

PRISCILA SORAIA DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE DA CAMA DE FRANGO POR
PROCESSOS AERÓBIOS DE COMPOSTAGEM VISANDO SUA
REUTILIZAÇÃO**

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*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFRV

T

C744a
2012

Conceição, Priscila Soraia da, 1986-

Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização / Priscila Soraia da Conceição. – Viçosa, MG, 2012.
xiv, 73f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Mônica de Abreu Azevedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 66-73.

1. Resíduos orgânicos. 2. Ave - Criação. 3. Compostagem.
4. Biodegradação. 5. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc).
6. Compostos orgânicos. 7. Saúde ambiental. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

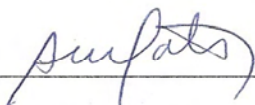
CDD 22. ed. 628.1684

PRISCILA SORAIA DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE DA CAMA DE FRANGO POR
PROCESSOS AERÓBIOS DE COMPOSTAGEM VISANDO SUA
REUTILIZAÇÃO**

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: 20 de janeiro de 2012.



Prof.: Antonio Teixeira de Matos



Prof.: Maria Lúcia Calijuri

(Coorientadora)



Prof.: Mônica de Abreu Azevedo

(Orientadora)

*A Deus, que tudo tornou possível,
A meus pais, Benedito e Mirian, à Tata e ao Fabiano,
Dedico.*

*“Ela acreditava em anjo e, porque acreditava, eles existiam.”
(Clarice Lispector)*

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, por ter me concedido a vida e possibilitado cada uma de minhas vitórias.

Ao meu pai, Benedito, e à minha mãe, Mirian, por serem o alicerce de todas as conquistas! Agradeço por todos os sacrifícios e abdições! Aplausos a vocês!

À minha irmã, Patrícia, pelo carinho, amizade, incentivo, presença, companheirismo, por todos os conselhos e ajudas, enfim, por se fazer essencial em minha vida.

Ao Fabiano, pelo amor, apoio em momentos difíceis, paciência, incentivo, confiança e companheirismo, demonstrados a cada dia, em todos os seus gestos.

Também meus sinceros agradecimentos, à minha sogra, Dona Raimunda, meu sogro, Seu Francisco, meus cunhados e concunhados, Rai, Francis, Fabrício, Anderson e Juli, e sobrinhos, Natan e Julinha, pelo carinho.

À Universidade Federal de Viçosa, por mais essa oportunidade.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos durante todo o mestrado.

À Professora Mônica de Abreu Azevedo, pela orientação, ensinamentos, incentivo, confiança e principalmente pela amizade.

À Professora Maria Lúcia Calijuri pela coorientação, conselhos e ensinamentos.

Ao Professor Eduardo Antonio Gomes Marques pela coorientação e toda ajuda.

Ao Professor Antonio Teixeira de Matos, por me autorizar a realizar análises no Laboratório de Qualidade da Água e por aceitar participar da banca de defesa desta dissertação.

À Empresa Rio Branco Alimentos S/A. - PIF PAF, por ter possibilitado visitas aos produtores integrados e permitido a realização de análises, em especial ao Gladstone Brumano, pela disponibilidade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil, que há tanto me acolheram. Em especial ao Seu Geraldinho “Capelão”, Seu Agostinho, André e Seu Julinho, pela amizade e todo trabalho prestado.

Aos funcionários do Aviário Experimental, em especial ao Adriano, por fornecer a cama de frango e toda ajuda.

Aos laboratoristas Seu Simão, Seu Brás, Seu Domigos e Seu Itamar, pelos trabalhos prestados e ensinamentos passados.

Ao Zé Antônio, pelo auxílio em todas as análises realizadas no LESA, pelo termômetro digital e pela adaptação na metodologia de análise de amônia. Ao Seu Zé, pela importante ajuda na concepção e construção dos sistemas de acionamento da bomba e de umedecimento e pelo socorro, mesmo aos fins de semana.

Aos amigos do SIGEO – Laboratório de Sistemas de Informações Geográficas, em especial a Luna, pelo apoio. Aos amigos do programa, Claudinha, Cristiane, Tiago e Rafael, pela amizade e convivência.

E finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Avicultura	4
3.1.1 Avicultura e meio ambiente	5
3.1.2 Cama de frango	7
3.1.2.1 Características físicas, químicas e biológicas da cama de frango	8
3.1.2.2 Tratamentos aplicados à cama de frango visando sua reutilização	10
3.2 Processo de compostagem	11
3.2.1 As fases do processo de compostagem	12
3.2.2 Microbiologia do processo	12
3.2.3 Fatores que afetam a compostagem	14
3.2.3.1 Aeração	14
3.2.3.2 Temperatura	15
3.2.3.3 Teor de água	16
3.2.3.4 Relação C/N	16
3.2.3.5 Granulometria	17
3.2.3.6 pH	18
3.2.4 Sistemas de compostagem	18
3.2.5 Efeitos da compostagem na eliminação de patógenos	19
3.2.6 Conversões do nitrogênio durante a compostagem	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Experimento 1 – Avaliação do ciclo de aeração na leira de compostagem	24
4.2 Experimento 2 – Avaliação de sistemas de compostagem no tratamento da cama de frango	28

4.3 Experimento 3 – Avaliação de metodologias de quantificação de nitrogênio total e amoniacal em cama de frango.....	33
4.4 Experimento 4 – Determinação de amônia volatilizada.....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Experimento 1 – Avaliação do ciclo de aeração na leira de compostagem.....	36
5.1.1 Taxa de aeração	36
5.1.2 Temperatura e teor de água.....	37
5.1.3 pH.....	39
5.1.4 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total	40
5.1.5 Análises biológicas.....	42
5.2 Experimento 2 – Avaliação de sistemas de compostagem no tratamento da cama de frango.....	43
5.2.1 Temperatura e teor de água.....	43
5.2.2 pH.....	47
5.2.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total	48
5.2.4 Nitrogênio	49
5.2.5 Análises biológicas.....	51
5.3 Experimento 3 – Avaliação do processo de compostagem em leira estática aerada no tratamento de cama de frango visando a reutilização e determinação da melhor metodologia para quantificação de nitrogênio total e amoniacal desses resíduos	53
5.3.1 Temperatura e teor de água.....	53
5.3.2 pH.....	55
5.3.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total	56
5.3.4 Nitrogênio	56
5.3.5 Análises biológicas.....	58
5.4 Experimento 4 – Avaliação do processo de compostagem em leira estática aerada no tratamento de cama de frango visando a reutilização e determinação de uma metodologia para quantificação de amônia volatilizada desses resíduos	58
5.4.1 Temperatura e teor de água.....	58
5.4.2 pH.....	60
5.4.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total	61
5.4.4 Nitrogênio	62

5.4.5 Análises biológicas.....	63
6 CONCLUSÕES	64
7 REFERÊNCIAS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia.....	20
Figura 2 - Remoção da cama de frango do aviário	23
Figura 3 - Transporte do material até a área experimental	23
Figura 4 - Correção do teor de água e montagem dos experimentos	24
Figura 5- Temporizador digital.....	25
Figura 6 – Conjunto ventilador e tubulação recoberta por palha	25
Figura 7 - Recobrimento da leira com capim.....	25
Figura 8 - Abertura da leira para correção do teor de água do material.....	26
Figura 9 - Obtenção das sub-amostras	27
Figura 10 - Mangueira com aspersores acoplada à tubulação.....	29
Figura 11 - Pilha revirada de cama de frango de maravalha.....	30
Figura 12 - Pilha revirada de cama de frango de casca de café	30
Figura 13 - Reviramento manual da pilha de compostagem	31
Figura 14 - Seção longitudinal da leira estática aerada, destacando-se a posição das sondas para leitura de temperatura.....	31
Figura 15 - Análise de amônia, sob pressão positiva	34
Figura 16 - Comportamento da temperatura na leira de compostagem	38
Figura 17 – Teor de água no material durante a compostagem.....	39
Figura 18 - Valores de pH na leira durante a compostagem	40
Figura 19 - Teor de sólidos voláteis e COT durante a compostagem	41
Figura 20 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 1	43
Figura 21 - Teor de água no material durante o Tratamento 1	44
Figura 22 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 2.....	45
Figura 23 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 3.....	45
Figura 24 - Teor de água na cama de frango submetida a diferentes tratamentos...	46
Figura 25 - pH da cama de frango submetida a diferentes tratamentos.....	47
Figura 26 - Teor de sólidos voláteis e de COT na cama de frango submetida a diferentes tratamentos.....	49
Figura 27 - Remoção de coliformes totais durante os diferentes tratamentos	51

