

**NATALIA SERANTONI**

**AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE CARÇA DE FRANGO EM  
BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

S481a  
2020 Serantoni, Natalia, 1988-  
Avaliação da compostagem de carcaça de frango em  
biorreator aeróbio descontínuo / Natalia Serantoni. – Viçosa,  
MG, 2020.  
84 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Mônica de Abreu Azevedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Biorreatores. 2. Compostagem. 3. Resíduos de carcaça.  
4. Tratamento de resíduos. 5. Resíduos orgânicos.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

II. Título.

CDD 22. ed. 681.757

NATALIA SERANTONI

**AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE CARÇA DE FRANGO EM  
BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 7 de fevereiro de 2020.

Assentimento:

Natalia Serantoni

Natalia Serantoni

Autora

Mônica de Abreu Azevedo

Mônica de Abreu Azevedo

Orientadora

**Dedico esta dissertação:  
Aos meus pais, Marcelo e Rosangela,  
E ao meu irmão, Ricardo.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tornar possível a realização deste trabalho.

Aos meus pais Marcelo e Rosangela e meu irmão Ricardo pela ajuda financeira, e por acreditarem e me motivarem a todo momento.

Aos meus avós Roberto (in memoriam) e Maria, e Ademar e Erminia.

Agradeço também a minha tia Maria de Fátima pelo apoio, incentivo e ajuda no decorrer do trabalho.

À professora Mônica de Abreu Azevedo pela orientação, confiança e pela amizade no decorrer do trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, por esta oportunidade.

À FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa.

À H3M pelo financiamento de parte das análises e também pela compra dos materiais para a construção do biorreator.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela ajuda nas análises estatísticas.

À Ana Luísa por toda a ajuda e amizade no decorrer deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), principalmente ao Agostinho, Capelão e Priscila pela amizade e pelo trabalho prestado.

Ao seu Zé pela construção do biorreator.

Ao Aviário Experimental da UFV, principalmente ao Adriano e Matheus, por fornecer as carcaças de frango e cama de frango utilizadas neste trabalho.

À secretaria do PPGEC, Cilene e Tiago, pelos serviços prestados.

A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

***“Insanidade é fazer a mesma coisa e  
esperar resultados diferentes”  
(Albert Einstein)***

## RESUMO

SERANTONI, Natalia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020.  
**Avaliação da compostagem de carcaça de frango em biorreator aeróbio descontínuo.**  
Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo.

O objetivo básico deste presente trabalho foi avaliar a eficiência e otimizar o desempenho do biorreator aeróbio descontínuo no tratamento de carcaças de frango, utilizando cama de frango e resíduos de poda como materiais estruturantes e fontes de carbono. Foram realizados cinco experimentos, com o sistema de aeração forçada trabalhando a potências de 2HP e 0,5HP. Foram realizadas análises semanais de teor de água, redução dos sólidos voláteis, relação C/N, pH; aferição diária da temperatura durante todo o período de compostagem; análises de macro e micronutrientes (P, K, Ca, S, Mg, Mn, Cu, Zn, Fe e B), e de metais pesados (Pb, Ni, Cr e Cd) ao final da etapa de maturação. Durante todo o processo de compostagem, foram observadas reduções do teor de sólidos voláteis de 27% para o experimento realizado no biorreator com sistema de aeração com potência de 2HP, e redução média de 22% para os experimentos realizados no biorreator com sistema de aeração com potência de 0,5HP. Testes de germinação, utilizando **Lactuca sativa** como organismo indicador de fitotoxicidade, apontaram a maturação do composto e ausência de fitotoxicidade ao final do processo de compostagem. O biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP mostrou-se capaz de tratar os resíduos de aviário (carcaça de frango e cama de frango), e eficiente na eliminação de patógenos para os Experimentos 1 e 2, realizados no sistema de aeração com potência de 2HP e 0,5HP e na redução dos microrganismos patogênicos nos experimentos restantes (3, 4 e 5 realizados no sistema de aeração com potência de 0,5HP). Observou-se redução de massa ao final do processo de compostagem, com valores de 62% para o experimento realizado no biorreator com sistema de aeração com potência de 2HP, e de 41% para os experimentos realizados no biorreator com sistema de aeração com potência de 0,5HP.

Palavras-chave: Biorreator aeróbio descontínuo. Cama de frango. Carcaça de frango. Compostagem. Resíduos aviários. Tratamento de resíduos orgânicos.

## ABSTRACT

SERANTONI, Natalia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020.  
**Evaluation of chicken carcass composting into aerobic discontinuous bioreactor.**  
Advisor: Mônica de Abreu Azevedo.

The basic objective of this work was to evaluate the efficiency and optimize the performance of the discontinuous aerobic bioreactor in the treatment of chicken carcass, using chicken litter and pruning residues as structuring materials and carbon sources. Were carried out five experiments, with the forced aeration system working at 2HP and 0.5HP. Weekly analyses of water content, reduction of volatile solids, C/N ratio, pH; daily measurement of temperature throughout the composting period; macro and micronutrient analyses (P, K, Ca, S, Mg, Mn, Cu, Zn, Fe and B), and heavy metals (Pb, Ni, Cr and Cd) at the end of the maturation stage. During the entire composting process, reductions in volatile solids content of 27% were observed for the experiment carried out in the bioreactor with aeration system with power of 2HP, and an average reduction of 22% for the experiments carried out in the bioreactor with aeration system with power of 0.5HP. Germination tests, using *Lactuca sativa* as an indicator organism of phytotoxicity, indicated the maturation of the compound and absence of phytotoxicity at the end of the composting process. The centrifugal ventilator discontinuous aerobic bioreactor with power of 0.5HP was able to treat poultry residues (chicken carcass and chicken litter), and efficient in the elimination of pathogens for Experiments 1 and 2, performed in the aeration system with power of 2HP and 0.5HP and in the reduction of pathogenic microorganisms in the remaining experiments (3, 4 and 5 performed in the aeration system with power of 0.5HP). A mass reduction was observed at the end of the composting process, with values of 62% for the experiment carried out in the bioreactor with aeration system with power of 2HP, and 41% for the experiments carried out in the bioreactor with aeration system with power of 0.5HP.

Keywords: Discontinuous aerobic bioreactor. Chicken litter. Chicken carcass. Composting. Poultry waste. Organic waste treatment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Vista externa e interna dos tubos de aeração do biorreator aeróbio descontínuo.....	34
<b>Figura 2</b> – Esquema de montagem no interior do biorreator aeróbio descontínuo.....	36
<b>Figura 3</b> – Vista lateral do composto durante a desmontagem do biorreator aeróbio descontínuo.....	41
<b>Figura 4</b> – Leira após a finalização do processo de compostagem.....	42
<b>Figura 5</b> – Monitoramento da relação C/N no decorrer do processo de compostagem para o sistema de aeração de potência de 0,5HP.....	51
<b>Figura 6</b> – Esquema de montagem do material no interior do biorreator aeróbio descontínuo.....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Dimensões e quantitativos dos materiais utilizados nos experimentos.....	35
<b>Tabela 2</b> – Caracterização dos resíduos utilizados antes do processo de compostagem utilizando biorreator aeróbio e descontínuo.....	36
<b>Tabela 3</b> – Duração das fases no processo de compostagem para tratamento realizado em biorreator aeróbio e descontínuo.....	37
<b>Tabela 4</b> – Resumo das análises realizadas no decorrer do processo de compostagem...	38
<b>Tabela 5</b> – Temperaturas médias aferidas nos diferentes pontos no interior do biorreator aeróbio descontínuo.....	43
<b>Tabela 6</b> – Duração da fase ativa dos experimentos no biorreator aeróbio descontínuo, temperatura média e temperatura máxima atingida no interior do biorreator.....	45
<b>Tabela 7</b> – Variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem.....	47
<b>Tabela 8</b> – Resumo dos valores de pH no decorrer do processo de compostagem.....	48
<b>Tabela 9</b> – Resumo das reduções percentuais dos teores de sólidos voláteis na fase do biorreator aeróbio descontínuo e ao final do processo de compostagem e o período total do processo.....	49
<b>Tabela 10</b> – Monitoramento dos metais e nutrientes ao final do processo de compostagem nos biorreatores aeróbios descontínuos.....	50
<b>Tabela 11</b> – Índice de Germinação (IG) relativo ao ensaio conduzido com <b>Lactuca sativa</b> .....	52
<b>Tabela 12</b> – Resultado das análises microbiológicas dos experimentos realizados nos sistemas de aeração com potências de 0,5HP e 2HP.....	53
<b>Tabela 13</b> – Parâmetros avaliados e métodos de determinação adotados no estudo.....	68
<b>Tabela 14</b> – Resultado das análises microbiológicas dos experimentos 3, 4 e 5 realizados em biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP.....	70

<b>Tabela 15</b> – Duração da fase ativa dos experimentos no biorreator aeróbio descontínuo, temperatura média da fase ativa no biorreator, temperatura máxima atingida na fase ativa no interior do biorreator e duração do processo de compostagem.....	72
<b>Tabela 16</b> – Variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem dos experimentos 3, 4 e 5.....	73
<b>Tabela 17</b> – Resumo das reduções percentuais dos teores de sólidos voláteis na fase do biorreator aeróbio descontínuo, ao final do processo de compostagem e duração do processo de compostagem dos experimentos 3, 4 e 5.....	73
<b>Tabela 18</b> – Resumo do pH no início da fase do biorreator aeróbio descontínuo, ao final da fase do biorreator e ao final do processo de compostagem para os experimentos 3, 4 e 5.....	74
<b>Tabela 19 (a-d)</b> – Análises de variância para os parâmetros de pH, temperatura, teor de água e sólidos voláteis.....	84

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

AVIMIG – Associação dos Avicultores de Minas Gerais

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DZO/UFV – Aviário Experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa

E. COLI – Escherichia Coli

ENGEQUISA – Laboratório de Engenharia Química, Sanitária e Ambiental

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LESA – Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NKT – Nitrogênio Kjeldahl Total

pH – Potencial hidrogeniônico

UFV – Universidade Federal de Viçosa

## LISTA DE SÍMBOLOS

B – Boro

°C – Graus Celsius

C/N – Relação entre o Carbono e Nitrogênio

Ca – Cálcio

Cd – Cádmiio

CF – Coliformes fecais

Cu – Cobre

Cr – Cromo

CT – Coliformes totais

EC – Escherichia coli

Fe – Ferro

HP – Horse Power

IG – Índice de Germinação

K – Potássio

Kg – Quilogramas

Mg – Magnésio

Mm – Milímetros

Mn – Manganês

Ni – Níquel

NMP – Número Mais Provável

P – Fósforo

Pb – Chumbo

S – Enxofre

SV – Sólidos Voláteis

UFC – Unidade Formadora de Colônia

Zn – Zinco

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 Definições de compostagem.....	18
2.2 Compostagem da cama de frango.....	19
2.3 Microbiologia do processo de compostagem.....	19
2.4 Fatores interferentes no processo de compostagem.....	21
2.4.1 Temperatura.....	21
2.4.2 Aeração.....	22
2.4.3 Teor de Água.....	22
2.4.4 Relação C/N.....	23
2.4.5 pH.....	24
2.4.6 Tamanho da Partícula.....	24
2.5 Compostagem de carcaça de frango.....	25
2.6 Biorreatores aeróbios descontínuos empregados no tratamento de resíduos de aviário.....	25
2.7 Aspectos sanitários do composto orgânico.....	26
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>3. ARTIGO I.....</b>	<b>31</b>
<b>COMPOSTAGEM DE CARCAÇA DE FRANGO EM BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO .....</b>	<b>31</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Local do experimento.....	33
3.2.2 Construção dos biorreatores aeróbios descontínuos.....	33
3.2.3 Arranjo experimental.....	35
3.2.4 Coleta de amostras.....	37
3.2.5 Monitoramento dos experimentos.....	37
3.2.6 Desmontagem dos experimentos.....	41
3.2.7 Finalização do processo de compostagem.....	42
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
3.3.1 Variação de temperatura.....	43
3.3.2 Teor de água.....	45
3.3.3 pH.....	47
3.3.4 Teor de sólidos voláteis.....	48
3.3.5 Nutrientes e Metais.....	49
3.3.6 Relação C/N.....	50
3.3.7 Determinação de fitotoxicidade e maturação do composto.....	52

3.3.8 Análises microbiológicas.....	53
<b>3.4 COMPARAÇÃO ENTRE O BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO COM POTÊNCIA DE 2HP E 0,5HP.....</b>	<b>55</b>
<b>3.5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>4. ARTIGO II.....</b>	<b>61</b>
<b>AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO NA ELIMINAÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS NO TRATAMENTO DE CARÇAÇA DE FRANGO.....</b>	<b>61</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
4.2.1 Montagem.....	66
4.2.2 Monitoramento dos experimentos.....	67
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>69</b>
4.3.1 Análises microbiológicas.....	69
4.3.2 Variação de temperatura.....	71
4.3.3 Teor de água.....	73
4.3.4 Teor de sólidos voláteis.....	73
4.3.5 pH.....	74
<b>4.4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>5. CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2015, o Brasil se consolidou como o segundo maior produtor de carne de frango do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2016, foram abatidas 5,84 bilhões de aves no país (IBGE, 2016).

A zona da Mata Mineira é a quarta maior região produtora de carne de frango do Estado de Minas Gerais. Estima-se que a produção mineira seja de 1.284.525 toneladas de frango, representando cerca de 10% da produção brasileira (AVIMIG, 2017).

Durante a produção de frangos, o número de mortalidade de aves é considerável, estimada em 3,5% (PERDOMO, 2001), sendo necessária a adoção de um sistema de tratamento adequado, viável e ambientalmente adequado.

O Brasil não possui legislação específica para o tratamento e disposição final de resíduos aviários, fazendo-se necessária a adoção de sistemas que sejam sustentáveis do ponto de vista ambiental, econômico e sociocultural, a fim de se evitar problemas de saúde pública (proliferação de vetores de doenças) e ambientais (contaminação de águas superficiais e do solo por chorume, entre outros).

Um dos problemas enfrentados pelo setor aviário é a destinação inadequada da cama de frango. Desde a publicação e entrada em vigor da Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2004) que proibiu a comercialização da cama de frango como suplemento para alimentação bovina, a destinação deste resíduo passou a ser um problema aos geradores, e o seu manejo e reutilização regulamentado de forma mais rigorosa.

Neste sentido, buscam-se alternativas sustentáveis quanto à destinação ambientalmente adequada e o estudo de sistemas de tratamento para este resíduo, com o objetivo de eliminar os riscos de proliferação de vetores e contaminação da água superficial e do solo.

A compostagem se destaca como um método muito eficiente e sem grandes custos de implantação e operação, podendo ser aplicada ao tratamento de resíduos gerados na produção avícola. Para tanto, equipamentos que promovam a compostagem acelerada estão sendo estudados, com o objetivo de diminuir o período de compostagem e permitir o controle do processo, além de proporcionar as condições satisfatórias para a obtenção de um composto de qualidade.

Os resíduos resultantes da atividade avícola (carcaça de frango e cama de frango) atualmente são tratados por métodos rudimentares de compostagem, conhecidos como composteira, que têm pouco controle sobre os parâmetros ambientais, contribuindo para os problemas de poluição e contaminação ambiental.

O tratamento desses resíduos pelo processo de compostagem em ambiente fechado contribui para minimizar os impactos ambientais e de saúde relacionados ao tratamento e a desejada sanitização do material. Sendo assim, o desenvolvimento de processos de compostagem para o tratamento de carcaças de frango, em ambientes aeróbios fechados torna-se de suma relevância para a destinação ambientalmente adequada para os resíduos gerados na avicultura.

