475	3,521

Em cada linha médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).
* Dados referentes a 49 dias de produção de biogás.

Agora se avaliar a mesma produção após a queima (até os 49 dias), nota-se maiores (P<0,05) percentuais de produção de biogás para o tratamento NPE (70,99 %) em relação ao tratamento PEN (58,57 %). Estes resultados se devem ao fato de que os biodigestores com tratamento PEN receberam cargas diárias durante todo o período de operação, já o tratamento NPE, recebeu cargas até o seu entupimento, o que ocorreu

por volta dos 16 dias de operação, tal qual influenciou na atividade microbiana, e por conseqüência na produção de biogás.

4.4 Conclusões

A diluição e separação da cama de frangos de corte causam maiores concentrações de macro e micronutrientes ao final da biodigestão anaeróbia. A não diluição e separação de sólidos acarretam entupimento da caixa de entrada de biodigestores contínuos. A linha de tendência polinomial do tratamento com diluição e separação de sólidos permite a leitura do comportamento das curvas de volume de biogás (m^3), possibilitando o planejamento de um sistema que atenda determinada demanda de energia.

CAPÍTULO 5 - COMPOSTAGEM DO MATERIAL RETIDO EM PENEIRA APÓS A SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS DA CAMA DE FRANGO DE CORTE

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de compostagem da cama de frango, após diluição e separação de sólidos. O ensaio foi conduzido em um período de 90 dias, utilizando-se a cama de frango de corte da 4º reutilização (Capítulo 3), retida em malha de 3 mm após diluição de 4:1 (água/cama). Foram utilizados para montagem da leira 348,94 kg de cama de frango (matéria natural). Após o enleiramento dos materiais, monitorou-se semanalmente a temperatura das leiras e do ambiente. As leirais foram revolvidas a cada sete dias manualmente e pesadas a cada 15 dias. Quando necessário, foi ajustada a umidade da leira, adicionando água até que esta atingisse 60% de umidade. A temperatura teve seu pico (68 ℃) na segunda semana de compostagem influenciando na redução final da leira que foi de 75% de peso na matéria seca. A cama retida na peneira se mostrou favorável ao processo de compostagem, apresentando uma relação C:N de 11:1, o que influenciou na redução de 25 % dos sólidos totais do enleiramento.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, casca de amendoim, dejetos, energia, relação C:N

CHAPTER 5 - COMPOSTING MATERIAL RETAINED IN THE SIEVE AFTER THE SEPARATION OF SOLIDS AND LIQUIDS FROM THE LITTER OF BROILERS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the process of composting of litter of broilers, after dilution and separation of solids. The test was conducted in a period of 90 days, using the litter of broilers from four reuses (Chapter 3), retained in mesh of 3 mm after dilution of 4:1 (water / bed). Were used for assembling the pile 348.94 kilograms of litter of broiler / Natural Material. After piling of materials, is monitored weekly the temperature of the piles and of the environment. The piles were revolving every seven days and weighed manually every 15 days. When necessary, moisture was adjusted to the litter, adding water until it reaches 60% humidity. The temperature had its peak (68 ℃) in the second week of composting influence in the final reduction of litter that was 75% weight in Dry Material. The bed retained on the sieve was favorable to the process of composting, giving a relation C:N of 11:1, which influenced the reduction of 25% of the Total Solids of piling.

Keywords: energy, manure, peanut shells, recovery of waste, relation C: N

5.1. Introdução

A compostagem é definida, atualmente, como um processo biotecnológico, desenvolvido em meio aeróbio controlado, realizado por uma colônia mista de microrganismos tendo como objetivo, segundo Tsutya (2000), a conversão biológica de matéria orgânica putrescível para uma forma estabilizada, destruição de patógenos, redução da umidade e produção de um produto que possa ser utilizado na agricultura.

Todo resíduo orgânico, quer seja de origem animal ou vegetal, tende a se decompor se deixado amontoado à superfície ou no solo (NAKAGAWA, 1992) e há relatos da utilização do processo de compostagem desde a antigüidade na China (Stentiford et al. 1983 citado por ALVES, 1996). Entretanto, somente a partir de 1920 passou a ser estudada cientificamente (CARVALHO, 2001).

Como a compostagem é um processo conduzido por microrganismos, estes necessitam de água em suas atividades e mesmo em sua estrutura, além disso, todo nutriente necessário ao metabolismo celular precisa ser dissolvido em água antes de sua assimilação. A umidade ideal deve estar entre 50 e 55% (KIEHL, 2002).

A compostagem é uma técnica idealizada a fim de acelerar a estabilização aeróbia e a humificação da porção fermentável dos resíduos vegetais ou animais através da ação de microrganismos específicos obtendo-se como produto final o composto orgânico (KIEHL, 2002), que pode ser aplicado no solo com várias vantagens sobre os fertilizantes químicos de síntese, exercendo influências tanto nas propriedades físicas quanto nas propriedades químicas do solo.

O objetivo desse estudo, é avaliar o processo de compostagem da cama de frango pós diluição e separação de sólidos.

5.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e

Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está instalado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

A leira foi montada no pátio de compostagem que está construído no Departamento de Engenharia Rural e possui piso de concreto, cobertura com lona plástica, pé direito de 2,0 m e declividade de 2 %. O processo de compostagem teve duração de 90 dias.

5.2.1. Materiais utilizados na compostagem, montagem e monitoramento da leira (temperatura e peso)

O ensaio foi conduzido utilizando-se a cama de frango de corte de 4º reutilização (Capítulo 3), retida em malha de 3 mm após diluição de 4:1 (água/cama), como apresentado nos Apêndices 2, 3 e 4. O fluxograma com o sistema de peneiramento está apresentado no Apêndice 6.

Foram utilizados 348,94 kg de cama de frango/MN para montagem de uma leira. A cama utilizada estava com as seguintes características químicas: umidade (59,40 %), sólidos totais (40,36 %), nitrogênio (3,79 %) e carbono (44,29 %).