Figura 28 - Remoção de coliformes termotolerantes durante os diferentes tratamentos	52
Figura 29 - Temperatura ambiente e em diferentes posições da leira, durante a compostagem.....	53
Figura 30 – Teor de água da leira durante a compostagem.....	54
Figura 31 - Eventos pluviométricos registrados durante a realização do experimento	55
Figura 32 - pH na leira de compostagem	55
Figura 33 - Teor de sólidos voláteis e COT na leira de compostagem.....	56
Figura 34 - Nitrogênio total na cama de frango submetida à compostagem	57
Figura 35 - Nitrogênio amoniacal na cama de frango submetida à compostagem....	57
Figura 36 - Temperatura ambiente e em diferentes posições da leira	59
Figura 37 – Teor de água da leira durante a compostagem.....	59
Figura 38 - Eventos pluviométricos registrados durante a realização do experimento	60
Figura 39 - pH na leira de compostagem	61
Figura 40 - Teor de sólidos voláteis e COT na leira de compostagem.....	61
Figura 41 - Quantidade de amônia volatilizada da cama de frango durante o tratamento	62
Figura 42 - Decaimento bacteriano em cama de frango	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características dos grupos microbianos presentes na compostagem.....	13
Quadro 2 - Decaimento biológico em cama de frango	42
Quadro 3 - Nitrogênio total na cama de frango submetida a diferentes tratamentos	49
Quadro 4 - Nitrogênio amoniacal na cama de frango submetida a diferentes tratamentos	50
Quadro 5 - Quantidade de amônia quantificada, segundo a massa utilizada	62

RESUMO

CONCEIÇÃO, Priscila Soraia da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2012. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização.** Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo. Coorientadores: Eduardo Antonio Gomes Marques e Maria Lúcia Calijuri.

A reutilização da cama de frango é uma alternativa encontrada pelos produtores como solução ao alto custo de aquisição de material para cobertura do piso. No reuso, a cama de frango sofre alterações em suas características físicas, químicas e biológicas, podendo comprometer o processo de criação de frangos. Para que o reuso seja seguro, é necessário que se faça um tratamento, a fim melhorar as características do resíduo, como reduzir a carga biológica e promover a liberação de amônia. Com a realização deste trabalho objetivou-se avaliar a compostagem como metodologia para o tratamento da cama de frango visando sua reutilização. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Viçosa. Foram montados quatro experimentos. O Experimento 1 consistiu na montagem de uma leira estática de cama de frango, aerada com diferentes ciclos de funcionamento do ventilador. Durante o Experimento 2, comparou-se a eficiência de diferentes métodos de compostagem aplicados no tratamento da cama de frango visando sua reutilização, com a montagem de 1 leira estática aerada e 2 pilhas por reviramento, avaliou-se também a influência do substrato formador da cama de frango no processo. No Experimento 3, avaliou-se o decaimento do nitrogênio, em sua forma total e amoniacal, da cama de frango submetida ao processo de compostagem por leira aerada estática. No Experimento 4, determinou-se a quantidade de amônia volatilizada da cama de frango durante o processo de compostagem e da cama tratada. Durante os tratamentos, foram realizadas análises de temperatura, teor de água, pH, teor de sólidos, teor de carbono orgânico total, nitrogênio e de organismos indicadores de contaminação fecal. Os resultados mostraram que ciclos de aeração muito prolongados realizados em leiras estáticas aeradas

dificultam a realização da compostagem, pois ressecam rapidamente o material; a compostagem realizada em pilhas reviradas apresenta melhor eficiência na redução da carga biológica e na promoção da liberação de amônia se comparada ao método de leiras estáticas aeradas; a compostagem realizada em leiras estáticas aeradas apresenta boa eficiência na redução de nitrogênio total e amoniacal da cama de frango.