Desta forma, o presente projeto de pesquisa visa testar um equipamento desenvolvido para o tratamento aeróbio de resíduos de aviário em ambiente fechado – o biorreator aeróbio descontínuo, com controle automatizado de aeração e temperatura a fim de avaliar e otimizar um processo para realizar a compostagem de carcaças e cama de frango, contribuindo para solucionar o problema de destinação de resíduos de avicultura.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Viçosa. Para avaliar a degradação das carcaças, foram utilizados como substrato a cama de frango, material de poda e composto maturado. Foram construídos e testados dois biorreatores aeróbios descontínuos funcionando com sistemas de aeração com potências de 2HP e de 0,5HP, submetidos a taxas de aeração de 5 minutos a cada 3 horas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo básico deste projeto foi avaliar e comparar a eficiência do equipamento desenvolvido – Biorreator aeróbio descontínuo, no tratamento de carcaças e cama de frango por compostagem aeróbia em ambiente fechado e em processo descontínuo, com o sistema de aeração forçada trabalhando a potências de 2HP e de 0,5HP.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Avaliar o desempenho dos biorreatores aeróbios descontínuos com o sistema de aeração forçada trabalhando a potências de 2HP e de 0,5HP em relação aos parâmetros que afetam o processo de compostagem, por meio da medição e avaliação de parâmetros físicos, químicos e biológicos;
- b) Determinar e otimizar os parâmetros de compostabilidade do processo: a taxa de aeração; valores do teor de água e período total de compostagem; (tempo necessário para a biodegradação das carcaças e cama de frango no interior do biorreator aeróbio descontínuo e da fase de maturação em leira);
- c) Avaliar o desempenho dos biorreatores aeróbios descontínuos na eliminação de patógenos, utilizando os organismos indicadores: Salmonella; Streptococcus fecais e Escherichia coli;
- d) Avaliar o desempenho dos biorreatores aeróbios descontínuos na estabilização e tratamento de carcaças e cama de frango;
- e) Otimizar e desenvolver uma metodologia para o tratamento de carcaças e cama de frango por compostagem em biorreator aeróbio descontínuo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Definições de compostagem

A compostagem é definida como um processo controlado e de estabilização de resíduos orgânicos promovido por diversos microrganismos aeróbios, que com a interferência humana pode acelerar a decomposição destes resíduos através de processos físicos, químicos e biológicos. Atualmente as técnicas de produção de composto além de melhorar a sua qualidade, também contribuem para o controle sanitário de agentes patogênicos e metais pesados. O período da compostagem vai depender do processo utilizado e do tipo de material orgânico utilizado (BARROS, 2012).

A compostagem é uma forma de eliminar os problemas de destinação e acúmulo dos Resíduos Sólidos Urbanos nos aterros sanitários, melhorando a estrutura do solo, fornecendo nutrientes, aumentando a capacidade de retenção de água, controlando a erosão e evitando a utilização dos fertilizantes sintéticos (JUCÁ et al., 2007).

Apesar de haver diferentes conceitos na literatura científica para definir a compostagem, pode-se considerá-la um processo controlado de degradação biológica de oxidação e oxigenação (KIEHL, 2004), efetuada por uma população mista de microrganismos em sucessão que promovem a degradação da matéria orgânica em duas fases: fase mesofílica, com a ação de microrganismos mesófilos que possuem atividade na faixa de temperatura até 45°C, e fase termofílica com a ação de microrganismos termófilos na temperatura acima de 45°C podendo atingir valores próximos a 60°C (CARLESSO et. al., 2011).

Segundo Azevedo (1993), a compostagem ocorre em duas fases e é desenvolvida por uma população mista de microrganismos em sucessão que degradam a matéria orgânica. Na primeira fase ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas, onde o composto é bioestabilizado, e a segunda fase de maturação, em que o composto atinge humificação. O produto final pode ser denominado Composto Orgânico ou Fertilizante Orgânico, e constitui-se de um material humificado, biologicamente estabilizado, fonte de nutrientes e capaz de melhorar a qualidade estrutural do solo.

Segundo Kiehl (1985), podem-se descrever os processos de compostagem de duas formas: sistemas de digestão fechados que podem ocorrer em reator, biodigestor ou bioestabilizador; e sistemas abertos, em forma de leiras e pátios de compostagem a céu aberto.

Costa et al., (2006), trabalharam com quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. Segundo os autores, a primeira etapa do processo de compostagem é de extrema importância, uma vez que realizado o manejo inicial de forma incorreta, pode-se promover a disseminação de doenças por vetores e agentes patogênicos. Ainda segundo os autores, a segunda etapa do processo (compostagem) que ocorre no pátio de compostagem, onde existe o revolvimento e correção de água semanalmente, é imprescindível para a eficiência do processo e eliminação de microrganismos patogênicos.

A compostagem além de ecologicamente correta e de baixo custo, ainda possibilita a utilização dos produtos gerados na agricultura. Sendo assim, o conhecimento e emprego de novas técnicas são fundamentais no tratamento dos resíduos (CARLESSO et. al., 2011).

## **2.2 Compostagem da cama de frango**

Estudos demonstram a alta concentração de macro nutrientes presente na cama de aviário e as suas vantagens para a aplicação no solo, o aumento no carbono total e teor da matéria orgânica do solo (ADELI et al., 2008), o aumento do pH do solo (ZHANG, 1998) e melhorias na qualidade física, química e biológica dos solos (MCGRATH et al., 2009).

Gardoni (2013), utilizando um biodigestor aeróbio descontínuo no tratamento de carcaças de frango verificou a ocorrência de temperaturas termofílicas durante todo o período de compostagem no biodigestor, atingindo ao final desta etapa pH final alcalino e redução de massa de compostagem. O biodigestor aeróbio descontínuo mostrou-se eficiente no controle de atração e proliferação de vetores, redução na emanção de odor desagradável e eliminação de organismos patogênicos. O autor concluiu do seu estudo, que o biodigestor testado foi eficiente na degradação de carcaças de frango em um período de compostagem, no interior do biodigestor, de 49 dias.

## **2.3 Microbiologia do processo de compostagem**

O processo de compostagem é realizado por grande diversidade de microrganismos compostos principalmente por fungos, bactérias e actinomicetos, que são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, por meio do consumo de macro e micronutrientes (CONCEIÇÃO, 2012; PEREIRA NETO, 2007). Desta forma, favorecer

e garantir as condições ambientais necessárias dos microrganismos irá auxiliar a decomposição da matéria orgânica (PEREIRA NETO, 2007).

Cada microrganismo no processo de compostagem apresenta características fisiológicas variadas, de acordo com o substrato, oxigênio e temperatura fornecidos (AZEVEDO, 1993).

Com relação ao oxigênio, os microrganismos são classificados em aeróbios, que requerem oxigênio durante o processo metabólico; aqueles que não necessitam de oxigênio, os anaeróbios e aqueles que podem viver tanto na presença como ausência de oxigênio, que são os facultativos (PEREIRA NETO, 1996).

Com relação à temperatura, os microrganismos podem ser classificados como psicrófilos, que se desenvolvem em temperatura abaixo de 20°C; mesófilos que apresentam atividade na faixa de 20 a 40°C; e os termófilos que crescem em temperaturas de 45 a 65°C (PEREIRA NETO, 1996).

Cada organismo presente no processo de compostagem apresenta uma faixa ótima de pH, oxigênio e demanda por substratos.

As bactérias são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, liberando calor na massa de compostagem (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 1985). A temperatura mesofílica, menores que 40°C, as bactérias metabolizam açúcares, carboidratos e proteínas. Em temperaturas termofílicas, maiores que 40°C, decompõem proteínas, lipídeos, gorduras e frações de hemiceluloses (AZEVEDO, 1993).

Os fungos situam-se em meio ácido, apresentando também atividade em meio alcalino. Assim como as bactérias, estão presentes nos dois estágios da compostagem, e são responsáveis por metabolizar celulose, hemiceluloses e lignina (PEREIRA NETO, 1996). Em temperaturas acima de 60°C, os fungos termofílicos morrem, restando apenas bactérias e actinomicetos. Com a diminuição da matéria orgânica, há uma redução da atividade biológica e, conseqüentemente, a temperatura da massa é reduzida, fazendo com que os fungos reapareçam novamente no processo (LIMA, 1995).

Os actinomicetos se desenvolvem de forma mais lenta, sendo a sua presença visível a olho nu devido a sua cor esbranquiçada. Os fungos e actinomicetos estão presentes nas camadas mais externas da compostagem, e desempenham um papel fundamental na degradação da celulose (KIEHL, 1985).

## **2.4 Fatores interferentes no processo de compostagem**

O sucesso de um sistema de compostagem, com a obtenção de um composto orgânico estável e seguro bacteriologicamente, irá depender do controle de cada um dos parâmetros descritos abaixo (AZEVEDO, 1993).

### **2.4.1 Temperatura**

O metabolismo dos microrganismos é exotérmico, sendo que cada um possui uma faixa de temperatura própria para o desenvolvimento (KIEHL, 1985). A manutenção da temperatura termofílica na faixa de 45 a 65°C na fase de degradação ativa é fundamental para se obter eficiência no processo, uma vez que o controle deste parâmetro é um dos requisitos básicos para que haja aumento na velocidade de degradação e eliminação de microrganismos patogênicos (PEREIRA NETO, 1996). Este parâmetro indica a eficiência do processo de compostagem, sendo o valor médio ideal de 55°C (PEREIRA NETO, 1996).

A compostagem aeróbica é caracterizada por altas temperaturas que são necessárias para a eliminação de microrganismos patogênicos e pela elevada taxa de degradação da matéria orgânica (AZEVEDO, 1993). De acordo com a temperatura desenvolvida na massa durante o processo de compostagem, os sistemas podem ser classificados como mesofílico e termofílico.

Kiehl (1985) classifica a faixa termofílica como o processo no qual a digestão da matéria orgânica ocorre na faixa de 45 e 55°C.

A temperatura é o principal controle da compostagem e indica a eficiência do processo. Caso não seja controlada durante o processo, através de revolvimentos ou aeração forçada, poderá atingir valores próximos a 75°C, havendo diminuição da atividade microbiológica, redução da eficiência, retardamento do período de compostagem e alteração da qualidade do composto (PEREIRA NETO; AZEVEDO, 1990a).

A temperatura é um parâmetro de fácil aferição, que reflete o equilíbrio biológico e a eficiência do processo. Valores de 40 a 60°C já são verificados no segundo ou terceiro dia do processo, demonstrando o alcance de um sistema equilibrado (CONCEIÇÃO, 2012).

A segunda etapa do processo de compostagem é chamada de maturação, quando ocorrem as reações de humificação da matéria orgânica e a produção de composto (AZEVEDO, 1993). O composto será considerado maturado quando atingir a temperatura próxima à do ambiente, desde que todos os fatores interferentes do processo estejam controlados e não afetem a atividade biológica de forma negativa (CONCEIÇÃO, 2012).

#### **2.4.2 Aeração**

Segundo Kiehl (1985), O suprimento de oxigênio é fundamental para os microrganismos realizarem o seu metabolismo.

Conceição (2012) afirma que a taxa de aeração é de extrema importância para a eficiência do processo de compostagem.

A aeração, além de ser utilizada para suprir a carência de oxigênio, é o principal parâmetro de controle da temperatura, e conseqüentemente, da eficiência do processo (AZEVEDO, 1993).

Conforme Kiehl (1985), a compostagem deve ser realizada em ambiente aeróbio, pois o fornecimento de ar acelera a degradação, o controle é mais eficaz, evita odor e proliferação de vetores.

Nas leiras, a aeração é realizada através de revolvimento do material, e em sistemas fechados, é feita através de dispositivos de ventilação forçada (BARROS, 2012).

A escolha da taxa de aeração é de extrema importância, pois irá determinar a eficiência do processo e, conseqüentemente, a qualidade do composto final.

#### **2.4.3 Teor de Água**

A eficiência do processo de compostagem irá depender deste parâmetro, uma vez que a decomposição da matéria orgânica e a atividade biológica dependem de níveis mínimos de teor de água na massa a ser compostada (AZEVEDO, 1993).

Segundo Conceição (2012), o teor de água é um fator limitante do processo de compostagem, sendo necessária a correção manual do teor de água para valores recomendados, para que não afete o processo de degradação da massa a ser compostada.

Conforme Kiehl (1985), o fornecimento forçado de ar e a necessidade de umidade fazem com que valores mínimos e máximos sejam necessários para o bom andamento do processo.

Segundo Barros (2012), a faixa ideal de teor de água está entre 40 a 60%, sendo que teores excessivos irão dificultar a degradação da matéria orgânica e promover a anaerobiose, uma vez que o oxigênio para a atividade metabólica dos microrganismos está disponível em forma do ar presente nos interstícios da massa a ser compostada. Teores abaixo de 40% irão restringir o processo devido à inibição da atividade microbiana na massa de compostagem (PEREIRA NETO, 1996).

Sendo assim, teores recomendados situam-se em torno de 55% para garantir a eficiência do processo (PEREIRA NETO, 1996).

Kiehl (1985) afirma que, à medida que a matéria orgânica se humifica, a sua capacidade de absorção de água aumenta.

O sucesso operacional de um sistema de compostagem por aeração forçada irá depender da taxa de aeração, uma vez que esta é o principal mecanismo de remoção do calor e controle do teor de água.

#### **2.4.4 Relação C/N**

Os microrganismos necessitam de macro e micronutrientes para realizar as atividades metabólicas. A concentração e disponibilidade de carbono e nitrogênio são dois fatores limitantes no processo de compostagem (PEREIRA NETO, 1996).

O carbono é fonte básica de energia para a oxidação metabólica e o nitrogênio é a fonte básica para a síntese protoplasmática.

Segundo Pereira Neto (1996) dois nutrientes utilizados pelos microrganismos são de extrema importância: o carbono e o nitrogênio. Tanto a concentração, quanto a disponibilidade de ambos nutrientes para o meio podem vir a afetar o desenvolvimento do processo, sendo estes dois elementos fatores limitantes nos processos de compostagem (PEREIRA NETO, 1996).

Valores baixos da relação C/N acarretam na perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, e valores altos podem inibir o desenvolvimento dos organismos, devido à falta de nitrogênio para a síntese de proteínas resultando em um processo de compostagem mais lento (CONCEIÇÃO, 2012).

Kiehl (1985) explica que os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio em uma proporção de 30:1.

Segundo Lima (1995), no início do processo de compostagem a relação C/N deve estar em torno de 30:1, e na segunda fase a relação deve estar em torno de 10:1. Ainda

segundo o autor, durante o processo de compostagem o carbono representa a síntese da parede celular (LIMA, 1995); sendo o principal responsável pela maior parte da perda de massa e geração de calor (AZEVEDO, 1993). Já o nitrogênio é o principal constituinte do protoplasma celular, e responsável pelo crescimento microbiano (AZEVEDO, 1993).

A alta relação C/N no processo de compostagem irá causar diminuição da atividade microbiológica, aumentando o período de compostagem e conseqüentemente redução dos valores de temperatura (AZEVEDO, 1993). Ainda segundo a autora, a baixa concentração C/N irá eliminar o excesso de nitrogênio pela volatilização de amônia, principalmente associado a valores alto de pH e temperatura (AZEVEDO, 1993).

Segundo Paiva (2011), o processo de compostagem que utiliza carcaça de animais a relação C/N situa-se na faixa de 10 a 20:1, devido às grandes concentrações de nitrogênio das carcaças, e, portanto, baixa relação C/N.

Conceição (2012) afirma que a relação C/N ao final do processo converge para valores de 10 e 20, indicando a qualidade do composto final.

#### **2.4.5 pH**

O pH não é um fator crítico na compostagem, pois dificilmente ele poderá afetar os fatores operacionais do processo (PEREIRA NETO, 1996).

De acordo com Kiehl (2004), na fase de degradação ativa o aumento do pH se justifica devido a formação de ácidos húmicos que reagem com outros compostos. Estes ácidos reagem produzindo compostos mais alcalinos.

Para a maioria dos microrganismos a faixa ideal de pH está entre 6 e 8,0, e ao final do processo de compostagem o composto tende a apresentar pH na faixa alcalina com valores entre 7,5 a 9,0 (PEREIRA NETO, 2004).

#### **2.4.6 Tamanho da Partícula**

O tamanho ideal da partícula nos processos de compostagem situa-se na faixa de 20 a 50 mm (BARROS, 2012). Pereira Neto (1996), afirma que na prática o tamanho da partícula na massa de compostagem deve estar entre 10 a 50 mm.