Após o enleiramento dos materiais, monitorou-se semanalmente a temperatura das leiras e do ambiente no pátio de compostagem com termômetro digital. A leira foi revolvida a cada sete dias manualmente e pesada em balança digital a cada 15 dias. Quando necessário, foi ajustada à umidade da leira, adicionando água até que esta atingisse 60% de umidade.

Para obter um material mais homogêneo, ao fim do processo de compostagem, o material foi separado em peneira com malha de 10 mm (Apêndice 9).

5.2.2. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, da leira, foram acondicionadas em latinhas de alumínio previamente tarados, pesados

para se obter o peso úmido (Pu) do material e em seguida, levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65ºC até atingirem peso constante e em seguida, resfriadas em dessecador e pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$ST = 100 - U \qquad e \qquad U = (PU - PS) / PU \times 100$$

No qual:

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso seco da amostra, em g.

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA® A11 basic, para determinação de todas as análises experimentais realizadas.

Para a determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram pesados em cadinhos de porcelana e levados à mufla a temperatura de 575ºC durante um período de 2 horas, após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas. O teor de sólidos voláteis foi determinado a partir de metodologia descrita pela APHA (2000).

Onde:

$$SV = ST - \text{cinzas} \qquad e \qquad \text{cinzas} = \{ 1 - [(PU - Pm) / PU] \} \times 100$$

No qual :

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

Pm= peso obtido após queima em mufla, em g.

Os sólidos voláteis foram expressos, portanto, em porcentagem da matéria seca.

5.2.3. Digestão e quantificação de minerais

As amostras coletadas foram digeridas, utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico ($HClO_4$) levados ao bloco digestor, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizado ácido sulfúrico (H_2SO_4) e mistura digestora composta por sulfato de sódio (Na_2SO_4), sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$) e selenito de sódio (Na_2SeO_3). O nitrogênio foi determinado por meio da utilização do destilador micro-Kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal $(NH_4)_2SO_4$ em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(NH_4)_2SO_4$, na presença do indicador ácido/base, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N, onde a cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando-se assim a concentração de fósforo das amostras, por meio da utilização de uma reta padrão traçada previamente a partir de concentrações conhecidas, entre 0 e 32 µg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados através da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

5.2.4. Teor de carbono orgânico

O princípio do método para a determinação de C fundamenta-se no fato da matéria orgânica oxidável ser atacada pela mistura sulfo-crômica, utilizando-se o próprio calor formado pela reação Dicromato de potássio com o ácido sulfúrico como fonte calorífica; o excesso de agente oxidante, que resta desse ataque, é determinado por titulação com sulfato ferroso ou sulfato ferroso amoniacal. O método oferece a vantagem de não oxidar a fração de matéria orgânica não decomponível durante o período de compostagem, baseado em KIEHL (1985).

Foram coletadas amostras quinzenais para calcular a matéria orgânica compostável (MOC %), multiplicando-se o teor de carbono orgânico encontrado pelo fator 1,8 e a matéria orgânica resistente à compostagem (MORC %), subtraindo a matéria orgânica total pela matéria orgânica compostável (Lossin, 1971 citado por KIEHL, 1985).

5.2.5. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Temperatura da Leira

Os resultados que se referem ao acompanhamento da temperatura durante o período de compostagem estão representados na Figura 1. Este parâmetro é considerado como um fator determinante na eficiência do processo sobre a redução das

características poluentes do resíduo e por isto é utilizado como indicador da performance do processo de compostagem.

Independente do material que será utilizado como substrato para o processo de compostagem a US EPA (citado por LAU et al., 1992) recomenda que a temperatura no interior da leira atinja, no mínimo, 55 ºC e mantenha-se nesta faixa por pelo menos 3 dias consecutivos para que o número de patógenos atinja níveis aceitáveis, permitindo a aplicação no solo. Por esta razão a temperatura deve ser acompanhada durante todo o processo de compostagem.

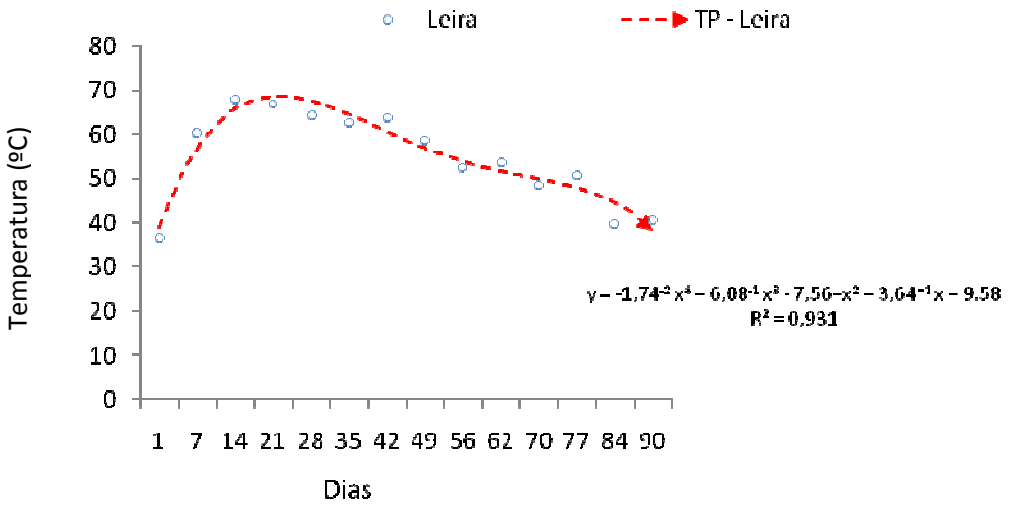


Figura 1. Temperatura (ºC) e tendência polinomial da leira de compostagem durante os 90 dias de avaliação.

A compostagem da fração sólida da cama de frango permaneceu com temperaturas superiores a 36 ºC durante o período de enleiramento. E da 2º até a 7º semana, obteve média de 63 ºC, sendo que o pico da temperatura foi de 68 ºC na 2º semana. Esse aumento elevado da temperatura nas primeiras semanas de compostagem se dá devido ao desenvolvimento de reações bioquímicas mais intensas, conseqüência da atividade microbiológica de degradação da matéria orgânica. Com a exaustão da fonte de carbono mais disponível, a temperatura diminuiu a 40 ℃, caracterizando o fim da fase termofílica (VITORINO e PEREIRA NETO, 1994).