ABSTRACT

CONCEIÇÃO, Priscila Soraia da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2012. **Evaluation of the composed material as a methodology for treating the poultry litter beyond its reutilization.** Adviser: Mônica de Abreu Azevedo. Co-Advisers: Eduardo Antonio Gomes Marques and Maria Lúcia Calijuri.

The reutilization of poultry litter is an alternative way that producers found to deal with the high cost of the materials used to cover the floor on their farms. To reuse this poultry litter, it has to suffer changes on its physical, chemical and biological characteristics, perhaps compromising the process of chicken growth. To make it safe, is required that the producer treats this material; for example reducing the biological load and promoting ammonia to be released. With this present work, as the main focus, it's pursued the evaluation of the composed material as a methodology for treating the poultry litter beyond its reutilization. All the experiments were conducted at "Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental", regarding to the Civil Engineering Department, at Universidade Federal de Viçosa. It was made in four experiments. Experiment 1 was done by assembling a windrow of poultry litter, aerated, with fans cycles. During experiment 2, was compared the efficiency of different methods of composed materials applied at the treatment of the poultry litter in order to reutilize it, using one windrow poultry litter and two overturning cells; was also evaluated its influence on the substratum maker of the poultry litter on this process. On experiment 3, was evaluated the decay of nitrogen, on its normal and ammoniac forms, still using the windrow system. On experiment 4, was possible to determine the amount of volatile ammonia from the process of composed and the treated poultry litter. During the processes, temperature, water contamination, pH, solid contamination, organic carbon contamination, nitrogen and fecal contamination organisms were submitted to tests. The results show that, long cycles of aeration at the windrow system, make it harder to get the composed material done, because it make the material dry faster; the overturning cells show better efficiency reducing the biological load and releasing ammonia when it's compared to the windrow system. Summing up, the composed material obtained from the

aerated windrow system, presents good efficiency in order to reduce the total and ammoniac nitrogen from the poultry litter.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de carne de frango, em 2011, ultrapassou 100 milhões de toneladas, segundo a Agência de Agricultura e Alimentos (FAO). O Brasil ocupa a terceira posição de produtor mundial, precedido apenas pelos Estados Unidos e China (ABEF, 2009). Tal atividade apresenta papel expressivo na atual economia brasileira, representando 1,5% do PIB do país, gera empregos diretos e indiretos (FIESP, 2011).

As crises da “vaca louca” e da “gripe do frango” exigiram diversas recomendações e certificações na produção da carne de frango de corte, normas foram estabelecidas para a regulamentação e padronização de toda linha de produção, desde o manejo realizado dentro das fazendas, até o beneficiamento do produto final.

O manejo dos resíduos gerados é um dos fatores regulamentados. Entre os resíduos está a cama de frango, como é chamada a composição de dejetos de frango com o material suporte usado nos aviários. Segundo Ferreira (2010), a produção de frango de corte gera, em média, quatro toneladas de cama para cada 1.000 aves.

A cama de frango, até 2004, podia ser comercializada como suplemento alimentar de gado. Contudo, após a Instrução Normativa nº. 8, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2004), a prática teve que ser abolida e, o que antes era fonte de renda, passou a ser um problema de ordem econômica, social e ambiental.

Em relação à cama de frango, atualmente, existem dois problemas: o destino final desse resíduo e a dificuldade na aquisição do material suporte mais comumente utilizado na composição da cama de frango, a maravalha, que tem se tornado escassa, aumentando ainda mais seu custo.

Nesse sentido, é de grande relevância um estudo científico que busque aperfeiçoar os processos de tratamento da cama de frango, visando seu reaproveitamento em diversas ninhadas, estimulando o desenvolvimento econômico e ecologicamente sustentável da indústria avícola, bem como resguardando

relações jurídicas e sociais mais equitativas no setor rural, por meio de uma destinação econômica para tal resíduo.