O tamanho da partícula de matéria orgânica irá exercer grande influência no período de compostagem (PEREIRA NETO, 1996), pois quanto mais fragmentado o material, maior será a área superficial sujeita ao ataque microbiológico e maior a

velocidade de oxidação de matéria orgânica, reduzindo assim o período de compostagem (PEREIRA NETO; AZEVEDO, 1990a).

O tamanho das partículas interfere no processo de compostagem, pois partículas muito finas irão compactar o material dificultando a aeração, a distribuição de oxigênio na massa a ser compostada, a distribuição de microrganismos e podendo promover zonas anaeróbias devido ao acúmulo de água. Partículas de maiores dimensões acarretarão em um processo de oxidação mais lento, devido à menor área exposta ao ataque dos microrganismos (GARDONI, 2013).

## **2.5 Compostagem de carcaça de frango**

A compostagem da cama de frango, somada a carcaça de frango é um método eficiente para a redução de sólidos totais e eliminação de patógenos (ORRICO Jr. et al., 2010).

A literatura demonstra que a maioria dos trabalhos utiliza a cama de aviário como material estruturante para auxiliar a compostagem de carcaça de aves mortas (GARDONI, 2013; PAIVA, 2008).

Gardoni (2013), utilizando um biodigestor aeróbio descontínuo, operado com três taxas de aeração diferentes verificou a ocorrência da fase termofílica durante todo o processo no biodigestor. O pH não sofreu variações ao longo do processo se enquadrando na faixa recomendada pela literatura (7,5 a 9). O autor também observou a ocorrência de coliformes totais e termotolerantes presentes até o final do período de compostagem; e redução de sólidos voláteis de 29,68%, em média. A redução média de massa obtida foi de 18,7%.

## **2.6 Biorreatores aeróbios descontínuos empregados no tratamento de resíduos de aviário**

A compostagem é um processo que deve ocorrer em condições aeróbicas, com o objetivo de suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e também atuar como um parâmetro de controle da temperatura (PEREIRA NETO, 2007). Ainda segundo o autor, a oxigenação da massa de compostagem pode ser realizada por meio de processos artificiais (mecânicos) ou processos naturais (reviramento manual).

A diferença mais significativa entre os processos de compostagem está no processo de aeração (GARDONI, 2013).

Segundo Gardoni (2013), o processo de compostagem realizado em reatores biológicos ocorre em sistema fechado e controlado de forma que todos os parâmetros interferentes do processo possam ser controlados garantindo assim a sua eficiência.

A Universidad de Valladolid – Campus de Palencia, Espanha, tem pesquisado e desenvolvido um equipamento para compostar carcaças de aves mortas em biodigestores fechados descontínuos (SELECCIONES AVÍCOLAS, 2010). Este equipamento consiste em um tipo de compostador concebido para tratar in loco animais mortos e outros resíduos gerados em granjas. O equipamento possui dispositivos que permitem controlar todos os parâmetros que intervêm no processo de compostagem, como a taxa de aeração ou a temperatura. O biodigestor cria condições ideais para a reprodução dos microrganismos por meio do controle de aeração e temperatura. Quanto maior a temperatura obtida no interior do biodigestor, melhor será a eficiência do processo, pois valores elevados de temperatura e mantidos por um determinado período garantem a biossegurança do sistema na eliminação de agentes patogênicos, que pode estar presente no material a ser compostado. Por conta disto, o controle da temperatura ao longo do processo é fundamental. A temperatura deverá ser mantida na faixa de 55 a 70°C. Para garantir este controle, utiliza-se um mecanismo de insuflação de ar que auxilia no controle da temperatura, assim como na emanção de odores. Outra vantagem deste sistema é a automatização do processo, uma vez que o granjeiro terá apenas que realizar a carga e descarga dos resíduos (SELECCIONES AVÍCOLAS, 2010; GARDONI, 2013).

## **2.7 Aspectos sanitários do composto orgânico**

O composto orgânico ao final do processo de compostagem deve atender padrões sanitários e de valor nutricional para a sua disposição no solo de forma segura (PAIVA, 2008).

O controle do parâmetro de temperatura é fundamental no aspecto sanitário. Considerando as altas temperaturas associadas ao tempo de exposição e elevado pH, espera-se a desinfecção do material e a garantia sanitária do produto final. Nesse sentido, manter a temperatura média em torno de 55°C em toda a massa de compostagem e, pelo maior tempo possível, é um fator primordial para garantir a eliminação de patógenos.

Gardoni (2013) verificou a presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes até o final do período de compostagem, porém obteve valores menores que uma unidade, concluindo que as temperaturas dentro do biodigestor foram suficientes para sanitizar o material. O autor recomenda a realização de ao menos um revolvimento manual na segunda etapa do processo de maturação, para garantir maior qualidade sanitária.

Paiva (2008), estudando os métodos da composteira e leiras estáticas aeradas na avaliação da compostagem para carcaças e cama de frango, afirma que as temperaturas atingidas na primeira fase dos processos foram suficientes para a eliminação das bactérias patogênicas. Todos os sistemas avaliados foram eficientes na redução ou eliminação dos microrganismos *Salmonella* e coliformes termotolerantes conforme a resolução do CONAMA 375 (BRASIL, 2006).

Segundo Pereira Neto (2007), os melhores indicadores para a compostagem são as bactérias do grupo coliformes, principalmente os *Streptococcus* fecais, *Escherichia coli* e a *Salmonella*; que foram os microrganismos de interesse deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELI, A., SHAKLE, M. W., TEWOLDE, H., SISTANI, K. R., ROWE, D. E. Nutrient Dynamics from Broiler Litter Applied to No-Till Cotton in Upland Soil. **Agronomy Journal**, v.100.n.3.p. 564-570, 2008.

AVIMIG. **Números da Avicultura**. Fonte: UBABEF/ABPA- APINCO – Elaboração Avimig, agosto de 2017. Consultado em 06 de novembro de 2017 em <http://www.avimig.com.br/avicultura.php#.WgmZLManHIU>

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 230p.

AZEVEDO, MÔNICA DE ABREU. **Processos de compostagem**. 16 mar. 2017, 02 jun. 2017. Notas de Aula.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte. Ed Tessitura, 2012, 424p

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 8, de 25 de março de 2004**. Proíbe em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal. Oficial da União, Brasília, p. 5,26 mar. 2004<sup>a</sup>.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, p. 14,18set. 2003.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 375/2006, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgotos gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

CARLESSO, W. M., RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. **Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem**. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, 2011. p.105-110.

CONCEIÇÃO, P. S. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização**, 2012. 73 f. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

COSTA, M. S.S. M., COSTA, L. A. M., PELÁ, A., SILVA, C. J. S, DECARLI, L. D., MATTER, U. F. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaças de aves**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, vol. 10, n. 3.2006. p.692-698.

GARDONI, R.A.P. **Estudo da Biodegradação de Carcaças de Frango em Biodigestor Aeróbio Descontínuo**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 92p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: **Estatística da Produção Pecuária**. Consultado em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp\\_2017\\_mar.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2017_mar.pdf)

JUCÁ, J. F. T.; CASTILHOS JÚNIOR, A. B.; MARIANO, M. O. H. **Política de Resíduos Sólidos: Proposta de um plano estratégico para o desenvolvimento de políticas estaduais de gestão integrada de resíduos sólidos**. Água & Resíduos. Revista da Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária Ambiental, 5, 26-39, 2007.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173p.

LIMA, L. M. Q. **LIXO: Tratamento e Biorremediação**. São Paulo. Hemus, 1995. p.265.

McGRATH, S., MAGUIRE, R. O., TACY, B. F., KIKE, J. H. **Improving soil nutrition with poultry litter application in low input forage systems**. Agronomy Journal, 102, 48-54, 2009.

ORRICO Jr, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS Jr., J. (2010) **Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves**, Engenharia Agrícola Jaboticabal, 30(3). 538-545. 2010.

PAIVA, E. C. R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 163p.

PAIVA, E.C.R. **Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas**. (Tese de doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011. 111p.

PERDOMO, C. C. **Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte**. In: A produção animal na visão dos brasileiros, XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba, SP, 2001, p.91-110.

PEREIRA NETO, J. T. & AZEVEDO, M. A. “ **Aco-compostagem do lixo urbano e lodo de esgotos em leiras sob aeração forçada – considerações gerais**”. In: Reunião Anual da SBPC, 42, Porto Alegre, 1990a. p. 57-60.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J. T. **Compostagem: fundamentos e métodos**. 1º Simpósio sobre compostagem: Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, 18 a 19 de agosto de 2004 – FCA – GEMFER.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**, Processo de baixo custo- ed, Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed, UFV, 2007. 81 p.

SELECCIONES AVÍCOLAS. 2010: Una inovadora tecnología para hacer “AVICOMPOST”. Disponível em: <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2010/12/una-innovadora-tecnologia-para-hacer-avi-compost>. Acesso em: 23 jan. 2019.

ZHANG, H. **Animal Manure Can Raise Soil pH. Production technology**. Department of Plant and Soil Sciences. v.10, n.7, 1998.

### 3. ARTIGO I

## COMPOSTAGEM DE CARÇA DE FRANGO EM BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO

### RESUMO

A compostagem em biorreator aeróbio descontínuo mostra-se como alternativa sustentável quanto ao tratamento ambientalmente adequado dos resíduos aviários, atualmente tratados por métodos rudimentares de compostagem, que tem pouco controle sobre os parâmetros ambientais e contribuindo para os problemas de poluição e contaminação ambiental. Neste trabalho, objetivou-se avaliar e testar a eficiência do biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração forçada trabalhando a potências de 2HP e 0,5HP, para o tratamento de carcaças e cama de frango. O sistema de aeração foi operado as potências de 2HP e 0,5HP, com o intuito de verificar a eficiência do processo de compostagem e otimizar o sistema de aeração do biorreator, e com isto contribuir para solucionar o problema de destinação de resíduos de avicultura. O processo de compostagem foi conduzido em duas etapas. A primeira etapa ocorreu no interior do biorreator, e a segunda etapa em leira a céu aberto. Em todos os experimentos foram atingidas temperaturas termofílicas, superiores a 60°C na fase interna do biorreator. No decorrer do processo de compostagem, o biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 2HP manteve-se próximo aos valores de teor de água recomendados para o final do processo de compostagem (55%). Os valores de pH se enquadraram na faixa recomendada para o final do processo de compostagem (7,5 a 9). Os resultados demonstraram também a redução do conteúdo de sólidos voláteis para os dois sistemas de aeração com potências de 2HP e 0,5HP, entre o início e final do processo. Testes de germinação conduzidos utilizando **Lactuca sativa** como organismo indicador, apontaram a maturação do composto e ausência de fitotoxicidade. Análises de nutrientes foram realizadas quinzenalmente, e foi detectada a presença de metais pesados como o Cd e Pb no decorrer do processo de compostagem.

Palavras-chave: Composto orgânico. Biorreator aeróbio descontínuo. Compostagem. Carcaça de frango. Cama de frango.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A compostagem mostra-se como alternativa sustentável quanto a destinação ambientalmente adequada para o tratamento dos resíduos de cama de frango e carcaças de frango, considerando a estabilização da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e sanitização da massa sólida.

O controle dos parâmetros, no decorrer do processo de compostagem, é de extrema importância para a eficiência do processo, uma vez que a elevação da temperatura é dependente da atividade microbiológica desenvolvida no material a ser compostado, assim como a eliminação e/ou redução dos microrganismos patogênicos também é dependente do desenvolvimento e manutenção de temperaturas em faixas específicas durante o processo.

A escolha do método de compostagem a ser empregado para o tratamento de resíduos orgânicos deve considerar não somente os custos envolvidos e a eficiência, mas também a adoção de sistemas que sejam sustentáveis, que reduzam os impactos ambientais e de saúde relacionados à sanitização.

O aproveitamento do composto final como adubo orgânico, além de melhorar a estrutura do solo, quando a compostagem é desenvolvida de forma correta com o controle dos parâmetros, que afetam o processo, não apresenta riscos às plantas e ao meio ambiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e testar a eficiência do sistema de aeração de um equipamento – biorreator aeróbio descontínuo, desenvolvido para realizar a compostagem em condições aeróbias e fechada, para o tratamento de carcaças e cama de frango. O sistema de aeração foi operado as potências de 2HP e 0,5HP, com o intuito de verificar a eficiência do processo e otimizar o sistema de aeração do biorreator aeróbio descontínuo, e com isto propiciar a redução dos custos operacionais, permitindo o emprego de um processo eficiente e seguro para o tratamento de carcaças e cama de frango por compostagem, contribuindo para solucionar o problema de destinação de resíduos de avicultura.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Local do experimento

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil (DEC), da Universidade Federal de Viçosa (UFV) Viçosa, Minas Gerais. O LESA possui uma área construída de 375m<sup>2</sup> e o mesmo conta com dois laboratórios que foram utilizados para a realização das análises de pH, umidade, sólidos totais, aferição da temperatura e teste de germinação.

Os biorreatores aeróbios descontínuos foram instalados em um galpão construído para proteger os equipamentos das intempéries, localizado no pátio de compostagem do LESA. Este galpão possui a dimensão de 16 m<sup>2</sup> (4x4m), piso de concreto para impermeabilização do solo.

### 3.2.2 Construção dos biorreatores aeróbios descontínuos

Foram construídos dois biorreatores aeróbios descontínuos de forma idêntica em relação aos materiais utilizados, forma física, sistema de alimentação e ingestão de ar (Figura 2 e 3).

A estrutura dos biorreatores foi construída com isopanel (duas placas de alumínio com isopor no meio), sendo utilizadas cantoneiras de alumínio para os fechamentos laterais. As seguintes dimensões foram adotadas: 1m de largura, 1,2 m de altura e 2 m de comprimento, totalizando um volume de 2m<sup>3</sup> para ambos os biorreatores aeróbios descontínuos construídos.

Contudo, cada equipamento foi conectado a ventiladores centrífugos com diferentes potências, uma de 2HP e a outra de 0,5HP, a fim de verificar o desempenho do sistema de aeração para diferentes potências do equipamento.

O fundo dos equipamentos era vazado – fundo falso, com o intuito de facilitar o processo de descarga do material, após a primeira fase do processo de compostagem, que ocorria no interior do biorreator aeróbio descontínuo.

O sistema de aeração dos biorreatores foi construído da seguinte maneira: na parte de trás da estrutura dos equipamentos foram feitos 14 furos com a finalidade de se inserir canos de PVC, com diâmetro ¾”, que funcionam como distribuidores de ar no interior do

biorreator aeróbio descontínuo, de modo a garantir a compostagem aeróbia. Vergalhões de ferro foram utilizados dentro de cada tubo de PVC a fim de evitar que os mesmos sofressem curvaturas devido ao peso do material compostado, conforme pode se observar nas fotos da Figura 1.



**Figura 1.** Vista externa e interna dos tubos de aeração do biorreator aeróbio descontínuo

Com relação à alimentação de ar foram utilizados ventiladores centrífugos de alta pressão SIEMENS modelo 1LA9084-2HA90 e IBRAM potência modelo VCI200B96N7Z01, com potências de 2HP e 0,5HP.

A utilização de ventiladores centrífugos de aeração tem o objetivo de manter ar e com isto oxigênio no interior do biorreator, a fim de que todo o processo de degradação dos resíduos orgânicos ocorra em condições aeróbias.

Os biorreatores aeróbios descontínuos também possuíam um equipamento de automação (“timer”), cuja função era controlar o sistema de aeração, ajustando os intervalos caso necessário, por meio de programação. O mesmo foi colocado na estrutura externa de cada biorreator aeróbio descontínuo, dentro de uma caixa de plástico devidamente fechada, para evitar o acesso ou alteração indevida e não programada no período de aeração definido pela equipe de pesquisa. O “timer” utilizado podia ser ativado no modo manual ou automático (cíclico), de modo que era possível programar períodos diferentes de aeração para os experimentos.

Para aferição da temperatura foram distribuídas 3 sondas localizadas em diferentes alturas, sendo uma no topo, outra no centro e na base de cada equipamento. As leituras foram feitas com auxílio de um termômetro digital, Lutron de modelo TM – 947 SD, e realizada várias vezes durante o dia, antes e após cada aeração, e também para medição da temperatura ambiente.