5.3.2. Pesagens e sólidos totais da leira

Na Tabela 1 estão representados os pesos medidos a cada 30 dias de processo e na Figura 2 a curva da redução do peso e a tendência linear da leira com base na matéria natural.

Tabela 1. Quantidades (kg) na matéria natural (MN), na matéria seca (MS) e porcentagem (%) de sólidos totais (ST) e as reduções de ST da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água).

Período (d)	MN	MS	ST	Redução ST
	(kg)			(%)
Inicio	348,94	140,83	40,36	-
30	243,5	120,17	49,35	14,67
60	175,4	109,88	62,65	8,56
90	142,51	105,81	74,25	3,70
Redução Total	206,43	35,02	-	24,87

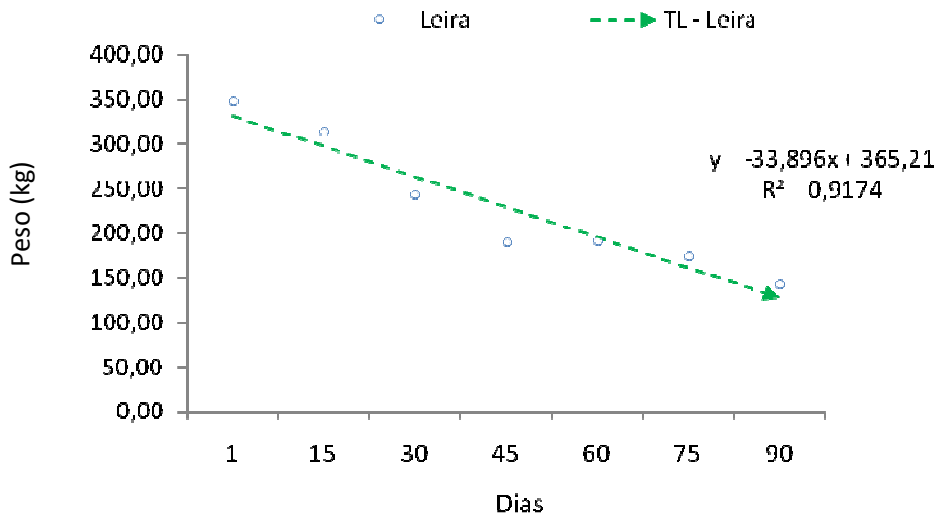


Figura 2. Peso (kg) na matéria natural e tendência linear da leira de compostagem durante os 90 dias de avaliação.

Observa-se, na Tabela 1 que as reduções da leira são mais representativas no início do processo, quando a atividade microbiológica é mais intensa. A redução de

peso (MS) da leira de compostagem foi expressiva, sendo que o resultado encontrado foi de 35 kg MS ou seja, 25 % de redução de peso na MS. Este resultado difere dos achados de Augusto (2007), que trabalhou com compostagem de dejetos de aves de postura em sistemas automatizados com adição de fontes de carbono (T1), sem adição de fontes de carbono (T2) e dejetos de sistemas convencionais (T3), após compostagem encontrou reduções de peso de 72,3 %, 77,9 %, e 44,7 %. No entanto esta diferença se pelo tipo de substrato utilizado para compostagem.

Segundo Grossi (1993), a composição heterogênea de materiais expostos a compostagem apresenta diferenças quanto à suscetibilidade e à degradação, sendo que componentes como açúcares e proteínas são rapidamente degradados, enquanto celulose e lignina necessitam de períodos mais longos para que os microrganismos consigam degradá-los.

Verifica-se que as maiores reduções de ST ocorreram no primeiro mês do processo, sendo que até ao fim do processo de compostagem (aos 90 dias) a eficiência na degradação levou a uma redução de 25 % ST do material. Em contrapartida, Flynn e Wood (1996), avaliando o processo de compostagem de diversos materiais orgânicos, observaram uma redução de 77% em leiras montadas com palha de trigo e cama de frango de cepilho de madeira.

5.3.3. Teores de carbono orgânico (C) e nitrogênio (N).

Estão apresentados na Tabela 2, os teores de carbono orgânico, nitrogênio e a relação existente entre esses dois elementos.

Tabela 2. Teores de carbono orgânico (C %), nitrogênio (N %) e a relação C/N da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água).

Período	C	N	Relação C/N
	(%)		
Inicio	44,29	3,79	12:1
30	27,35	2,58	11:1
60	26,27	2,36	11:1
90	25,45	2,35	11:1
Redução Total	42,54	37,95	

As reduções de N foram maiores nos primeiros 30 dias de enleiramento (32 % N) isto ocorre porque atividade microbiana aeróbia encontra um ambiente mais propício para sua proliferação. Outro fato em relação à perda de N é devido à baixa relação C/N dos materiais utilizados, altas temperaturas e umidade média de 55%, que facilitam a volatilização na forma de amônia. Prochnow et al. (1995) estudando a perda de N por amônia durante a compostagem de esterco, observaram que tal perda ocorre intensivamente nos primeiros 35 dias de compostagem numa porção de 51 % do N total inicial. A redução total do N encontrada na cama de frango foi de 38 % ao passo que Mondini et al. (1996) compostaram cama de frango de serragem de madeira e observaram uma diminuição de N de 56 % em relação a inicial.

A relação C:N do composto (final) apresentou-se na faixa ideal de compostagem segundo Lopez-Real (1990) citado por GORGATI (2001), que foi de 10:1. No entanto Gorgati (2001) encontrou no composto obtido de lixo urbano relação C:N de 6,6 em leiras cobertas. Estas diferenças provavelmente possam ser atribuídas a qualidade dos substratos, e conseqüentemente à facilidade de degradação, visto que a relação tida como ideal foi estabelecida com base na hierarquia básica de decomposição, preconizada por Kiehl (1985), juntamente com diversos resultados encontrados em experimentos de compostagem, conduzidos, na maioria das vezes, com substratos contendo fontes vegetais (palhadas e/ou restos de culturas).