2 OBJETIVOS

Definir um método de compostagem que possibilite o tratamento de cama de frango com vista a seu reaproveitamento.

2.1 Objetivos específicos

- a) Definição de parâmetros técnicos e operacionais mais adequados para o tratamento da cama de frango por compostagem aeróbia, com vistas a sua reutilização, capaz de eliminar patógenos e minimizar a emissão de amônia da cama de frango.
- b) Avaliação da qualidade física, química e biológica do material tratado sob os diferentes métodos de compostagem.
- c) Avaliar a influência das condições atmosféricas na compostagem realizada em pátios abertos.
- d) Estabelecer uma metodologia adequada para quantificação de nitrogênio total e amoniacal de camas de frango.
- e) Estabelecer uma metodologia simples, de baixo custo e capaz de determinar a quantidade de amônia liberada pela cama aviária.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Avicultura

Os crescimentos, populacional e econômico, geraram forte demanda por alimentos, o que tornou necessário o aumento de produção dos sistemas agropecuários e industriais (SEIFFERT, 2000). Nos últimos 40 anos, a base técnica do processo produtivo da avicultura de corte tem passado por transformações importantes, tornou-se intensivo no uso de inovações tecnológicas e alcançou elevados níveis de produtividade (FERNANDES FILHO, 2004). Na década de 1970, eram necessários 70 dias para o crescimento e engorda de um frango de corte, que consumia cerca de 2,5 kg de ração para 1,0 kg de ganho de peso. Atualmente, em 42 dias, um frango de corte fica pronto para o abate, com conversão alimentar de 1,80 kg de ração para 1,0 kg de ganho de peso (FIESP, 2011).

O Brasil é o terceiro maior produtor de carne de frango no mundo. Com uma produção avícola em ascensão, em 2010 chegou a 12.230 milhões de toneladas, um crescimento de 11,38% em relação a 2009, quando foram produzidas 10.980 milhões de toneladas (UBABEF, 2011).

Da totalidade da produção nacional, cerca de 70% destinam-se ao mercado interno. Em 2010, o consumo per capita de carne de frango foi de 44 quilos, caracterizou a principal fonte de proteína animal do brasileiro, que tem a sua disposição um produto barato e de excelente qualidade sanitária e nutricional, com uma gama elevada de produtos “*in natura*” e processados (UBA, 2011; UBABEF, 2011).

O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango, tem 142 países como mercados de destino. O Oriente Médio se mantém como a principal região de destino, seguido da Ásia e África (FIESP, 2011; UBABEF, 2011).

No Brasil, que possui uma das aviculturas mais desenvolvidas e tecnificadas do mundo, a produção de frangos está distribuída em todo o território nacional, impactando a economia da maioria dos estados (UBA, 2011; ÁVILA et al., 2007 b).

Cerca de 90% das aves abatidas no país são produzidas no sistema de integração vertical, modelo que teve início na década de 60, onde uma empresa de grande porte detém o controle de todos os elos da cadeia, ou seja: produção, abate, processamento e distribuição. A grande agroindústria integradora fornece aves para engorda, assistência técnica e insumos agrícolas, como ração e medicamentos; em contrapartida, os produtores integrados fornecem as aves para abate dentro de um padrão de qualidade, em um período de tempo estipulado; em outras palavras, a integradora terceiriza a engorda das aves (UBA, 2011).

Esse modelo tem contribuído para o elevado crescimento da produção de carne de frango em nosso país, o que pode ser explicado pela homogeneidade tecnológica e alto volume de aves confinadas por aviário. Tal sistema gera empregos, renda, fixação do homem do campo em sua terra e viabiliza a pequena propriedade (FERNANDES FILHO, 2004).

Os altos índices de produtividade apresentados pela indústria avícola podem ser explicados também pela implementação de programas de qualidade em todos os elos da cadeia, com destaque para genética, nutrição, manejo, biosseguridade, boas práticas de produção e programas de bem-estar animal e de preservação do meio ambiente (UBA, 2011).