### 3.2.3 Arranjo experimental

Para a realização do processo de degradação das carcaças de frango, o projeto foi dividido em duas etapas. A primeira etapa ocorreu no interior do biorreator fechado e aeróbio, e a segunda etapa foi realizada no pátio de compostagem do LESA utilizando o material na forma de leira para maturação.

Para a realização dos experimentos foram utilizadas cama de frango e carcaças de frangos, mortos por diversos motivos, provenientes do Aviário Experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (DZO/UFV). A cama de frango foi utilizada com o objetivo de melhorar a relação carbono/nitrogênio. Para a montagem dos experimentos também foram utilizados: i) material de poda, provenientes de manutenção das áreas verdes da UFV, que foram colocados na base do biorreator, a fim de reter líquidos que poderiam ser formados durante o processo de compostagem; e ii) composto orgânico maturado, que foi colocado na última camada do biorreator aeróbio descontínuo, a fim de se evitar emissão de odores no interior do equipamento. As dimensões das leiras e a quantidade de material utilizado para a realização de cada experimento são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dimensões e quantitativos dos materiais utilizados nos experimentos

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Dimensões da leira na fase de maturação	Cama de frango (kg)	Poda (kg)	Carcaça de frango (kg)	Composto maturado (kg)	Total (kg)
1	2HP	3,1 x 1,80 x 1,0	1.020	12	301,5	----	1.333,5
2	0,5HP	2,78 x 1,54 x 0,50	628,5	4,9	225,6	97,4	956,4
3	0,5HP	3,1 x 1,85 x 0,53	724	3,1	111,1	98	936,2
4	0,5HP	2,75 x 1,70 x 1,25	944,7	5,8	138,5	78	1.167
5	0,5HP	2,93 x 1,88 x 1,38	867,5	5,5	117,3	164,9	1.155,2

Os resíduos utilizados para o processo de avaliação da compostagem de carcaças de frango e cama de frango foram caracterizados antes do início dos experimentos, uma vez que, para a garantia da eficiência no processo de compostagem, deve ser realizado o monitoramento de vários parâmetros, como: temperatura, aeração, teor de água, pH, tamanho das partículas e nutrientes. A caracterização dos componentes pode ser observada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Caracterização dos resíduos utilizados antes do processo de compostagem utilizando biorreator aeróbio e descontínuo

Parâmetro	Cama de frango	Carcaça de frango	Resíduo de poda	Composto maturado
Teor de água (%)	56,01	73,44	56,76	48,99
Sólidos voláteis (%)	81,86	91,66	87,43	67,21
Carbono (%)	49,87	53,77	51,31	46,65
Nitrogênio (%)	2,64	8,19	1,93	2,85
C/N	18,86	6,56	26,56	16,31
pH	8,10	6,91	7,59	7,49

Conforme resultados obtidos na caracterização dos resíduos, pode-se observar que o teor de água da cama de frango e do resíduo de poda encontram-se na faixa recomendada na literatura, de 55% (PEREIRA NETO, 2007; KIEHL, 1985; BARROS, 2012), com exceção do composto maturado, demonstrando assim que o teor pode variar de acordo com o material. As carcaças de frango encontram-se na faixa de 70% de teor de água, provavelmente devido ao fato de estarem congeladas.

Em estudo comparativo Gardoni (2019), encontrou o valor de 52,05% de teor de água para a cama de frango e 68,06% para carcaça de frango, corroborando desta forma com a necessidade de corrigir este parâmetro após a homogeneização dos resíduos. Ainda, segundo Gardoni (2019), o valor encontrado para o teor de nitrogênio foi de 7,74% para as carcaças de frango, caracterizando assim como material rico em nitrogênio.

O esquema de montagem pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** Esquema de montagem no interior do biorreator aeróbio descontínuo

Para todos os experimentos foi adotado o formato de leira com seção reta triangular na segunda etapa de maturação, e a correção do teor de água ocorreu na

montagem e desmontagem do equipamento e sempre que necessário conforme as análises realizadas deste parâmetro.

Pode se observar na Tabela 3, as diferentes durações do processo (interior do biorreator aeróbio descontínuo e maturação em leira) para cada experimento realizado ao longo deste trabalho, assim como o período total necessário para a finalização do processo de compostagem.

**Tabela 3.** Duração das fases no processo de compostagem para tratamento realizado em biorreator aeróbio e descontínuo

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Duração da fase ativa no biorreator Idade (dias)	Duração da fase de maturação em leira Idade (dias)	Período total de compostagem Idade (dias)
1	2HP	41	24	65
2	0,5HP	41	28	69
3	0,5HP	36	15	51
4	0,5HP	40	29	69
5	0,5HP	40	25	65

### 3.2.4 Coleta de amostras

A amostragem foi realizada nas duas etapas do processo de compostagem durante a fase de degradação ativa no interior do biorreator aeróbio descontínuo e durante a fase de maturação que ocorreu em leira a céu aberto. Foram coletados materiais de vários pontos de diferentes alturas e profundidades do biorreator e da leira a fim de se obter uma amostra composta representativa do todo. Tanto a compostagem como a coleta seguiram as recomendações da NBR 10.005/2004 (ABNT, 2004) e as recomendações propostas por AZEVEDO (1993) e GARDONI (2013).

### 3.2.5 Monitoramento dos experimentos

O monitoramento dos experimentos foi realizado nas duas fases do processo de compostagem por meio de medições diárias da temperatura e a realização semanal de análises para determinação de teor de água, sólidos voláteis, pH, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NKT). Quinzenalmente foram realizadas análises microbiológicas e realizadas análises de macro e micronutrientes e de metais pesados ao

final do processo de compostagem, ou seja, após a fase de maturação, conforme pode-se observar na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resumo das análises realizadas no decorrer do processo de compostagem

<b>Parâmetro</b>	<b>Frequência</b>
<b>C/N</b>	Semanal
<b>Macro e micronutrientes</b>	Fim da maturação
<b>Metais</b>	Fim da maturação
<b>Coliformes totais</b>	Quinzenal
<b>Escherichia coli</b>	
<b>Temperatura</b>	Diário
<b>pH</b>	Semanal
<b>Teor de água</b>	Semanal
<b>Sólidos Voláteis</b>	Semanal

As análises físico-químicas para determinação do teor de água, pH, sólidos voláteis foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFV. As análises químicas (COT, NKT, macro e micronutrientes e de metais pesados) foram realizadas no Laboratório de Tecido Vegetal do Departamento de Solos da UFV. As análises bacteriológicas dos Experimentos 3, 4 e 5 (realizados no biorreator de ventilador com potência de 0,5HP) foram realizadas no Laboratório de Engenharia Química, Sanitária e Ambiental (ENGEQUISA), localizada na cidade de Juiz de Fora; e o Experimento 1 realizado no biorreator aeróbio descontínuo de ventilador com potência de 2HP e o Experimento 2 no biorreator de ventilador com potência de 0,5HP foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA/UFV).

As determinações do **teor de água** foram realizadas conforme a metodologia de (SOLYON, 1997 apud AZEVEDO, 1993) e CONCEIÇÃO (2012). Para cada amostra, foram realizadas três repetições. A determinação foi baseada na pesagem de aproximadamente 20 g do material em balança analítica e secagem em estufa por um período de 24h a 70°C. Após esse período, o material foi retirado da estufa, resfriado em dissecador por 15 minutos e pesado. Após as pesagens, o teor de água foi determinado pela diferença de peso e o resultado final determinado pela média aritmética das três repetições.

Os **sólidos voláteis** foram determinados segundo a metodologia de APHA (1995), sendo que foram pesados em cadinhos de porcelana, três alíquotas de aproximadamente 2 g de amostra previamente seca em estufa por 24h a 70°C, triturada e peneirada em uma

peneira com malha de 1,18mm. O material pesado foi calcinado em mufla a 550°C por duas horas. Os cadinhos foram então resfriados em dessecador por um período de uma hora e pesados em seguida. O teor de sólidos voláteis foi obtido pela diferença de massa, sendo o resultado final obtido pela média aritmética das três repetições.

Para as **determinações de pH** foram seguidas as metodologias de (CARNES e LOSSIN, 1970 apud AZEVEDO, 1993). As determinações foram obtidas por meio da diluição de 250 ml de água destilada a 10 g da amostra. A solução foi agitada por 3 minutos em agitador magnético com repouso de 5 minutos e filtrada em seguida. As leituras de pH após este período foram realizadas com pHmêtro Mpa210.

As **análises dos metais pesados e nutrientes** foram obtidas por meio da digestão nítrico-perclórica com determinação na absorção atômica. Para a determinação de fósforo (P) foi obtida por colorimetria pelo método do ácido ascórbico. O potássio (K) foi obtido por fotometria de chama. O enxofre (S) foi determinado por turbidimetria. O boro (B) foi determinado por calorimétrica após período em mufla. O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl. A determinação de metais e micronutrientes (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb) foi realizada por digestão nitroperclórica e determinação na absorção atômica. O preparo das amostras no laboratório consistiu na secagem das amostras em estufa de circulação forçada durante 72 horas à temperatura de 70°C. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança, moídas para homogeneização das amostras e acondicionadas em frascos de vidro para posterior análise. O carbono orgânico total foi determinado pelo método de calcinação.

As **análises microbiológicas**, realizadas para presença dos grupos coliformes totais e *Escherichia coli*, foram realizadas por meio do método Colilert. As análises para os indicadores *Salmonella*, *E. coli* e *Streptococcus fecalis* foram seguidas as metodologias Método SM 9213 D e SM 9230 (APHA/AWWA/WPC, 2012) e CETESB L5 218 (CETESB, 1993).

Para **aferição da temperatura** foram adotados pontos (topo, centro e base) tanto do biorreator quanto das leiras de compostagem, de forma que represente as diferentes temperaturas na massa de resíduos. Foi utilizado um termômetro digital Lutron de modelo TM – 947 SD para monitorar a temperatura ao longo do dia. Também foram utilizadas 3 sondas termopar fixadas tanto na leira de compostagem quanto no biorreator.

Para a **determinação de fitotoxicidade e maturação de composto** foram realizados testes de germinação, utilizando a **Lactuca sativa** (alface) como organismo indicador. Os testes foram conduzidos na segunda etapa do processo de compostagem,

com o objetivo de se verificar a ocorrência de fitotoxicidade e maturação do composto, conforme metodologia adaptada de ZUCCONI et. al. (1981). Foram preparados 10 g de composto diluído em 100 mL de água destilada, posteriormente agitada por 30 minutos em agitador magnético, à temperatura ambiente, repouso por 15 minutos e submetida à filtração. Placas de petri foram forradas com uma fina camada de algodão, e foram pipetados com 6 ml de extrato aquoso. Para os ensaios controle (branco), foram pipetados 6 mL de água destilada. Cada placa recebeu um total de 15 sementes de **Lactuca sativa** uniformemente distribuídas. Os ensaios foram feitos em triplicata, sendo o resultado relativo ao número de sementes germinadas (NSG) e medições do comprimento da raiz das sementes germinadas (LR) coletados após 7 dias de ensaio. A porcentagem relativa de germinação de sementes (RSG) foi calculada de acordo com o número de sementes germinadas nos ensaios com utilização do extrato aquoso (NSG,E) e número de sementes germinadas nos ensaios controle (NSG,C), conforme a Equação 1. A porcentagem relativa de comprimento das raízes (RRG) foi calculada pela relação entre o comprimento médio das raízes nos ensaios com utilização de extrato aquoso (LR,E) e o comprimento médio das raízes nos ensaios controle (LR,C), conforme a Equação 2. A partir dos resultados anteriores, foi determinado o Índice de Germinação (IG), conforme a Equação 3.

$$\text{RSG (\%)} = (\text{NSG,E} / \text{NSG,C}) * 100 \text{ Equação (1)}$$

$$\text{RRG (\%)} = (\text{LR,E} / \text{LR,C}) * 100 \text{ Equação (2)}$$

$$\text{IG (\%)} = (\text{RSG} * \text{RRG}) / 100 \text{ Equação (3)}$$

### 3.2.6 Desmontagem dos experimentos

A desmontagem do biorreator aeróbio descontínuo foi realizada após a queda da temperatura em valores próximos a 40°C. O material estabilizado no biorreator foi posto para maturação em forma de leira a céu aberto no pátio de compostagem do LESA.

Na Figura 3 é possível observar a diferença do teor de água presente no material após a fase no interior do biorreator aeróbio descontínuo.



**Figura 3.** Vista lateral do composto durante a desmontagem do biorreator aeróbio descontínuo

Após a desmontagem, o material foi pesado e montada a leira para iniciar a segunda etapa do processo de compostagem. Após o término da segunda etapa do processo, o material foi peneirado e novamente pesado.

Após a desmontagem do biorreator aeróbio descontínuo e a formação de leira de maturação, foram realizados dois reviramentos ao longo da segunda etapa do processo, até a sua finalização, quando a temperatura média da leira encontrava-se abaixo dos 40°C, aproximando-se da temperatura ambiente.

### 3.2.7 Finalização do processo de compostagem

Após verificada a maturação do composto pela realização dos testes de germinação, foi realizado o peneiramento do material e pesagem final. A foto da Figura 4 representa a leira com o material já compostado, ou seja, após a finalização do processo de compostagem.



**Figura 4.** Leira após a finalização do processo de compostagem

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Variação de temperatura

Em média, após 24 dias de processo na segunda etapa em leira a céu aberto houve um decréscimo da temperatura no final da etapa de maturação, a temperatura atingiu valores menores que 40°C, havendo assim o término do processo de compostagem.

Decorridos 40 dias em média no interior do biorreator aeróbio descontínuo, a temperatura atingiu valores abaixo de 40°C e o material foi então retirado do biorreator e encaminhado ao pátio de compostagem a céu aberto para iniciar a segunda etapa de maturação do composto.

As temperaturas atingidas nos experimentos realizados pelo sistema de aeração de 0,5HP, no decorrer do processo de compostagem, foram maiores que as temperaturas atingidas no sistema de aeração de 2HP, conforme pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Temperaturas médias aferidas nos diferentes pontos no interior do biorreator aeróbio descontínuo

Exp.	Sistema de aeração (potência)	Temperatura média da fase ativa no biorreator (°C)		
		Topo	Centro	Base
1	2HP	54,30	52,14	48,73
2	0,5HP	60,23	56,09	53,73
3	0,5HP	59,16	64,06	57,30
4	0,5HP	58,28	61,57	59,67
5	0,5HP	57,36	54,52	59,31

O aumento da temperatura na fase ativa no decorrer do processo no interior do biorreator aeróbio descontínuo pode ter sido resultado das condições ideais do teor de água e do controle da aeração na fase ativa no interior do biorreator aeróbio descontínuo.

Observou-se uma queda dos valores de temperatura após a correção do teor de água na etapa do biorreator aeróbio descontínuo, seguida de aumento após a correção. Assim como na etapa de maturação, também foi observada uma queda nos dias em que foram realizados os reviramentos e correção do teor de água, seguido pelo aumento da temperatura.

Logo após o decaimento (ou decréscimo) da temperatura para valores menores que 40°C, foi constatado o término da etapa no interior do biorreator aeróbio descontínuo

e realizada a desmontagem do equipamento para iniciar a segunda etapa, de maturação, em leira a céu aberto.

No término da etapa do biorreator aeróbio descontínuo, após a desmontagem dos experimentos, foi realizado ao menos um reviramento para uniformizar o material assim como a correção do teor de água, de forma a garantir a continuação da atividade microbiológica necessária ao processo de compostagem. Segundo Azevedo (1993), após o material ser levado ao pátio de compostagem em local aberto, a aeração natural submetida por seu manuseio acarreta no aumento da temperatura para valores próximos ou superiores a 50°C, mostrando que o processo de compostagem não ocorre de forma uniforme. Portanto, é recomendado ao menos um reviramento manual no decorrer do processo de maturação a fim de obter uma maior uniformidade do material em termos de decomposição da matéria orgânica, teor de água e sanitização com composto final.