5.3.4. Teores da MO, MOC e MORC da leira

Estão apresentados na Tabela 3, os teores (%) da matéria orgânica, matéria orgânica compostável e a matéria orgânica resistente a compostagem da leira de compostagem de cama de frango retida em peneira após diluição 4:1 (cama/água).

Tabela 3. Teores da matéria orgânica (MO %), matéria orgânica compostável (MOC %) e matéria orgânica resistente a compostagem (MORC %) da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água).

Período	MO	MOC	MORC
		%	
Inicio	80,25	57,34	22,91
30	77,65	49,23	28,42
60	72,07	45,82	26,25
90	70,88	37,02	33,85
Variação (%)	11,68	35,43	-47,77

A MO e a MOC apresentaram valores menores (80,25 a 70,88 % e 57,34 a 37,02 %) ao longo do tempo, apresentando uma redução no final do ensaio de 11,68 e 35,43 % em relação ao inicio da compostagem, respectivamente. Este fato se deve a utilização de matéria orgânica pelos microrganismos para sua proliferação.

Já a MORC final (33,85 %) aumentou os seus valores em relação aos seus valores iniciais (22,19 %), apresentando um incremento de 47,77 % no final do enleiramento. Com a utilização da MO pelos microrganismos e com as reduções de ST dentro da leira, ao fim do processo de compostagem, a MORC (%) tende a aumentar os seus valores.

5.3.5. Teores de macro e micronutrientes da leira

Estão apresentados na Tabela 4, os teores (%) de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) da leira de compostagem de cama de frango retida em peneira após diluição 4:1 (cama/água).

Tabela 4. Teores de (%) de macronutrientes da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água).

Período	P	K	Ca	Mg	Na
			(g/100g)		
Inicial	1,19	3,92	5,66	0,09	0,73
Final	2,28	6,54	9,02	0,14	1,21
Concentração (%)	91,60	66,79	59,41	55,56	65,75

As quantidades (g/100g) de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e Na) aumentaram ao final do processo de compostagem. Este aumento não se deve a um incremento de minerais, sendo explicado pelo aumento de concentração, já que as quantidades de sólidos totais diminuíram ao final do ensaio experimental. Observa-se que independente do nutriente avaliado, houve correspondência entre as reduções de massa seca obtidas com a compostagem e a concentração de nutrientes. Esta ocorrência revela os cuidados adotados durante a compostagem, como evitar que a leira tomasse chuvas ou ficasse excessivamente úmida e assim favorecesse a formação de chorume com conseqüente escoamento superficial e/ou lixiviação de nutrientes. Santos (2000) encontrou resultados semelhantes de concentração de P, em que ao final do processo de compostagem de camas de frango de pinus (serragem), de casca de arroz e de amendoim, respectivamente, tinham 1,87%, 2,81% e 3,23% de P. Os teores de Ca encontrados pela mesma autora foram de 3,77, 7,17 e 10,2% nas mesmas camas, como descrito anteriormente.

Estão apresentados na Tabela 5, os teores (%) de zinco (Zn), Cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) da leira de compostagem de cama de frango retida em peneira após diluição 4:1 (cama/água).

Tabela 5. Teores de (%) de micronutrientes da leira de compostagem da cama de frango retida em peneira após diluição de 4:1 (cama/água).

Período	Zn	Cu	Mn	Fe
		(mg/kg)		
Inicial	1319	898	468	2785
Final	1864	1236	754	3831
Concentração (%)	41,32	37,64	61,11	37,56

Os micronutrientes apresentaram resultados semelhantes aos macronutrientes, em relação ao aumento da concentração dos mesmos, explicado pela diminuição de sólidos totais da leira de compostagem de cama de frango.

5.4 Conclusões

A cama de frango retida na peneira se mostrou favorável ao processo de compostagem, apresentando uma excelente relação C:N, proporcionando um material orgânico adequado para incorporação no solo.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS

O Capítulo 2 apresentou viabilidade nas diluições 4:1 e 6:1, visto que estas garantem uma proporção adequada entre o percentual de sólidos totais (3,01 %) e uma economia de água para a diluição. Com diluições maiores ocorreria uma alta utilização de água para diluição.

Um dos maiores entraves enfrentados para utilização da cama de frango para produção de biogás em condições de campo é provavelmente, a dificuldade operacional, tanto antes como depois da cama ter sido submetida à fermentação para a produção de energia. A diluição da cama em água e o trabalho de fazer a mistura para formar uma pasta homogênea antes do abastecimento dos biodigestores, representam uma grande dificuldade para o agricultor. Após o término da fermentação, a dificuldade de manejar um esterco diluído em água aumenta em relação a um esterco com menor teor de umidade.

No entanto, estes inconvenientes da produção de biogás podem ser solucionados, pois já existem equipamentos adequados para trituração e mistura de resíduos sólidos em água aumentando a homogeneidade dos substratos, sendo estes equipamentos acionados por motores elétricos ou mesmo diretamente na tomada de potência de tratores. Exemplos destes equipamentos são os trituradores automatizados, as prensas parafuso ou os decantadores celulares, os quais trabalham de forma contínua desaguando sólidos numa caixa ou caçamba de carga, com um parafuso helicoidal transportando e compactando os sólidos enquanto o líquido extraído pelo efeito da prensa escoa para uma caixa de abastecimento e daí para lagoas ou biodigestores. Os sólidos prensados são descarregados pelo extremo superior da prensa enquanto que o líquido extraído é coletado numa bandeja. Podendo este sistema estar acoplado a peneiras estáticas com vazão de até 620 m^3/h.

O Capítulo 3 pode esclarecer quanto a utilização de sistemas de biodigestão anaeróbia em batelada para diluição e separação da cama de frangos de corte. Verifica-se que os minerais aumentam suas concentrações de macro e micronutrientes ao final da biodigestão anaeróbia quando diluídos em água e separados por peneira com malha

de 3 mm. A não diluição e separação de sólidos proporcionam maiores produções de biogás (m^3) na cama dos dois primeiro lotes de criação. Ao passo que na cama de 3 e 4º lotes, não existe diferença no volume de biogás (m^3) produzido quando diluímos e separamos a cama de frango, por isso a diluição possibilita a redução de sólidos pré biodigestão anaeróbia, reduzindo os impactos ambientais.