Pode-se dizer que tais programas tornaram-se exigências, principalmente para a exportação, devido à crescente preocupação da população em relação à saúde pública, que se intensificou após o ano de 2006, quando se verificou uma grande retração de importantes mercados consumidores da Europa e da Ásia, onde foram registrados focos de Influenza H5N1 (gripe aviária), causada por um subtipo do vírus influenza comum, que apresenta maior taxa de mortalidade (MEDEIROS, 2008).

3.1.1 Avicultura e meio ambiente

A produção de aves em poucas unidades concentradas em uma determinada região faz com que o potencial de poluição dos aviários seja maior. Portanto, a disseminação do modelo de integração adotado em nosso país pode ser em parte responsabilizada pelo aumento das dificuldades de manejo dos resíduos gerados e

dos riscos de danos ambientais pela avicultura brasileira, como maior poluição das águas, do ar e da terra (FERNANDES FILHO, 2004).

A fim de garantir o crescimento da produção em consonância com o desenvolvimento sustentável e o atendimento das restrições legais, torna-se fundamental o desenvolvimento de práticas adequadas de manejo dos resíduos (OVIEDO RONDÓN, 2008).

A geração de resíduos, vistos como elementos negativos e degradadores da qualidade ambiental, é decorrente da atividade antrópica. Segundo Fiori et al. (2008), os resíduos são produzidos quando a taxa de geração supera a taxa de degradação, isto é, ultrapassa a capacidade de depuração do meio no qual estão inseridos.

Os sistemas antrópicos agem principalmente sobre os elementos produtores e consumidores, em detrimento dos decompositores. Logo, a dissolução dos problemas consiste no enfoque na fase de decomposição, por meio do aprimoramento de sistemas de recuperação, como a reciclagem e compostagem, associados à minimização de geração (BIDONE, 2001).

A produção avícola gera quantidade significativa de resíduos, em especial a cama de aviário, que contém excrementos, penas das aves e ração desperdiçada. Tais resíduos apresentam relevantes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, substâncias orgânicas que demandam oxigênio na sua estabilização, uma alta carga biológica, e, em algumas ocasiões, microrganismos patogênicos (FERREIRA, 2010).

Deve-se considerar que resíduos não devem ser vistos como algo permanentemente sem valor, mas sim como algo provisório, relativo no tempo e no espaço, uma vez que algo sem valor de uso para um detentor pode possuir valor de uso positivo para outro (BIDONE, 2001). Neste contexto, motivados pelo aumento da pressão legal, aliada a uma mudança de postura do mercado, indústrias avícolas, instituições de pesquisa e universidades têm unido esforços para o desenvolvimento de novas tecnologias para o manejo de resíduos da produção de frangos de corte (OVIEDO RONDÓN, 2008).

3.1.2 Cama de frango

Frangos de corte são, normalmente, criados sobre pisos de terra batida ou concreto e, para evitar o contato direto da ave com o piso, é utilizado a cama de frango. Material distribuído em camadas de 5 a 15 cm de espessura sobre o piso dos aviários para servir de leito das aves, absorver água e urina, incorporar as fezes, penas e descamações da pele, assim como restos de alimento caídos dos comedouros e contribuir para a redução das oscilações de temperatura no aviário (ÁVILA et al., 2007a; MENDES et al., 2004).

Dentre as características desejáveis, o substrato utilizado deve ter origem conhecida, não deve conter produtos químicos, como resíduos de indústrias de madeiras que fazem tratamento químico ou palhadas de culturas com elevadas concentrações de agrotóxico, deve ser livre de fungos, ser seco e ter boa capacidade de absorção (ÁVILA et al., 2007a).

Apesar da ampla expansão da avicultura e melhoria das tecnologias de produção, o material utilizado como substrato das camas dos aviários tem se restringido à maravalha. Uso que, dentre outros impactos, gera alta pressão ambiental pelo corte de árvores, uma vez que é proveniente do beneficiamento da madeira. Devido à grande demanda, o material tem se tornado escasso e com alto valor de mercado, sendo que muitas vezes sua obtenção está associada a fornecedores distantes, aumentando ainda mais seu custo (ÁVILA et al., 2007 b).