No 2º dia da fase de maturação, o material do experimento 1 (realizado no sistema de aeração com potência de 2HP) atingiu a temperatura máxima de 71°C no topo, sendo necessário um reviramento, em que foi observada uma queda na temperatura seguida de aumento para a faixa acima de 50°C. Temperaturas acima de 70°C e mantidas por longo período, apesar de sanitizar o material, restringem o número de microrganismos decompositores (KIEHL, 2004).

Na Tabela 6 são apresentados dados relativos à duração da fase ativa dos experimentos. Para o Experimento 1, realizado no biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração com potência de 2HP, a temperatura termofílica foi atingida no dia 4, e o restante dos experimentos, realizados com sistema de aeração com potência de 0,5HP (Experimentos 2, 3, 4 e 5), atingiram a fase no 2º dia, em média.

Para todos os experimentos a temperatura média atingida na fase ativa no biorreator ultrapassou os 50°C.

**Tabela 6.** Duração da fase ativa dos experimentos no biorreator aeróbio descontínuo, temperatura média e temperatura máxima atingida no interior do biorreator

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Duração da fase ativa no biorreator (dias)	Temperatura média da fase ativa no biorreator (°C)	Temperatura máxima da fase ativa no biorreator	
				Dia	Temperatura (°C)
1	2HP	32	51,73	14	61,1
2	0,5HP	36	56,68	7	68,2
3	0,5HP	25	60,17	4	68,8
4	0,5HP	38	59,84	7	68
5	0,5HP	38	57,06	14	67,7

A finalização do processo de compostagem foi considerada quando as temperaturas não mais ultrapassavam 40°C, e se aproximavam da temperatura ambiente.

### 3.3.2 Teor de água

O aumento da atividade biológica aumenta os valores de temperatura e conseqüentemente diminui os teores de água dentro do biorreator, fazendo com que houvesse a necessidade de se realizar correções no teor de água durante o processo uma vez que este é um fator limitante do processo de compostagem.

Notou-se que o controle do teor de água adequado aumenta a eficiência do processo de compostagem e está diretamente ligado com a variação da temperatura.

No decorrer do experimento realizado no biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 2HP, o comportamento do teor de água manteve-se mais estável e próximo aos valores recomendados na literatura, na faixa de 55% por Pereira Neto (1996).

O Experimento 1 realizado no biorreator com ventilador centrífugo com potência de 2HP iniciou a fase no biorreator com valor em torno de 55%. Na 4ª semana de processo, houve uma queda significativa do teor de água (38,39%), sendo corrigida imediatamente e não influenciando no desempenho do processo, e finalizando o processo de compostagem com teor de água próximo a 55%.

As correções do teor de água foram realizadas de acordo com a necessidade dos experimentos. A quantidade utilizada para correção do teor de água variou, uma vez que cada material possui características distintas.

Houve uma queda na 5ª semana na fase do biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, para o Experimento 2 (36,82%), corrigida de modo a não comprometer o processo no interior do biorreator.

Para os demais experimentos realizados no biorreator com ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, não houveram quedas significativas no decorrer da fase no biorreator.

Notou-se um aumento no teor de água ao final da segunda etapa de maturação. Não houveram precipitações no mês em que estava sendo realizado o Experimento 2, portanto, pode ter sido realizada uma correção não programada, o que explica o término do processo com valores acima de 65%. Não houve exalação de mau odor e comprometimento do processo, uma vez que a etapa de degradação ativa já havia sido encerrada e o composto estava no final da fase de maturação.

No término do Experimento 4, houve acréscimo no teor de água, finalizando o processo com valor em torno de 65%. O aumento pode ter relação com o período intenso de precipitação nos últimos dias (62 a 65) do processo de compostagem.

Observou-se que os dois experimentos que apresentaram os teores de água mais elevados ao final do processo de compostagem, também foram os experimentos com maior tempo de duração, ambos com 69 dias. Os resultados obtidos da variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem podem ser observados na Tabela 6.

Segundo Pereira Neto (2007), valores com excesso de teor de água podem tornar o composto anaeróbio, devido a ocupação dos espaços vazios prejudicando a oxigenação. Gases serão gerados e haverá a atração de vetores, e conseqüentemente, a produção de lixiviados, tornando o local comprometido do ponto de vista sanitário e ambiental. Valores menores que 40% restringem a atividade microbiana de degradação; e conseqüentemente aumentam o período de compostagem (CONCEIÇÃO, 2012).

Portanto, pode-se inferir que o teor de água depende da eficácia da aeração.

A Tabela 7 mostra a variação do teor de água ao longo do processo de compostagem.

**Tabela 7.** Variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem

<b>Experimento</b>	<b>Sistema de aeração (potência)</b>	<b>Teor de água no início da fase no biorreator (%)</b>	<b>Teor de água ao final da fase do biorreator (%)</b>	<b>Teor de água ao final do processo de compostagem (%)</b>
1	2HP	57,54	54,99	53,80
2	0,5HP	63,99	61,67	69,54
3	0,5HP	49,45	65,06	51,82
4	0,5HP	66,89	57,52	67,16
5	0,5HP	62,84	61,26	52,64

Assim como Gardoni (2013), foi evidenciado que o teor de água influencia na velocidade da degradação das carcaças durante todo o processo de compostagem, e por conta de as carcaças estarem congeladas na montagem do experimento no interior do biorreator, a água advinda favoreceu na manutenção dos valores na faixa ideal de 55%.

O controle realizado no interior do biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 2HP foi mais eficaz, ficando na faixa de 55% em média ao final do processo de compostagem, enquanto os valores médios obtidos para este parâmetro no sistema de aeração de 0,5HP foram próximos a 60% no término do processo de compostagem.

### 3.3.3 pH

O pH indica o grau de estabilização e maturação do material, espera-se que ao final do processo de compostagem, o pH esteja na faixa alcalina entre 7,5 e 9.

Sanchuki (2011), em seu trabalho com compostagem de cama de frango, relata que valores iniciais de pH básico para os experimentos podem ser explicados pela presença de compostos nitrogenados presentes nas excretas das aves.

A Tabela 8 apresenta o resumo dos valores de pH obtidos no decorrer do processo de compostagem.

**Tabela 8.** Resumo dos valores de pH no decorrer do processo de compostagem

Experimento	Sistema de aeração (potência)	pH		
		Início do processo na fase do biorreator	Final do processo na fase do biorreator	Fim do processo de compostagem
1	2HP	9,1	8,9	9,2
2	0,5HP	7,3	9,3	8,2
3	0,5HP	8,9	8,9	7,4
4	0,5HP	8,1	9,2	7,7
5	0,5HP	8,1	9,1	8

De acordo com os resultados obtidos nos experimentos realizados nos biorreatores com sistema de aeração de 2HP e 0,5HP, os valores do pH não sofreram grande variação ao longo do processo de compostagem se enquadrando na faixa recomendada pela literatura (7,5 a 9). Os valores de pH ao longo do processo de compostagem podem ser característicos dos tipos de resíduos dispostos na fase no interior do biorreator.

Ao comparar os resultados obtidos ao longo do processo de compostagem como mostra a Tabela 7, é possível concluir que os experimentos se enquadraram na faixa recomendada para o final do processo de compostagem, corroborando assim com os resultados obtidos por Gardoni (2013) em seu estudo utilizando biodigestor aeróbio para a compostagem de carcaças de frango.

### 3.3.4 Teor de sólidos voláteis

As reduções percentuais de sólidos voláteis ao longo do processo de compostagem, no início e final da fase no biorreator aeróbio descontínuo e ao final do processo, são apresentadas na Tabela 9, assim como o período total do processo de compostagem.

A redução dos sólidos voláteis representa a degradação sofrida pela matéria orgânica no decorrer do processo de compostagem, e indica, portanto, que houve transformação em material humificado. Portanto, conforme esperado, os teores dos sólidos apresentaram uma redução ao longo do processo de compostagem.

A compostagem da cama de frango, somada à carcaça de frango é um método eficiente quanto à redução de sólidos totais e eliminação de patógenos (ORRICO Jr. et

al., 2010). Os sólidos voláteis indicam a evolução da degradação da matéria orgânica, sendo que seu decréscimo indica a eficiência do processo de estabilização dos resíduos.

O menor valor observado ao final do processo, 39,92%, refere-se ao Experimento 3, realizado no sistema de aeração com potência de 0,5HP, e que teve o menor tempo de duração no processo de compostagem.

**Tabela 9.** Resumo das reduções percentuais dos teores de sólidos voláteis na fase do biorreator aeróbio descontínuo e ao final do processo de compostagem e o período total do processo

<b>Experimento</b>	<b>Sistema de aeração (potência)</b>	<b>Período total de compostagem Idade (dias)</b>	<b>Redução de SV na fase do biorreator</b>	<b>Redução de SV ao final do processo de compostagem</b>
<b>Experimento 1</b>	2HP	65	19,23%	26,96%
<b>Experimento 2</b>	0,5HP	69	16,58%	21,22%
<b>Experimento 3</b>	0,5HP	51	18,75%	24,60%
<b>Experimento 4</b>	0,5HP	69	11,75%	22,35%
<b>Experimento 5</b>	0,5HP	65	31,96%	20,09%

O experimento 5 realizado no interior do biorreator de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, apresentou redução percentual maior na fase do biorreator do que comparado a redução obtida ao final do processo de compostagem. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de que no dia da desmontagem da leira, o material não havia sido homogeneizado devidamente e, portanto, apresentando valores correspondentes somente a cama de frango, sem os resíduos da carcaça de frango.

### 3.3.5 Nutrientes e Metais

Segundo Pereira Neto (2007), a intensidade da atividade microbológica dos microrganismos decompositores nos processos de compostagem está relacionada à diversificação e concentração dos nutrientes.

Na Tabela 10 são apresentados os valores obtidos no monitoramento realizado para metais e para nutrientes ao final do processo de compostagem nos experimentos realizados, ou seja, ao final da fase de maturação.

**Tabela 10.** Monitoramento dos metais e nutrientes ao final do processo de compostagem nos biorreatores aeróbios descontínuos.

		ANÁLISES REALIZADAS													
Experimento	Dias	P	K	Ca	S	Mg	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni	Fe	B
		dag/kg					mg/kg								
Biorreator 1	65	3,0	2,9	6,5	1,3	<1	610	642	99,3	<1	11,9	6,7	8,0	3271	45,2
Biorreator 2	69	2,2	2,6	3,9	<1	<1	474	475	73,2	<1	9,8	<1	3,3	2726	37,2
Biorreator 3	51	1,5	1,6	6,9	<1	<1	387	452	62,5	<1	5,6	1,3	5,0	5497	14,9
Biorreator 4	69	2,4	2,2	<1	<1	1,1	669	646	99,9	4,2	7,3	1,3	17,6	3081	54,3
Biorreator 5	65	1,9	2,5	3,9	<1	<1	491	488	70,8	3,7	12,7	5,1	16,6	7076	34,2

De acordo com os resultados obtidos, a variação de cada elemento quando comparados os experimentos, podem ter ocorrido devido a diferente quantidade de materiais utilizados para a montagem de cada um dos experimentos.

Assim como Gardoni (2013), foi verificada a presença de metais pesados como o Cd e o Pb nas análises do composto final, podendo ser atribuída a contaminação do material por algum tratamento que estava sendo realizado no pátio de compostagem do LESA.

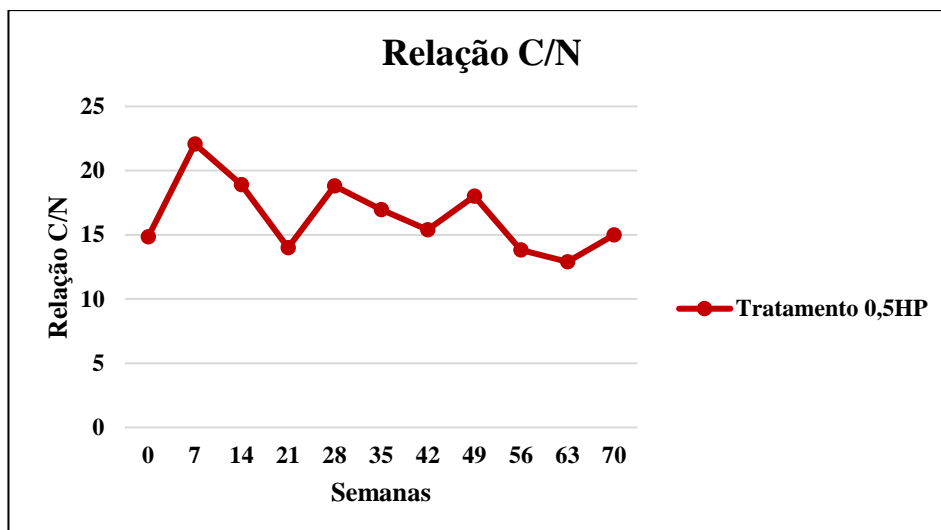
### 3.3.6 Relação C/N

Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos para a realização da atividade metabólica, o nitrogênio e carbono são considerados limitantes da compostagem uma vez que a concentração e sua disponibilidade podem vir a afetar o processo.

A função principal do carbono é fornecer a energia para os microrganismos, e o nitrogênio é necessário na reprodução protoplasmática dos microrganismos. Sendo assim, deve-se realizar o controle da relação carbono/nitrogênio, pois o carbono em excesso aumentará o período de compostagem e o nitrogênio em excesso ocorrerá perda devido à volatilização da amônia e emissão de odor.

A relação entre o carbono e o nitrogênio determina a velocidade de degradação da massa de resíduos.

De acordo com a Figura 5, são apresentados os dados médios correspondentes à relação C/N para os experimentos realizados no biorreator de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, no decorrer do processo de compostagem.



**Figura 5.** Monitoramento da relação C/N no decorrer do processo de compostagem para o sistema de aeração de potência de 0,5HP

Para os experimentos realizados no biorreator com ventilador centrífugo de 0,5HP os dados médios correspondentes à relação C/N iniciaram o processo na faixa recomendável, havendo uma elevação na 2ª semana do processo de compostagem no interior do biorreator.

A análise de C/N foi realizada somente no término do processo de compostagem no biorreator de ventilador centrífugo com potência de 2HP, aos 70 dias, com valor de 11,75.

Gardoni (2019) obteve valores de acordo com os limites estabelecidos e recomendados para os processos de compostagem em seu estudo de carcaças de frango em biodigestor aeróbio e descontínuo.

Conforme relatado por Paiva (2011), a faixa da relação C/N recomendada para resíduos que envolvem carcaça de animais situa-se na faixa de 10 a 20:1, por conta da grande concentração de nitrogênio presente nas carcaças.

Orrico Junior et al. (2010), em seu trabalho com compostagem de cama de frango e carcaça de aves, obtiveram C/N de 11,12 no início de processo utilizando composteira e 12,43 no término do processo.

### 3.3.7 Determinação de fitotoxicidade e maturação do composto

Este teste se mostra importante, como forma de avaliar o grau de maturação do composto apenas com base no decréscimo da temperatura, sem haver efeitos fitotóxicos quando o substrato é incorporado ao solo e sem apresentar riscos às plantas.

Para a **determinação de fitotoxicidade e maturação de composto** foram realizados testes de germinação conduzidos ao final da segunda etapa de compostagem, utilizando a **Lactuca sativa** (alface) como organismo indicador, com o objetivo de se verificar a ocorrência de fitotoxicidade e maturação do composto, conforme metodologia adaptada de ZUCCONI et. al. (1981).

Na Tabela 11 são representados os valores do índice de germinação (IG) obtidos para os experimentos realizados no biorreator de ventilador centrífugo de potência de 2HP e 0,5HP em ensaio conduzido com **Lactuca Sativa**.