Fukayama (2008) descreve que 4000 aves geram cerca de 5.390 kg de cama de frango corte no 3º lote de reutilização, oriunda de casca de amendoim. Este montante equivale (para o tratamento com separação de sólidos – PEN com 80 % de CH_4) a 7 botijões de 13 kg de gás liquefeito pressurizado – GLP, o que corresponde a 86,4 m^3 de CH_4. Já para o tratamento sem separação de sólidos – NPE com 85 % de CH_4 equivale a 73 botijões de 13 kg de GLP, o que corresponde a 948 m^3 de CH_4 em sistema batelada. Esses valores diferem ao fato que para produzir o biogás no tratamento PEN, foram utilizados 20 kg de cama e 2 kg para o NPE.

Em função desses resultados, sugere-se a utilização de biodigestores do tipo batelada, onde a cama é adicionada uma única vez e o biodigestor é esvaziado após o término da fermentação. O período de 15 dias entre a retirada dos frangos do aviário e o novo loteamento coincide com o período necessário para um biodigestor atingir o pico de produção de biogás. Visto que, as primeiras semanas de criação são o período em que o avicultor utiliza grandes quantidades de energia para o aquecimento dos pintos e, com a utilização do biogás, poderia reduzir sensivelmente os gastos com este insumo e possibilitando talvez, a viabilização de um novo capital para o seu empreendimento.

No Capítulo 4, a diluição e separação da cama de frangos de corte proporcionaram maiores concentrações de macro e micronutrientes ao final da biodigestão anaeróbia. A não diluição e separação de sólidos podem acarretar em entupimento da caixa de entrada de biodigestores contínuos, o que impossibilita a produção de biogás. Uma solução seria adequar um diâmetro e/ou angulações diferenciadas de tubulações para permitir o fluxo hidráulico do biodigestor contínuo.

A linha de tendência polinomial do tratamento com diluição e separação de sólidos permite a leitura do comportamento das curvas de volume de biogás (m^3),

possibilitando o planejamento de um sistema que atenda determinada demanda de energia.

Segundo dados de Fukayama (2008), as médias de produção de cama de frango (oriunda de casca de amendoim) de 1º a 4º lotes é de 3.310 kg de cama para cada 2500 aves. Se considerarmos a produção de biogás do tratamento com diluição e separação de sólidos – PEN com 70 % de CH_4 (0,376 m^3 de biogás por kg de cama), vamos obter o equivalente a 67 botijões de 13 kg de GLP, o que corresponde a 872 m^3 de CH_4, ou seja 0,436 m^3 de CH_4 por ave em biodigestor contínuo.

A aplicabilidade da utilização de biogás foi estuda por Kosaric e Velikonja (1995). Eles inferem que 1 m^3 de biogás pode ser aplicado para iluminação por lâmpada de 60 W por cerca de sete horas, ou gerar 1,25 kWh de eletricidade, ou cocção de 12 refeições, ou funcionar um motor de 2 HP por uma hora ou funcionar um refrigerador de 300 L por três horas. Se considerarmos a produção de biogás do tratamento com diluição e separação de sólidos – PEN (1,245 m^3 de biogás por ave que equivale a 1,556 kWh/ave), vamos obter energia para gerar iluminação por lâmpada de 60 W por cerca de 11 horas/ave ou cocção de 19 refeições/ave ou funcionar um motor de 2 HP por três horas ou funcionar um refrigerador de 300 L por cinco horas/ave.

Em um estudo comparativo entre a produção de frangos de corte nos períodos de inverno e verão, denota-se a utilização de 0,12 e 0,20 kWh para criação de uma ave, respectivamente (FERREIRA e TURCO, 2003). Se a cama de um frango de corte gera 1,556 kWh a partir da biodigestão anaeróbia, obtemos um incremento de 92 e 87 % de energia nos períodos de inverno e verão, respectivamente ou seja, a cama de um frango de corte produz energia térmica suficiente para criação de 8 a 13 aves.

Silva et al. (2005) estudaram o desempenho de um aquecedor de água do tipo acumulação a biogás, este demonstrou ser de fácil adaptação e operação para o uso de biogás apresentando eficiência térmica média de 68%. O consumo de biogás pode ser considerado baixo, pois, para ganho térmico de 36,7 ºC (temperatura final da água igual a 62,7 ºC) foi necessário apenas 0,796 m^3 de biogás, aquecendo 75 L de água em 72 minutos.

Em um exemplo mais prático, toma-se como padrão um banho de 10 minutos com chuveiro a gás GLP, este consome segundo o relatório anual de tabelas de consumo e eficiência energética do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2008) cerca de 70 litros de água. Se considerarmos uma família de quatro pessoas que tomam um banho por dia teremos o consumo de 8.400 litros de água/mês. Utilizando o biogás da cama de frango diluída e peneirada operados em biodigestores contínuo, para aquecer a água do seu chuveiro, necessitará por mês, segundo Fukayama (2009) de 237 kg de cama de frango de corte (1,49 kg de cama de frango por ave) que equivale a 89 m^3 de biogás, totalizando a cama de frango de 159 aves.

Em outro exemplo, Santos et al. (2007), em estudo avaliando o desempenho de um aquecedor (recomendado para 500 aves) adaptado para utilizar biogás como combustível, encontrou o consumo de 0,223 m^3 h^{-1} de biogás em campânula com abertura de injetor de 1,979 mm^2 e 12 cm.c.a. de pressão de biogás. Segundo trabalho de Funck e Fonseca (2008), uma ave utiliza em média (dependendo da região) 0,032 m^3 de GLP para atender as sua necessidades termorreguladoras, via aquecimento de campânulas. Ou seja, uma campânula a biogás necessita de 19,15 kg de cama de frango, já que segundo Fukayama (2008) uma ave de reúne no fim de 42 dias o equivalente a 1,49 kg de cama de frango. Assim, para operar uma campânula para criação de 500 aves, são necessários 16 m^3 de biogás, (considerando os resultados do tratamento PEN em sistema contínuo (1,245 m^3 de biogás por ave).

Para uma implicação prática, tomamos uma granja de pequeno porte com um galpão de 20.000 aves, na sua 3º reutilização de cama de frango de corte, se obtêm uma produção de 24.900 m^3 de biogás se considerar a diluição e separação de sólidos – PEN (1,245 m^3 de biogás por ave que equivale a 1,556 kWh/ave) que equivale a 31 MWh. Se considerarmos o valor de mercado desta “commodity de recursos energéticos (CRE)” (R$ 129,72), a venda da produção em forma de energia elétrica ofereceria R$ 4.048, que equivale a R$ 1,98/kg de frango de corte. Segundo dados de quantidade de cama de frango/ave (1,49 kg de cama de frango por ave) de Fukayama (2008) seriam

gerados na produção de 20.000 aves, 29.800 kg de cama, o equivalente a R$ 135,84/ton. de cama de frango.

As negociações desta CRE, ainda são precoces, por isso a tendência de mercado pode surpreender, visto que o produtor está entusiasmado com as diminuições de custos com a produção de biogás, sendo este tipo de compensação o adicional que faltava para a manutenção da viabilidade econômica da implantação de biodigestores na produção avícola. Os próximos passos serão talvez a ratificação de projetos relacionados a Mecanismos de Desenvolvimento Limpo com o uso de cama de frangos como fonte de energia renovável para que com isso possa requerer a Redução Certificada de Emissão no âmbito do Protocolo de Kyoto.

No Capítulo 5, verifica-se que a cama de frango retida na peneira se apresenta favorável ao processo de compostagem, mostrando uma excelente relação C:N, proporcionando um material orgânico adequado para incorporação no solo.

Esses resultados lançam um grande desafio: o desenvolvimento de sistemas de produção agropecuários, socialmente desejáveis, técnica e economicamente possíveis e ambientalmente seguros. A superação desse desafio implica em alguns investimentos em ativos ambientais para alcançar a sustentabilidade de todos os elos da cadeia produtiva. Ainda há muito que ser feito, mas o desenvolvimento do conhecimento sobre a digestão anaeróbia tem sido um dos mais promissores no campo da biotecnologia, uma vez que é fundamental para promover, com grande eficiência, a degradação dos resíduos orgânicos que são gerados em grandes quantidades nas modernas atividades rurais e industriais. À medida que os sistemas de produção animal se intensificam e se modernizam também se oprimem as necessidades energéticas e de tratamento dos resíduos.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF – Associação Brasileira de Exportadores e Produtores de Frango de Corte. Disponível em: <http://www.abef.com.br> Acesso em: 12 jan. 2009.

AIRES, M. A.; LUCAS JR, J.; XAVIER, C. A. N.; MIRANDA, A. P.; FUKAYAMA, E. H. Dilution and separation of solids and liquids of broiler litter for supply of digester. CIGR - International Conference of Agricultural Engineering XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu-PR Brazil, **Anais…**, August 31 to September 4, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – referências – elaboração. 28p. 2002.

ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano.** [Jaboticabal]: FUNEP, 1996. 46 p.

AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, jan./abr. 2004.

_____.;_____.;_____.; Efeito da estação do ano sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2004.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA. São Paulo: Agra FNP, Instituto FNP, 2008. p. 243-270.

APHA. AWWA. WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: American Public Health Association 2000.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

AVILA, V. S.; ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P.; BRUM, P. A. R.; OLIVEIRA, U. Valor Agronômico da Cama de Frangos após Reutilização por Vários Lotes Consecutivos Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2007. 4p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 466).

BATAGLIA, O. G. et al. Métodos de análises químicas de plantas. **Campinas: Instituto Agronômico**, 1983. 48 p. (Boletim Técnico)

BRAKE, J. D. et al. Evaluations of whole chopped kenaf and kenaf core used as a broiler litter material. **Poultry Science**, Savoy, v. 72, n. 11, p. 2079-2083, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 15, de 17 de Julho de 2001. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>. Acesso em: 12 jan 2009.

BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. **Water Research**, v. 32, n. 5, p. 1423-1428, 1998.

BURTON, C. H. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, **Livestock Science**, v. 112, n. 3, p. 208–216, 2007.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás.** 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CAMARERO, L.; DIAZ, J. M.; ROMERO, F. Final treatments for anaerobically digested piggery slurry effluents. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 11, n. 6, p. 483-489, jul. 1996.

CARVALHO, P. C. T. Compostagem. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-208.

CEZAR, V. R. S. **Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agronômica de diferentes fontes de fósforo.** 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CHEN, T. H.; SHYU, W. H. Chemical characterization of anaerobic digestion treatment of poultry mortalities. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 37-48, 1998.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DAMIANOVIC, M. H. R. Z. **Estudo do efeito de nutrientes no desempenho de reatores de manta de lodo em escala de bancada alimentados com efluente de processamento de milho.** 1992. 127 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FERREIRA, L. F. S. A.; TURCO, J.E.P. **Avaliação do consumo e custo de energia elétrica em galpão para criação de frangos de corte, em dois ciclos de criação.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas, 2003.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Programas e Resumos... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235

FLYNN R. P.; WOOD, C. W. Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. **Compost Science Util**, v. 4, n. 3, p. 62-70, 1996.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - v. 12, n. 1, p. 91–97, 2008.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante.** 2008. 99 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GARBA, B. Effect of temperature and retention period on biogás production from lignocellulosic material. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, sep/dec. 1996.

GERARDI, M. H. **The microbiology of anaerobic digesters**. John Wiley and Sons, New York, 2003. 130 p.

GORGATI, C. Q. **Resíduos Sólidos Urbanos em Área de Proteção aos Mananciais – Município de São Lourenço da Serra – SP: Compostagem e Impacto Ambiental.**

2001. 74 f. Tese. (Doutorado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

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

GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas.** 1993. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1993.

HAMMAD, M.; BADARNEH, D.; TAHBOUB, K. Evaluating variable organic waste to produce methane. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1463-1475, sep. 1999.