**Tabela 11.** Índice de Germinação (IG) relativo ao ensaio conduzido com **Lactuca sativa**

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Ensaio	Idade da leira (dias)	IG (%)	Interpretação
<b>Biorreator 1</b>	2HP	Controle Solução Aquosa	65	108	Não fitotóxico; composto maturado
<b>Experimento</b>	0,5HP	Ensaio	Idade da leira (dias)	IG (%)	Interpretação
<b>Biorreator 2</b>	0,5HP	Controle Solução Aquosa	69	98	Não fitotóxico; composto maturado
<b>Biorreator 3</b>	0,5HP	Controle Solução Aquosa	51	83	Não fitotóxico; composto maturado
<b>Biorreator 4</b>	0,5HP	Controle Solução Aquosa	69	119	Não fitotóxico; composto maturado
<b>Biorreator 5</b>	0,5HP	Controle Solução Aquosa	65	149	Não fitotóxico; composto maturado

Conforme os resultados mostrados na Tabela 11, é possível verificar que o composto tratado no biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 2HP apresentou maturação e ausência de fitotoxicidade aos 65 dias, conforme o IG superior a 81% (não fitotóxico; composto maturado).

Os experimentos realizados no biorreator com ventilador centrífugo com potência de 0,5HP também apresentaram maturação e ausência de fitotoxicidade ao final da 2ª

etapa de compostagem e finalização do processo, conforme o IG 98% para Experimento 2, 83%, Experimento 3, Experimento 4 com IG 119% e Experimento 5 com IG 149%.

Conforme os resultados apresentados, é possível verificar a maturação dos compostos e a ausência de fitotoxicidade ao final da segunda etapa do processo de compostagem, indicado pelo IG superior a 100%, em que os ensaios conduzidos com uso de solução aquosa se desenvolveram de forma mais eficiente em comparação com os ensaios conduzidos com água destilada.

### 3.3.8 Análises microbiológicas

Na Tabela 12 são apresentados os valores relativos à determinação de coliformes totais e *Escherichia coli*, que foram os microrganismos de interesse deste trabalho.

O Experimento 1 foi realizado no biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 2HP e o Experimento 2 foi realizado no biorreator aeróbio descontínuo com ventilador centrífugo com potência de 0,5HP,

**Tabela 12.** Resultado das análises microbiológicas dos experimentos realizados nos sistemas de aeração com potências de 0,5HP e 2HP

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Microbiológica (NMP/100 MI)			
		Data	Idade	CT	E. coli
1	2HP	Montagem	0	2,7 x 10 <sup>2</sup>	1,6 x 10 <sup>2</sup>
		Início	15	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
		Desmontagem	41	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
		Término	65	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
2	0,5HP	Montagem	0	PRESENÇA	AUSÊNCIA
		Início	15	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
		Desmontagem	41	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
		Término	65	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA

Método Substrato cromogênico (o-nitrofenil-β-D-galactopiranosídeo), com fluorescência para *E. coli* (APHA/AWWA/WPC, 2012).

A análise microbiológica demonstrou a boa eficiência da compostagem, sendo a manutenção da alta temperatura, responsável pela eliminação dos microrganismos patogênicos no decorrer do processo de compostagem.

Para o Experimento 2 realizado no biorreator aeróbio de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, os resultados obtidos apenas demonstraram a ausência/presença dos coliformes totais e *E. coli*. Pode-se observar reduções de 100% na sanitização do composto para os dois processos de tratamento, assim como a ocorrência da fase

termofílica no decorrer do processo de compostagem, corroborando assim para os resultados obtidos neste estudo.

Orrico Junior et al. (2010) relataram em seu estudo com resíduos de carcaças e cama de frango por compostagem, eficiência de 100% na eliminação de microrganismos patogênicos. Esta redução é de grande importância, uma vez que o produto final terá como destino o retorno ao solo na forma de fertilizante orgânico.

### **3.4 COMPARAÇÃO ENTRE O BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO COM POTÊNCIA DE 2HP E 0,5HP**

Os experimentos estudados foram submetidos ao sistema de aeração do biorreator aeróbio descontínuo operado as potências de 2HP e 0,5HP, de modo a proporcionar a comparação da eficiência dos dois sistemas.

Foi observado que as temperaturas atingidas pelos experimentos realizados pelo sistema de aeração de 0,5HP, no decorrer do processo de compostagem, foram maiores que as temperaturas atingidas no sistema de aeração de 2HP. No entanto, a fase termofílica foi constatada no decorrer do processo de compostagem para todos os experimentos realizados. A ocorrência da fase termofílica é desejada, uma vez que sob altas temperaturas ocorrem as principais transformações da matéria orgânica e a eliminação de organismos patogênicos.

Em relação aos parâmetros microbiológicos, os Experimentos 1 e 2, submetidos aos dois sistemas de aeração, com potências de 2HP e 0,5HP, apresentaram eficiência na eliminação de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Quanto ao teor de água, os Experimentos 1 e 2 sofreram quedas significativas na 4ª e 5ª semana na fase do biorreator, sendo este parâmetro corrigido, de modo não comprometer o restante do processo. Foi possível evidenciar que as quedas não influenciaram o restante do experimento que ocorreu no interior do biorreator aeróbio descontínuo. Os Experimentos 2 e 4, realizados no sistema de aeração com potência de 0,5HP, finalizaram o processo de compostagem com teores acima de 65%, e obtiveram o período de duração do processo maiores em comparação com os outros experimentos.

Quanto aos sólidos voláteis, o sistema de aeração operado a potência de 2HP apresentou redução de 27% ao final do processo de compostagem, enquanto os experimentos operados a potência de 0,5HP apresentaram redução média de 22%. Apesar de menores, os valores obtidos nos experimentos realizados no sistema de aeração com potência de 0,5HP também obtiveram resultados satisfatórios e indicaram a eficiência do processo de compostagem.

Todos os experimentos realizados apresentaram maturação do composto ao final do processo de compostagem e ausência de fitotoxicidade, indicado pelo IG superior a 100%.

O sistema de aeração apresentou resultados satisfatórios quanto a eficiência do processo de compostagem, e a economia de energia proporcionada pela utilização do

ventilador centrífugo de menor potência (245W) foi de 1/5 em relação ao ventilador centrífugo com potência de 2HP (1,5Kw).

### 3.5 CONCLUSÃO

Conforme a avaliação dos parâmetros estudados, tanto o biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP como o ventilador centrífugo com potência de 2HP apresentaram resultados positivos no tratamento de carcaças e cama de frango por meio da compostagem realizada em equipamento fechado, aeróbio e descontínuo.

A taxa de aeração empregada no estudo foi satisfatória para os dois sistemas, garantindo o controle da temperatura e do teor de água ao longo do processo de compostagem. A temperatura apresentou resultados similares, mantidos na faixa de 45°C a 65°C, conforme recomendado pela literatura, assim como o teor de água cuja correção foi realizada sempre que necessário para a continuidade do processo.

Durante a retirada de material na fase do biorreator aeróbio descontínuo, foi possível verificar que a decomposição das carcaças se fez de forma efetiva pois apenas pequenos pedaços das mesmas foram encontradas na base do biorreator.

Um dos fatores de grande relevância no processo de transformação da matéria orgânica é a temperatura. De uma maneira geral, quando a matéria orgânica é decomposta o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos se dissipa, porém, em condições controladas, trabalhando-se com grandes massas, o calor desenvolvido se acumula e a temperatura alcança valores elevados. Estas devem ser controladas pelo reviramento e/ou pela mudança de configuração geométrica da leira (diminuição da altura e aumento da área superficial).

Na desmontagem do equipamento foi possível verificar a decomposição uniforme das carcaças, sobrando apenas pequenos pedaços localizados na base do biorreator.

O experimento realizado no sistema de aeração com potência de 2HP obteve valores mais próximos ao recomendado no processo de compostagem (55%), enquanto os valores obtidos no sistema de aeração com potência de 0,5HP finalizaram o processo com teor de água médio próximo a 60%.

O pH se enquadrou na faixa recomendada (7,5 a 9). Diferenças no valor podem ser atribuídas as características dos tipos de resíduos utilizados para a montagem dos experimentos na fase do biorreator.

Desta forma, o biorreator aeróbio descontínuo mostrou-se eficiente na degradação das carcaças e cama de frango, aos 40 dias no interior do equipamento, em média.

O biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com a potência de 0,5 HP apresentou resultados favoráveis em relação a eficiência, para o tratamento por compostagem de resíduos aviários (carcaça e cama de frango), além de reduzir a demanda de energia necessária e promover a reciclagem e o aproveitamento destes resíduos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR. 19a. Ed., 1985.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR, 22a. Ed., 2012.

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 230p.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte. Ed Tessitura, 2012, 424p

CONCEIÇÃO, P. S. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização**, 2012. 73 f. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GARDONI, R.A.P. **Estudo da Biodegradação de Carcaças de Frango em Biodigestor Aeróbio Descontínuo**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 92p.

GARDONI, R. A. P., AZEVEDO, M A., CANDIDO, M. Z. (2019). **Estudo da biodegradação de carcaças de aves através do processo de compostagem em biodigestores fechados descontínuos**, Engenharia Sanitária e Ambiental, 24(3):425-429. 2019.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173p.

ORRICO Jr, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS Jr., J. (2010). **Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves**, Engenharia Agrícola Jaboticabal, 30(3). 538-545. 2010.

PAIVA, E.C.R. **Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas**. (Tese de doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011. 111p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**, Processo de baixo custo- ed, Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed, UFV, 2007. 81 p.

SANCHUKI, C. E. **Estudo da compostagem acelerada de cama de frango**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZUCCONI, F., FORTE, M., MONAC, A., BERITODI, M. **Biological evaluation of compost maturity**. *Biocycle*.v.22(4), p.27 – 29, 1981

#### 4. ARTIGO II

### **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIORREATOR AERÓBIO DESCONTÍNUO NA ELIMINAÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS NO TRATAMENTO DE CARÇA DE FRANGO**

#### **RESUMO**

Devido ao grande volume de resíduos aviários gerados, o tratamento destes resíduos pelo processo de compostagem contribui para minimizar os impactos ambientais e de saúde; assim como contribuir com a destinação ambientalmente adequada para os resíduos da avicultura. Neste trabalho, foi avaliada a eficiência de um sistema de aeração em biorreator aeróbio descontínuo, operado às potências de 2HP e 0,5HP, com o intuito de propiciar o emprego de um processo eficiente e seguro para o tratamento de carcaças e cama de frango por compostagem, e de garantir as condições necessárias para a redução e/ou eliminação de organismos patogênicos e na disseminação de doenças. A ocorrência da fase termofílica (45°C a 65°C) foi essencial para a redução de patógenos conforme os organismos indicadores verificados neste trabalho (*Streptococcus fecalis*, *Escherichia coli* e *Salmonella*). Os resultados demonstram a redução dos microrganismos na fase do biorreator, com possível contaminação verificada na etapa de maturação em leira a céu aberto.

Palavras-chave: Resíduos aviários. Biorreator aeróbio. Compostagem. Carcaça de frango. Cama de frango. Organismos patogênicos.

## 4.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de processos de compostagem em ambientes aeróbios fechados é de grande relevância quanto a destinação ambientalmente adequada para os resíduos gerados na avicultura.

Dentre os resíduos agroindustriais, a cama de frango se destaca pela quantidade produzida e conteúdo de nutrientes, podendo ser utilizado como condicionante e fertilizando do solo, desde que seja realizada a estabilização da matéria orgânica e desinfecção prévia do material.

A cama de frango consiste em um material absorvente (formada por casca de arroz, serragem de madeira ou sabugo de milho triturado), distribuído sobre o piso dos galpões, utilizado para a proteção de aves confinadas e é uma importante fonte de contaminação para a propagação de doenças. A microbiana da cama é extremamente diversificada por conta da mistura de excrementos, secreções, penas, descamações de pele e restos de ração que são desperdiçadas dos comedouros.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), foram abatidas 5,84 bilhões de aves. Segundo Ortolani e Brito (2001), estima-se que 2,6 Kg de cama de aviário sejam produzidos por ave alojada. Porém, segundo Bellaver E Palhares (2003), este valor é um pouco menor, sendo estimado em 1,3 Kg de cama por ave. Respectivamente, seriam cerca de 7,6 e 15,2 bilhões de Kg de resíduos produzidos no último ano, ou seja, uma quantidade bastante alta, aliados à mortalidade média de aves, estimada em 3,5% que ocorre durante a produção (PERDOMO, 2001).

Devido ao grande volume gerado da cama de frango e a dificuldade por parte dos geradores na produção avícola desde a publicação e entrada em vigor da Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2004) que proibiu a comercialização da cama de frango como suplemento para alimentação bovina, a destinação adequada deste material tem sido uma preocupação constantes para os produtores, desta forma o reaproveitamento deste material se torna uma importante alternativa para sua destinação final.

A compostagem é um processo biológico aeróbico utilizado no tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus, obtido através de processo controlado. O processo é desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos que, nas fases principais, apresentam degradação ativa (necessariamente termofílica) e, posteriormente maturação (PEREIRA NETO, 2007).

A compostagem pode ser considerada alternativa viável à destinação ambientalmente adequada de resíduos aviários (carcaças e cama de frango), além de contribuir para minimizar os impactos ambientais sanitários e de saúde e ser um método eficiente e sem grandes custos operacionais para a eliminação não só de larvas e ovos de vetores, como ovos de helmintos, sementes de ervas daninhas, e na inativação de microrganismos patogênicos (PEREIRA NETO, 2007).

Enquanto a eliminação de patógenos na massa de compostagem é obtida durante a fase termofílica, a sua estabilização é atingida somente por meio do subsequente estágio de maturação, eliminando patógenos remanescentes e melhorando a qualidade do produto final (KIEHL, 1985).

Os organismos indicadores de contaminação fecal têm sido utilizados mundialmente, sendo os mais comumente utilizados para tal finalidade, as bactérias do grupo coliforme, indicando se a água ou resíduo sólido foi poluído por fezes e em decorrência representa potencialidade de transmitir doenças (VON SPERLING, 1996).

Os organismos mais utilizados para esta finalidade são as bactérias do grupo coliforme, sendo os principais indicadores de contaminação fecal os coliformes totais (CT), os coliformes fecais (CF), preferencialmente denominados de coliformes termotolerantes e a *Escherichia coli* (EC) (VON SPERLING, 1996).

A *Escherichia coli* é a principal bactéria do grupo coliformes fecais (termotolerantes), sendo abundante nas fezes humanas e de animais. A *Escherichia coli* dá a garantia de contaminação exclusivamente fecal, sendo por este motivo uma tendência de se utilizar predominantemente a *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal (VON SPERLING, 1996).

Dentre os microrganismos mais comuns encontram-se as bactérias do gênero *Salmonella* ssp.

A compostagem pode ser definida como um processo biológico aeróbio para a decomposição ou estabilização da matéria orgânica utilizada para o tratamento dos resíduos orgânicos, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos que realizam a degradação ativa, que ocorre na fase ativa (45 a 65°C), posteriormente a maturação que ocorre em uma faixa menor que 45°C (PEREIRA NETO, 2007). Ainda segundo o autor, várias espécies participam do processo de compostagem, como as bactérias, os fungos, os protozoários e também os actinomicetos. Desta forma, favorecer e garantir as condições ambientais necessárias dos microrganismos irá auxiliar a decomposição da matéria orgânica.

As bactérias são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, gerando liberação de calor na massa de compostagem (KIEHL, 1985). As bactérias desenvolvem-se rapidamente na fase ativa do processo de compostagem e necessitam de teor de água.

Os fungos são microrganismos aeróbios obrigatórios bastante eficientes na fase termofílica e na degradação de materiais como celulose e lignina (KIEHL, 1985).

Já os actinomicetos representam um grupo bem heterogêneo de microrganismos com habilidade de se reproduzirem em ambientes com baixos teores de umidade e altas temperaturas, desempenhando um papel importante na degradação de substâncias não decompostas por bactérias e fungos (KIEHL, 1985). Desenvolvem-se principalmente na fase de maturação do processo de compostagem.