HESSAMI, M. A.; CHRISTENSEN, S.; GANI, R. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 954-957, sep/dec. 1996.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Linha de aquecedores de água a gás. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua.pdf> Acesso em: 03 fev. 2008.

ITODO, I. N.; AWULU, J. O. Effects of total solids concentrations of poultry, cattle and piggery waste slurries on biogas yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 6, p. 1853-1855, dec. 1999.

JONES JUNIOR, H. B., OGDEN, E. A. Biomass energy potential from livestock and poultry wastes in the southern United States. **Biomass,** v. 6, p. 25 -35, 1984.

JORDAAN, J. D. The influence of bedding material and collecting period on the feeding Value of broiler and layer litter. Dissertation (Magister Scientiae Agriculturae) - Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of the Free State. Bloemfontein, South Africa, 2004, 77 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

_____. **Manual de compostagem maturação e qualidade do composto**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 171p.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003b. 10p. (Circular Tecnica, 31).

KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. **FEMS Microbiology Reviews,** Amsterdan, v. 16, n. 2, p. 111-142, feb. 1995.

LASTELLA, G. et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, jan. 2002.

LAU, A. K. et al. Aeration experiments for swine waste composting. **Bioresource Technology,** Oxford, v. 41, n. 2, p. 145-152. 1992.

LEAL, N.; MADRID de CAÑIZALES, C.M. Compostaje de residuos orgânicos mezclados com roca fosforica. **Agronomía Tropical**, v. 48, n. 3, p. 335-357, 1998.

LEPISTÖ, R.; RINTALA, J. Conversion of volatile fatty acids in an extreme thermophilic (76-80ºC) upflow anaerobic sludge-blanket reactor. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 221-227, 1996.

LIEN, R. J.; CONNER, D. E. ; BILGILI, S. F. The use of recycled paper chips as litter material for rearing broiler chickens. **Poultry Science**, Savoy, v. 71, n. 1, p. 81-87, 1992.

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic reactors. **Water Resource**, New York, v. 36, n. 13, p. 3203-3210, jul. 2002.

LUCAS JUNIOR, J. et al. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus:SBEA/CEPLAC, 1993. p. 915-930.

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

_____. Biodigestores para o meio rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995.

_____. Sistemas de manejo de dejetos - ISO 14000. In: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 2., 1996, Campinas. **Anais...**Campinas:ABCP, 1996.

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

MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p. 1-33.

MALONE, G. W. Nutrient enrichment in integrated broiler production systems. **Poultry Science**, v. 71, p. 1117-1122, 1992.

MARTINEZ, J., BURTON, C. H., SNEATH, R. W., FARRENT, J. W., A study of the potential contribution of sedimentation to aerobic treatment processes for pig slurry. **Journal Agricultural Engineering Research.** v. 61, p. 87–96, 1995.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch. **Water Resource**, v. 34, n. 12, p. 3087-3106, 2000.

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

MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Efeitos de composto de lodo de cervejaria em propriedades químicas e físicas do solo e em plantas de painço em casa-de-vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. (CD-Rom).

MORENG, R. E.; EVANS, J. S. **Ciência e produção de aves: aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves**. São Paulo: Roca, 1990. p. 143-178.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: Encontro Sobre Matéria Orgânica Do Solo: Problemas e Soluções, 1., 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Champion Papel e Celulose Ltda., 1992. 29 p.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos.** 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

ORTOLANI, A. F. et al. Bateria de mini-biodigestores : estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais...** Botucatu: FCAV/UNESP, 1986, p..229-239.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP/FCAV, 1991. 34 p.

ÖZTÜRK, M. Degradation of acetate, propionate and butyrate under shock temperature. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 2, 1993.

PAGANINI, F. J. **Produção de frangos de corte: manejo de cama**. Ed. MENDES, A. A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. Campinas: FACTA. 356p. 2004.

PAUL, E.A., CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**, San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PLAIXATS, J.; BARCELO, J.; GARCIA-MORENO, J. Characterization of the effluent residue from anaerobic digestion of pig excreta for its utilization as fertilizer. **Agrochimica,** v. 32, n. 2-3, p. 236-239, 1988.

PROCHNOW, L. I. et al . Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. **Scientia Agrícola,** Piracicaba, v. 52, n. 2, 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php> Acesso em: 12 abr. 2008.

RUIZ, R. L. et al. Microbiologia do rúmem e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. **Microbiologia zootécnica.** São Paulo: Roca, 1992. p. 124-167.

SANTOS, C. C. **Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultura.** 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SANTOS, T. M. B. **Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte**. 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

_____. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte.** 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR, J. **Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia.** In: ZOOTEC, 2003; CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 5.; CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 13., 2003, Uberaba, 2003. p. 131-141.

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

SAS INSTITUTE. Program version 9.1. Cary, 2003.

SEGANFREDO, M. A. O impacto ambiental na utilização de cama de aves como fertilizante do solo. 2000. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br> Acesso em: 06 jan. 2009.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRAO, N. E. M. **Composição química de onze materiais organicos utilizados em substratos para produção de mudas.** EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2006. Campina Grande. Comunicado Técnico, 278.

SHARMA, V. K. et al. Inclined-plug-flow type reactor for anaerobic digestion of semi-solid waste. **Applied Energy**, London, v. 65, n. 2, p. 173-185, apr. 2000.

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

SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1981. 166 p.

SINGH, S.; SINGH, S. K. Effect of cupric nitrate on acceleration of biogas production. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 417-419, apr. 1996.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-159, maio, 2002.

STERLING JUNIOR, M. C. et al. Effects of ammonia nitrogen on H_2 and CH_4 production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, n. 1, p. 9-18, mar. 2001.

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.

UBA – União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <http://www.uba.org.br> Acesso em: 12 jan. 2009.

UNFCCC. United Nations framework convention on climate change. Kyoto protocol, 1998. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Acesso em: 29 junho 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Programa de Pós Graduação em Zootecnia. Disponível em <http://www.fcav.unesp.br/zootecnia/normasdiretrizes.php.> Acesso em: 30 abril 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Ciências Exatas. Estação Agroclimatologica: Valores médios no período 1971-2008. Disponível em <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 03 jun 2008.