Quanto à temperatura, os microrganismos podem ser classificados como psicrófilos; aqueles que são ativos a temperaturas de 10-20°C; mesófilos que são ativos a temperaturas entre 20 a 45°C; e termófilos ativos a temperaturas de 45 a 65°C (PEREIRA NETO, 2007). Logo após a pilhagem do material, durante a fase mesofílica inicia-se o processo degradativo dos compostos imediatamente degradáveis, e a energia, liberada na forma de calor, fica retida na massa de compostagem. Como resultado ocorrerá o aumento da temperatura. Subsequentemente, com as condições favoráveis do processo (nutrientes, teor de água, aeração, etc.) a colônia mesofílica multiplica-se aumentando a atividade de degradação, e a temperatura atinge rapidamente a fase termofílica (45°C). Assim que a temperatura atingir valores acima de 40°C, a atividade microbiológica mesofílica começa a ser suprida pela termofílica. O pH passa para a faixa alcalina. Bactérias termofílicas, fungos e actinomicetos multiplicam-se, tão logo a temperatura atinja a faixa de 55 a 60°C. Essa faixa denomina-se fase ativa de degradação constitui-se como principal mecanismo de eliminação de microrganismos patogênicos. Se não for controlada, a temperatura da massa de compostagem atingirá facilmente a faixa de 80°C, o que será prejudicial ao processo, o que ocorre tão logo a temperatura se mantenha acima de 65°C. Exaurida a fonte de carbono mais imediata, a temperatura no interior da massa de compostagem começa a declinar para valores inferiores de 60°C e começa a resfriar. Nesta fase, os microrganismos mesofílicos, principalmente os fungos e actinomicetos, situados nas zonas periféricas, reinvaem a massa de compostagem recomeçando um ataque aos compostos mais resistentes. Os microrganismos mesofílicos tornam-se predominantes, embora a temperatura continue decrescendo até igualar-se à ambiente. Após a temperatura atingir 40°C, o material deve ser posto para maturar. Durante a maturação, os fungos, e principalmente os actinomicetos tornam-se o grupo dominante, dando

continuidade à degradação das substâncias mais resistentes, como a celulose e a lignina. Nesta fase haverá a produção de Húmus (KIEHL, 1985).

Os resíduos animais e vegetais são igualmente atacados e seus constituintes serão decompostos em vários estágios, diferentes intensidades e por uma população distinta de microrganismos que vão se alternando e predominando em um meio controlado de acordo com as características do substrato. De acordo com Pereira Neto (2007), primeiramente serão atacados os compostos de mais fácil degradação, como os açúcares, os amidos e aminoácidos. Em seguida, ocorrerá a degradação de certas hemiceluloses e proteínas. As substâncias de mais difícil degradação, como óleos e gorduras irão se decompor mais lentamente por microrganismos específicos.

A realização de um segundo estágio na compostagem de carcaça de aves é imprescindível para garantir a eliminação de agentes patogênicos (COSTA et al., 2006), assim como a fase termofílica é fundamental na redução do número de microrganismo patogênicos e de disseminação de doenças.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e testar a eficiência do sistema de aeração de em biorreator aeróbio, fechado e descontínuo, operado as potências de 2HP e 0,5HP desenvolvido, com o intuito de desenvolver uma metodologia por meio de um processo eficiente e seguro para o tratamento de carcaças e cama de frango por compostagem, e de garantir as condições necessárias para a eliminação de organismos patogênicos, assim como na disseminação de doenças. A redução dos patógenos ao final do processo é de extrema importância, uma vez que o composto poderá retornar ao solo devido ao alto potencial fertilizante, sem apresentar riscos de contaminação ambiental.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira fase do processo de compostagem é considerada o fator crítico para a biossegurança, uma vez que o manejo incorreto pode promover as condições ideais para o desenvolvimento dos agentes patogênicos e a disseminação de doenças por vetores (COSTA et al., 2006). Ainda segundo os autores, se bem manejado na primeira etapa do processo de compostagem no interior do biorreator, o material transferido para o pátio de compostagem encontra-se menos agressivo e a realização de revolvimentos aliado ao controle da temperatura e do teor de água na faixa adequada, garantem o sucesso do processo. Portanto, a realização de um segundo estágio na compostagem de carcaça de aves é imprescindível para garantir a eliminação de agentes patogênicos e a produção de um composto sanitariamente seguro.

### 4.2.1 Montagem

Para a realização dos experimentos foram utilizadas carcaças de frangos mortos por diversos motivos provenientes do Aviário Experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (DZO/UFV), assim como a cama de frango como material estruturante, além da utilização de resíduo de poda de manutenção das áreas verdes da UFV, colocadas na base do biorreator e em volta dos tubos de aeração, a fim de reter líquidos que poderiam ser formados durante o processo de compostagem e para evitar o entupimentos dos tubos destinados a aeração no interior do equipamento. Foi utilizada também uma fina camada de composto maturado na última camada do biorreator, a fim de se evitar emanação de odores no interior do equipamento, e em sua base para retenção de líquidos que poderiam vir a ser formados no decorrer do processo.

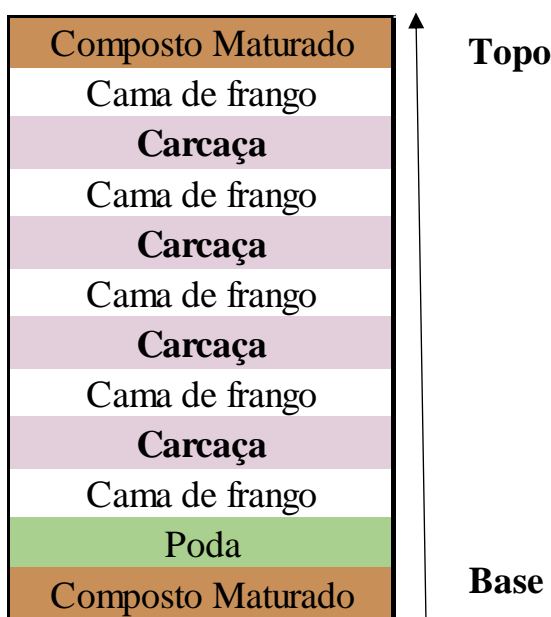
Assim como as carcaças de frango utilizadas para a montagem dos experimentos, a cama de frango também foi fornecida pelo aviário Experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizada no próprio campus.

A fase ativa do processo de compostagem foi realizada no interior do biorreator, cuja média foi de 39 dias para os Experimentos 3, 4 e 5, realizados no biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração com potência de 0,5HP. As camadas de resíduos foram distribuídas em camadas intercaladas no interior do equipamento. Após a desmontagem, o material foi homogeneizado e realizada a correção manual do teor de

água para iniciar a fase de maturação que foi realizada no pátio de compostagem com média de 23 dias para a finalização do processo de tratamento.

A taxa de aeração utilizada nos experimentos foi de 5 minutos de funcionamento do aerador a cada 3 horas, operando, portanto, em modo intermitente.

O esquema de montagem dos biorreatores seguiu a ordem conforme a Figura 6.



**Figura 6.** Esquema de montagem do material no interior do biorreator aeróbio descontínuo

#### 4.2.2 Monitoramento dos experimentos

O monitoramento dos parâmetros interferentes do processo de compostagem foi realizado nas duas etapas, do biorreator e de maturação, por meio da determinação dos seguintes parâmetros: temperatura, teor de água, sólidos voláteis, pH, *Streptococcus fecalis*, *Escherichia coli* e *Salmonella*. As determinações foram realizadas a partir de amostragem composta, e a temperatura foi medida diariamente junto ao topo, centro e base da massa nas duas fases do processo de compostagem, por meio de sondas termopar e termômetro digital Lutron, modelo TM – 947 SD. Para proporcionar as condições ideais de degradação microbiológica, a temperatura foi mantida entre 40°C e 65°C no interior do biorreator, e abaixo de 65°C na segunda fase de maturação.

As análises **microbiológicas** para os indicadores *Salmonella*, *E. coli* e *Streptococcus fecalis* foram seguidas as metodologias de Método Qualitativo e Quantitativo para Isolamento e Identificação de *Salmonella* – CETESB L5. 218/SM, Determinação Quantitativa pela Técnica de Membrana Filtrante SM 9213D, Introdução sobre técnicas

de ensaio SM 9230A e Determinação Quantitativa pela Técnica da Membrana Filtrante SM 9230C respectivamente, para os Experimentos 3, 4 e 5 realizados em biorreator de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP, conforme Tabela abaixo (13).

**Tabela 13.** Parâmetros avaliados e métodos de determinação adotados no estudo

<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia</b>
<b>Teor de água</b>	3 alíquotas de 20 g de amostra, secas em estufa a $70\pm 5$ °C por 24 h (SOLYON, 1997 apud AZEVEDO, 1993)
<b>Teor de sólidos voláteis</b>	3 alíquotas de 2 g de amostra previamente secas em estufa a $70\pm 5$ °C por 24 h, submetidas a calcinação em forno do tipo mufla a $550\pm 5$ °C por 2 h (APHA, 1995)
<b>pH em H<sub>2</sub>O</b>	10 g de amostra diluídas em 250 mL de água destilada, submetidas a 3 min de agitação, 5 min de descanso e filtragem (CARNES e LOSSIN, 1970 apud AZEVEDO, 1993)
<b>Streptococcus fecais</b>	Introdução sobre técnicas de ensaio SM 9230A e Determinação Quantitativa pela Técnica da Membrana Filtrante SM 9230C (APHA, 2012)
<b>Escherichia coli</b>	Determinação Quantitativa pela Técnica de Membrana Filtrante SM 9213D (APHA, 2012)
<b>Salmonella</b>	Método Qualitativo e Quantitativo para Isolamento e Identificação de Salmonella Cetesb L5. 218 (CETESB, 1993)

## **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.3.1 Análises microbiológicas**

A fim de se obter maior confiabilidade dos resultados, a partir do Experimento denominado 3 (3, 4 e 5 realizados no biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração de 0,5HP), foram enviadas amostras para Laboratório particular localizado em Juiz de Fora – MG.

Conforme recomendado pela literatura (PEREIRA NETO, 2007), os melhores indicadores para a compostagem são as bactérias do grupo coliformes, principalmente os *Streptococcus fecalis*, *Escherichia Coli* e *Salmonella*. A partir do terceiro experimento realizado no sistema de aeração com potência de 0,5HP, estes organismos foram o interesse do trabalho.

Conforme representado na Tabela 14, seguem os resultados referentes às análises microbiológicas.

**Tabela 14.** Resultado das análises microbiológicas dos experimentos 3, 4 e 5 realizados em biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 0,5HP.

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Data	Idade	Microbiológicas (UFC/g)		
3	0,5HP			<b>Streptococcus fecais</b>	<b>E. coli</b>	<b>Salmonella</b>
		Montagem	0	5,4X10 <sup>4</sup>	<1	AUSÊNCIA
		Início	15	1,8X10 <sup>3</sup>	<1	AUSÊNCIA
		Interior do Biorreator	30	1X10 <sup>3</sup>	<1	AUSÊNCIA
		Leira	36	1,2X10 <sup>6</sup>	60	AUSÊNCIA
		Término	51	2,9X10 <sup>5</sup>	<1	AUSÊNCIA
4	0,5HP			<b>Streptococcus fecais</b>	<b>E. coli</b>	<b>Salmonella</b>
		Montagem	0	1,2X10 <sup>5</sup>	2,9X10 <sup>5</sup>	AUSÊNCIA
		Início	15	<1	<1	AUSÊNCIA
		Interior do Biorreator	30	2,0X10 <sup>3</sup>	<1	AUSENCIA
		Leira	41	<1	<1	AUSÊNCIA
		Término	69	1,3 X10 <sup>6</sup>	<1	AUSÊNCIA
5	0,5HP			<b>Streptococcus fecais</b>	<b>E. coli</b>	<b>Salmonella</b>
		Montagem	0	1,3X10 <sup>3</sup>	<1	AUSÊNCIA
		Leira	45	4,5X10 <sup>8</sup>	1,0X10 <sup>5</sup>	AUSÊNCIA
		Término	65	1,9 X10 <sup>6</sup>	5,5X10 <sup>6</sup>	AUSÊNCIA

Método SM 9213 D, SM 9230 (APHA/AWWA/WPC, 2012) e CETESB L5 218 (CETESB, 1993)

Os resultados de contaminação de coliformes totais e *E. coli*, na fase do biorreator aeróbio descontínuo reduziram em relação à concentração inicial, para os Experimentos 3 e 4 realizados no biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração de 0,5HP, indicando assim a eficiência do biorreator no tratamento de carcaça e cama de frango para a eliminação destes patógenos. Foram verificados também valores superiores ao recomendado na fase de maturação, por conta de uma contaminação do material no pátio de compostagem.

A análise bacteriológica para o Experimento denominado 5 realizado no biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração de 0,5HP foi realizada somente após 4 dias de desmontagem do equipamento. Por este motivo, o valor referente à análise esteve

acima do valor limite para microrganismos patogênicos e certamente houve a sua contaminação quando iniciada a segunda etapa de maturação em leira no pátio a céu aberto.

Gardoni (2013), utilizando um biodigestor aeróbio descontínuo, operado com três taxas de aeração diferentes verificou a ocorrência da fase termofílica durante todo o processo no biodigestor. Observou também a ocorrência de coliformes totais e termotolerantes presentes até o final do experimento, assim como o aumento na concentração de microrganismos ao final da maturação que pode estar associado às condições de temperatura e teor de água no pátio de compostagem assim como a recontaminação da massa do composto.

Paiva (2008), na realização de trabalho de compostagem com aeração forçada positiva no tratamento de carcaça de frango por meio de leiras estáticas aeradas obteve eficiência na redução e, ou eliminação de coliformes termotolerantes e *Salmonella* em seu estudo e observou também a recontaminação da massa de resíduos na leira amostrada com idade de 45 dias. Segundo o autor, a não homogeneidade do material proporciona temperaturas não sanitizantes em regiões periféricas da leira, e após a correção do teor de água, há a migração dos microrganismos para o interior da massa de compostagem havendo a sua contaminação.

Para efeito de avaliação da eficiência do biorreator aeróbio descontínuo no processo de compostagem no tratamento de resíduos aviários, foram utilizados os valores de referência contidos na resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006).

#### **4.3.2 Variação de temperatura**

Na Tabela 15 pode-se observar dados dos experimentos com relação a duração da fase ativa, as médias obtidas durante a fase ativa e a temperatura máxima obtida na fase ativa de compostagem.

**Tabela 15.** Duração da fase ativa dos experimentos no biorreator aeróbio descontínuo, temperatura média da fase ativa no biorreator, temperatura máxima atingida na fase ativa no interior do biorreator e duração do processo de compostagem.

Exp.	Sistema de aeração (potência)	Duração da fase ativa no biorreator (dias)	Temperatura média da fase ativa no biorreator (°C)	Temperatura máxima da fase ativa no biorreator		Duração do período de compostagem (dias)
				Dia	Temperatura (°C)	
3	0,5HP	25	60,17	4	68,8	51
4	0,5HP	38	59,84	7	68	69
5	0,5HP	38	57,06	14	67,7	65

Na fase do biorreator aeróbio descontínuo foram observadas temperaturas médias acima de 55°C para todos os experimentos.

Condições termofílicas foram observadas no Experimento 3 entre os dias 1 e 25, com temperatura máxima obtida de 68,8°C, junto ao topo, aos 4 dias de processo na fase do biorreator aeróbio descontínuo. A temperatura média no biorreator neste dia foi de 67,5°C. Para o Experimento 4, a temperatura máxima foi de 68°C, aos 7 dias de processo, junto ao topo. A temperatura média no biorreator neste dia foi de 63,7°C. No decorrer do Experimento 5, a temperatura máxima observada foi de 67,7°C, aos 14 dias de processo no topo, com temperatura média neste dia de 66,3°C.

A desmontagem do biorreator aeróbio descontínuo foi realizada após a queda da temperatura em valores próximos a 40°C, faixa em que se inicia a fase mesofílica de maturação do composto. O material estabilizado no biorreator aeróbio descontínuo foi posto para maturação em forma de leira a céu aberto no pátio de compostagem do LESA. No dia seguinte após a desmontagem, houve um aumento da temperatura para todos os experimentos, comprovando a existência de atividade biológica na fase de maturação. Houve redução da temperatura ao longo do processo, com valores próximos à temperatura ambiente, indicando assim a finalização do processo.

A ocorrência da fase termofílica no processo de compostagem é de extrema importância, uma vez que sob altas temperaturas irão ocorrer as principais transformações da matéria orgânica e a eliminação e/ou redução de microrganismos patogênicos, larvas de insetos, sementes e ervas daninhas.