VITORINO, K. M. N.; PEREIRA NETO, J. T. **Estudo da compostabilidade dos resíduos da agroindústria sucroalcoleira.** In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1992, Viçosa. Anais... Viçosa:UFV, 1992. p.121-132.

WEBB, A. R., HAWKES, F. R. The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium–nitrogen levels. **Agricultural Wastes** v.14, p. 135–156, 1985.

XAVIER, C. A. N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

YADVIKA, S. et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, oct. 2004.

APÊNDICES



Apêndice 1. Galpão de frangos de corte utilizado no experimento.





Apêndice 2. Abertura de uma vala em cada box para coleta da cama.

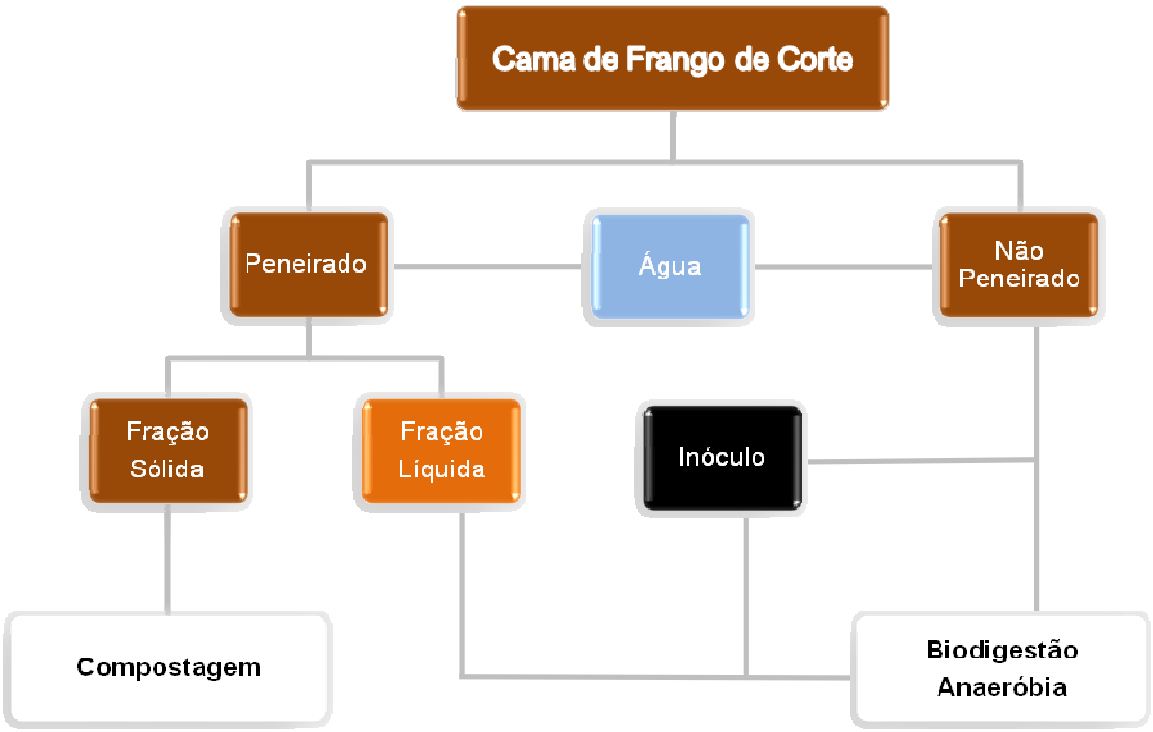
Apêndice 3. Espaço para homogeneização da cama após a coleta.



Apêndice 4. Sistema de separação de sólidos e líquidos da cama de frango (Cama *in natura*, separação dos sólidos e fração líquida resultante).



Apêndice 5. Inóculo (biofertilizante) do lote anterior.



Apêndice 6. Fluxograma do delineamento dos tratamentos peneirado (com diluição 4:1 e separação de sólidos e líquidos) e não peneirado (sem diluição e separação), para biodigestão anaeróbia e compostagem da cama de frangos de corte.

Apêndice 7. Dados meteorológicos mensais do ano de 2007 em Jaboticabal no período experimental.

Mês	Pressão	Tmax	Tmin	Tmed	UR	Precipitação	Nº. dia	Insolação
	(hPa)	(ºC)	(ºC)	(ºC)	(%)	(mm)	chuva	(h)
Janeiro	941,3	28,9	21,0	23,9	88,4	644,6	25	114,5
Fevereiro	942,0	31,1	19,8	24,4	78,6	154,7	12	223,5
Março	943,4	31,7	20,0	24,9	73,9	156,3	13	250,6
Abril	944,2	30,5	18,7	23,6	75,1	53,7	7	258,5
Maio	945,6	26,5	14,2	19,5	73,7	105,7	6	236,7
Junho	947,2	27,7	13,5	19,5	69,1	2,5	1	268,4
Julho	946,5	26,4	12,8	18,5	68,8	87,7	5	248,5
Agosto	947,0	29,6	14,1	21,0	58,1	0,0	0	311,4
Setembro	946,0	32,7	17,3	24,3	50,8	0,4	2	287,1
Outubro	942,6	33,4	19,2	25,7	56,0	38,2	7	246,9
Novembro	941,1	30,3	18,5	23,7	72,0	137,5	16	196,4
Dezembro	940,9	31,5	20,0	24,8	71,7	204,4	13	233,2
Ano	944,0	30,0	17,4	22,8	69,7	1585,7	107	2875,7

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; Nº. dia chuva: número de dias com chuva
Fonte: UNESP (2008) - Departamento de Ciências Exatas - Estação Agroclimatológica



Apêndice 8. Carga diária de biodigestores contínuos.



Apêndice 9. Início do processo de compostagem (Figura A); Material final peneirado após 90 dias de enleiramento (Figura B); Material retido em peneira com malha de 10 mm no fim do processo (Figura C); Perspectiva do material peneirado e retido na peneira ao final da compostagem (Figura D).