### 4.3.3 Teor de água

Na Tabela 16 são apresentados os dados referentes a variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem.

**Tabela 16.** Variação do teor de água no decorrer do processo de compostagem dos Experimentos 3, 4 e 5.

Exp.	Sistema de aeração (potência)	Teor de água no início da fase do biorreator (%)	Teor de água ao final da fase do biorreator (%)	Teor de água ao final do processo de compostagem (%)	Duração do período de compostagem (dias)
3	0,5HP	49,45	65,06	51,82	51
4	0,5HP	66,89	57,52	67,16	69
5	0,5HP	62,84	61,26	52,64	65

O teor de água foi controlado de acordo com os valores recomendados na literatura, na faixa de 55% (PEREIRA NETO, 1996).

O experimento 4 apresentou valor próximo a 65% no término do processo de compostagem, assim como foi o experimento com maior período de duração, de 69 dias.

Gardoni (2013) evidenciou que o teor de água influencia na velocidade de degradação das carcaças no decorrer do processo de compostagem (fase do biodigestor aeróbio descontínuo e de maturação).

### 4.3.4 Teor de sólidos voláteis

O resumo contendo as reduções do teor de sólidos voláteis no processo de compostagem pode ser observado na Tabela 17.

**Tabela 17.** Resumo das reduções percentuais dos teores de sólidos voláteis na fase do biorreator aeróbio descontínuo, ao final do processo de compostagem e duração do processo de compostagem dos Experimentos 3, 4 e 5

Experimento	Sistema de aeração (potência)	Redução de SV na fase do biorreator (%)	Redução de SV ao final do processo de compostagem (%)	Duração do processo de compostagem (dias)
Experimento 3	0,5HP	18,75%	24,60%	51
Experimento 4	0,5HP	11,75%	22,35%	69
Experimento 5	0,5HP	31,96%	20,09%	65

O Experimento 3 apresentou o maior percentual de redução ao longo do processo de compostagem (fase do biorreator aeróbio descontínuo e de maturação), porém na fase ativa (biorreator), o Experimento 5 obteve o maior percentual.

Em seu trabalho com injeção de ar para o tratamento de carcaças de frango, Paiva (2008), encontrou reduções de 23,9% na concentração de SV, após 45 dias de compostagem em leiras com cama de frango e bagaço de cana-de-açúcar.

#### 4.3.5 pH

Na Tabela 18 é representada a variação dos valores de pH durante os experimentos.

**Tabela 18.** Resumo do pH no início da fase do biorreator aeróbio descontínuo, ao final da fase do biorreator e ao final do processo de compostagem para os Experimentos 3, 4 e 5

Exp.	Sistema de aeração (potência)	pH			Duração do processo de compostagem (dias)
		Início da fase do biorreator	Fim da fase do biorreator	Fim do processo de compostagem	
3	0,5HP	8,9	8,9	7,4	51
4	0,5HP	8,1	9,2	7,7	69
5	0,5HP	8,1	9,1	8	65

Não houveram grandes variações para os valores de pH para os experimentos realizados no sistema de aeração com potência de 0,5HP.

De acordo com Gardoni (2013), os altos valores obtidos no processo de compostagem podem ser característicos dos tipos de resíduos dispostos no biodigestor aeróbio descontínuo.

#### 4.4 CONCLUSÃO

O controle da temperatura é o principal parâmetro quanto à sanitização do material. A similaridade do comportamento da temperatura no decorrer do processo de compostagem, aliado ao teor de água e a aeração fornecida no decorrer do trabalho foram de extrema importância para o resultado obtido ao final dos experimentos quanto à eliminação dos organismos patogênicos, uma vez que as condições perfeitas de temperatura foram satisfatórias. As condições termofílicas foram observadas em média entre os dias 2 e 33, com temperatura média acima de 50°C no período, na fase do biorreator aeróbio descontínuo para os experimentos 3, 4 e 5 realizados no sistema de aeração com potência de 0,5HP.

A realização dos revolvimentos do material e a realização da correção do teor de água realizados na segunda fase de maturação do composto realizada no pátio de compostagem em forma de leira garantiram a sanitização e o sucesso na eliminação dos organismos patogênicos.

A maior redução percentual dos sólidos voláteis no decorrer da fase ativa do processo no interior do biorreator aeróbio descontínuo, somada à aeração e controle do teor de água na faixa recomendada (55%), indicam a eficiência no processo da compostagem e degradação da matéria orgânica.

Não houve detecção de *Salmonella* sp. no decorrer dos experimentos realizados ao longo deste trabalho.

A utilização de tratamentos considerados primitivos como a composteira, que não garantem as condições necessárias quanto à destinação correta dos resíduos e o monitoramento dos parâmetros ambientais torna de suma importância o estudo de equipamentos como o biorreator, que proporciona o monitoramento dos parâmetros ambientais de forma eficiente e a destinação adequada dos resíduos em estudo.

Apesar da possível contaminação no pátio de compostagem, a compostagem de carcaças de frango demonstrou ser eficiente para o tratamento dos resíduos aviários, e eliminação dos organismos patogênicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR. 19a. Ed., 1985.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR, 22a. Ed., 2012.

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 230p.

BELLAVER, C. A. e PALHARES, C. P. **Uma Visão Sustentável sobre a utilização da cama de aviário**. *Avicultura Industrial*, n.06, p.14-18, 2003.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 8, de 25 de março de 2004**. Proíbe em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal. Oficial da União, Brasília, p. 5, 26 mar. 2004<sup>a</sup>.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, p. 14, 18 set. 2003.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 375/2006, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgotos gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

CETESB. **Salmonella - Isolamento e identificação - Método de Ensaio**. Norma Técnica CETESB L5.218, p.42, nov. 1993.

COSTA, M. S.S. M., COSTA, L. A. M., PELÁ, A., SILVA, C. J. S, DECARLI, L. D., MATTER, U. F. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaças de aves**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, vol. 10, n. 3.2006. p.692-698.

GARDONI, R.A.P. **Estudo da Biodegradação de Carcaças de Frango em Biodigestor Aeróbio Descontínuo**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 92p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: **Estatística da Produção Pecuária**. Consultado em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp\\_2017\\_mar.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2017_mar.pdf)

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

ORTOLANI, E. L.; BRITO, L. A. B. **Enfermidades causadas pelo uso inadequado de “cama-de-frango” na alimentação de ruminantes**. Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária– Suplemento Técnico, n.22, 2001.

PAIVA, E. C. R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 163p.

PERDOMO, C. C. **Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte**. In: A produção animal na visão dos brasileiros, XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba, SP, 2001, p.91-110.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**, Processo de baixo custo- ed, Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed, UFV, 2007. 81 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. p. 243.

## 5. CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÃO

O biorreator aeróbio descontínuo com sistema de aeração com potência de 0,5HP apresentou resultados satisfatórios no tratamento de carcaças e cama de frango por meio da compostagem em ambiente fechado, em relação à eficiência do processo de compostagem.

Durante a retirada de material, foi possível verificar que a decomposição das carcaças se fez de forma efetiva pois apenas pequenos pedaços das mesmas foram encontrados na parte de baixo (base) do biorreator aeróbio descontínuo. Desta forma, o biorreator aeróbio descontínuo mostrou-se eficiente na degradação das carcaças de frango, em média, aos 40 dias no interior do equipamento.

A taxa de aeração foi satisfatória, garantindo o controle da temperatura e do teor de água necessários à eficácia do processo de compostagem. Foi possível verificar a eliminação de organismos patogênicos no interior do biorreator (Experimentos 1 e 2), apesar da possível contaminação no pátio de resíduos para a segunda etapa de maturação, conforme verificado nos resultados dos Experimentos 3, 4 e 5. Além disso, por meio dos testes de germinação ao final do processo de compostagem, foi possível verificar a não ocorrência de fitotoxicidade, e a viabilidade da utilização do biorreator aeróbio descontínuo para o tratamento de carcaça e cama de frango.

Quanto ao teor de água, o controle realizado no interior do biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 2HP foi mais eficaz em relação ao sistema de aeração com potência de 0,5HP. A manutenção da temperatura aliada a correção do teor de água garante as condições necessárias para eliminação de organismos patogênicos, assim como a eficiência do processo de compostagem.

Em relação à redução de sólidos voláteis, o experimento realizado no biorreator aeróbio descontínuo de ventilador centrífugo com potência de 2HP, apresentou melhor resultado, porém, os valores obtidos para o sistema de aeração com potência de 0,5HP também indicaram a eficiência do processo de compostagem.

O pH se enquadrou na faixa recomendada (7,5 a 9) para o final do processo de compostagem. Diferenças no valor podem ser atribuídas às características dos tipos de resíduos utilizados para a montagem dos experimentos na fase do biorreator aeróbio descontínuo.

A substituição do ventilador centrífugo com potência de 0,5HP além de propiciar uma economia de energia considerável, mostrou-se capaz de tratar os resíduos aviários

de forma tão eficiente quanto o ventilador centrífugo com potência de 2HP, nas mesmas condições de taxa de aeração e no mesmo equipamento.

Com isso, podemos considerar que a compostagem de carcaças de frango por meio do biorreator aeróbio descontínuo pode se tornar uma forma de eliminação de resíduos aviários, bem como seu tratamento no próprio local de geração. Dessa forma, pode-se evitar problemas de saúde pública (proliferação vetores de doenças) e ambientais (contaminação de águas superficiais e solo por chorume, entre outros).

Recomenda-se a realização de testes de metais pesados no local de origem dos resíduos, assim como a realização de experimentos com a recarga contínua de resíduos a fim de se representar a real rotina enfrentada nas granjas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal (2016) Relatório Anual. Consultado em 30 de outubro de 2017, em: [http://abpa-br.com.br/storage/files/versao\\_final\\_para\\_envio\\_digital\\_1925a\\_final\\_abpa\\_relatorio\\_anual\\_2016\\_portugues\\_web1.pdf](http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf)

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR. 19a. Ed., 1985.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR, 22a. Ed., 2012.

ADELI, A., SHAKLE, M. W., TEWOLDE, H., SISTANI, K. R., ROWE, D. E. Nutrient Dynamics from Broiler Litter Applied to No-Till Cotton in Upland Soil. **Agronomy Journal**, v.100.n.3.p. 564-570, 2008.

AVIMIG. **Números da Avicultura**. Fonte: UBABEF/ABPA- APINCO – Elaboração Avimig, agosto de 2017. Consultado em 06 de novembro de 2017 em <http://www.avimig.com.br/avicultura.php#.WgmZLManHIU>

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 230p.

AZEVEDO, MÔNICA DE ABREU. **Processos de compostagem**. 16 mar. 2017, 02 jun. 2017. Notas de Aula.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte. Ed Tessitura, 2012, 424p

BELLAVER, C. A. e PALHARES, C. P. **Uma Visão Sustentável sobre a utilização da cama de aviário**. Avicultura Industrial, n.06, p.14-18, 2003.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 8, de 25 de março de 2004**. Proíbe em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal. Oficial da União, Brasília, p. 5, 26 mar. 2004.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, p. 14, 18 set. 2003.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 375/2006, de 29 de agosto de 2006.** Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgotos gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

CARLESSO, W. M., RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. **Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem.** Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, 2011. p.105-110.

CETESB. **Salmonella - Isolamento e identificação - Método de Ensaio.** Norma Técnica CETESB L5.218, p.42, nov. 1993.

CONCEIÇÃO, P. S. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização,** 2012. 73 f. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

COSTA, M. S.S. M., COSTA, L. A. M., PELÁ, A., SILVA, C. J. S, DECARLI, L. D., MATTER, U. F. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaças de aves.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, vol. 10, n. 3.2006. p.692-698.

GARDONI, R.A.P. **Estudo da Biodegradação de Carcaças de Frango em Biodigestor Aeróbio Descontínuo.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 92p.

GARDONI, R. A. P., AZEVEDO, M A., CANDIDO, M. Z. (2019). **Estudo da biodegradação de Carcaças de aves através do processo de compostagem em biodigestores fechados descontínuos,** Engenharia Sanitária e Ambiental, 24(3):425-429. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: **Estatística da Produção Pecuária.** Consultado em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp\\_2017\\_mar.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2017_mar.pdf)

JUCÁ, J. F. T.; CASTILHOS JÚNIOR, A. B.; MARIANO, M. O. H. **Política de Resíduos Sólidos: Proposta de um plano estratégico para o desenvolvimento de políticas estaduais de gestão integrada de resíduos sólidos.** Água & Resíduos. Revista da Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária Ambiental, 5, 26-39, 2007.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173p.

LIMA, L. M. Q. **LIXO: Tratamento e Biorremediação.** São Paulo. Hemus, 1995. p.265.

McGRATH, S., MAGUIRE, R. O., TACY, B. F., KIKE, J. H. **Improving soil nutrition with poultry litter application in low input forage systems.** Agronomy Journal, 102, 48-54, 2009.

ORRICO Jr, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS Jr., J. (2010). **Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves**, Engenharia Agrícola Jaboticabal, 30(3). 538-545. 2010.

ORTOLANI, E. L.; BRITO, L. A. B. **Enfermidades causadas pelo uso inadequado de “cama-de-frango” na alimentação de ruminantes**. Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária– Suplemento Técnico, n.22, 2001.

PAIVA, E. C. R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 163p.

PAIVA, E.C.R. **Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas**. (Tese de doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011. 111p.

PERDOMO, C. C. **Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte**. In: A produção animal na visão dos brasileiros, XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba, SP, 2001, p.91-110.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J. T. & AZEVEDO, M. A. **“Aco-compostagem do lixo urbano e lodo de esgotos em leiras sob aeração forçada – considerações gerais”**. In: Reunião Anual da SBPC, 42, Porto Alegre, 1990a. p. 57-60.

PEREIRA NETO, J. T. **Compostagem: fundamentos e métodos**. 1º Simpósio sobre compostagem: Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, 18 a 19 de agosto de 2004 – FCA – GEMFER.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**, Processo de baixo custo- ed, Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed, UFV, 2007. 81 p.

SANCHUKI, C. E. **Estudo da compostagem acelerada de cama de frango**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SELECCIONES AVÍCOLAS. 2010: **Una innovadora tecnología para hacer “AVICOMPOST”**. Disponível em: <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2010/12/una-innovadora-tecnologia-para-hacer-avi-compost>. Acesso em: 23 jan. 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. p. 243.

ZHANG, H. **Animal manure can raise soil ph. production technology**. Department of Plant and Soil Sciences. v.10, n.7, 1998.

ZHANG, F. S., YAMASAKI, S., KIMURA, K. **Waste ashes for use in agricultural production: I. Liming effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals**. The Science of the Total Environment, 284, 215-225, 2002.

ZUCCONI, F., FORTE, M., MONAC, A., BERITODI, M. **Biological evaluation of compost maturity.** *Biocycle.v.22(4)*, p.27 – 29, 1981.

## ANEXO A

**Tabela 19 (a-d).** Análises de variância para os parâmetros de pH, temperatura, teor de água e sólidos voláteis. \*F a 5% de probabilidade.

**Tabela 19(a).** ANOVA para o parâmetro pH.

<i>F.V.</i>	<i>G.L</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>	<i>Signif.</i>
HP	1	0,6564	0,6564	4,135	0,0555
Resíduo	20	3,1745	0,1587		
C.V. ( / )	4,546				

**Tabela 19(b).** ANOVA para o parâmetro Temperatura.

<i>F.V.</i>	<i>G.L</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>	<i>Signif.</i>
HP	1	74,3728	74,3728	0,697	*****
Resíduo	20	2134,5460	106,7273		
C.V. ( / )	21,203				

**Tabela 19(c).** ANOVA para o parâmetro Teor de água.

<i>F.V.</i>	<i>G.L</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>	<i>Signif.</i>
HP	1	178,2962	178,2962	7,572	0,0123
Resíduo	20	470,9403	23,5470		
C.V. ( / )	8,631				

**Tabela 19(d).** ANOVA para o parâmetro Sólidos Voláteis.

<i>F.V.</i>	<i>G.L</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>	<i>Signif.</i>
HP	1	156,4622	156,4622	4,562	0,0453
Resíduo	20	685,9916	34,2996		
C.V. ( / )	8,596				