Perante tal realidade, alguns materiais alternativos têm sido usados, como casca de arroz, de café, de amendoim, sabugo de milho, capim cameron e palhadas de culturas em geral. Porém, tais alternativas ainda apresentam desvantagens se comparados à maravalha. A casca de arroz, por exemplo, tem baixa capacidade de absorção de água e urina, além de ser composta por partículas pequenas, que podem ser ingeridas pelas aves, acarretando possíveis intoxicações. Já a casca de amendoim, apesar de possuir propriedades absorventes, tem o uso restrito, pois pode apresentar contaminação pelo fungo *Aspergillus flavus* ou *Aspergillus fumigatus*, agente causador da aspergilose (ÁVILA et al., 1992).

Apesar da importância da cama no processo de criação de aves, esta nunca foi objeto de grandes estudos ou assunto prioritário para as empresas produtoras,

porém, devido à crescente escassez de substrato de boa qualidade, concomitantemente ao aumento da produção avícola nacional, maior atenção começa a ser dada ao correto manejo de cama, sua reutilização e métodos de tratamentos que garantam a seguridade de sua disposição final (ÁVILA et al., 2007 b; BERTOL e COLDEBELLA, 2008).

Até 2001, a cama de frango utilizada destinava-se à alimentação de ruminantes, as pesquisas restringiam-se aos riscos associados à saúde animal que pudessem atingir o homem. Porém, decorrente dos casos registrados de encefalopatia espongiiforme bovina na Europa, possivelmente transmitida por meio da cama de frango, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa n. 8/04, proibiu o uso em todo o território nacional de excretas de aves para a alimentação de ruminantes (PALERMO et al., 2005).

Prática comumente verificada é a utilização da cama como biofertilizante. Contudo, o uso e comércio de tal produto, em virtude do grande crescimento do mercado de alimentos orgânicos, foram normatizados pelo Decreto n. 4.954/04 e pela Instrução Normativa n. 15/05, ambos do MAPA. Sendo que o de trânsito interestadual desse material deve ainda, ser aprovado pelo Conselho de Inspeção Sanitária (CIS) do Estado (ÁVILA et al., 2007 b; BERTOL e COLDEBELLA, 2008).

Outra prática utilizada no Brasil, e em outros países, é a reutilização da mesma cama de frango por vários lotes de frango, prática que é objeto de estudo do presente trabalho e será mais detalhada a seguir.

3.1.2.1 Características físicas, químicas e biológicas da cama de frango

Dentre as características físicas de maior relevância das camas de frango, pode-se citar a liberação de odores resultantes da degradação biológica de diversos compostos. Apesar de sua grande relevância para a saúde e constituírem um ponto frequente de discórdia entre os produtores e os vizinhos das granjas, as emissões de odor das instalações avícolas, devido à dificuldade de mensuração, não são reguladas pela maioria dos governos dos diferentes países (MEDEIROS, 2008).

Camas de frango contêm elevados teores de nutrientes, podem afetar águas superficiais e subterrâneas, a qualidade do solo, assim como causar poluição do ar. O nitrogênio é o nutriente de maior potencial impactante, presente predominantemente na forma de amônia e nitrato (OVIEDO RONDÓN, 2008).

A amônia é considerada o gás mais nocivo produzido em galpões de frangos, pode afetar a saúde das aves e dos trabalhadores, ocasiona irritação nos olhos e no sistema respiratório e aumenta a susceptibilidade a doenças respiratórias. Sua emissão é muito variável, depende de fatores como a idade da cama, a duração do ciclo de frangos e o tratamento empregado entre os lotes (MENDES et al., 2004).

O nitrato pode constituir grande problema ambiental quando a cama de frango for utilizada, sem critérios, como adubo, uma vez que são hidrossolúveis, são facilmente transportados por soluções do solo, podendo contaminar os recursos hídricos (MENDES et al., 2004).

Decorrente principalmente das excretas das aves, abundante carga biológica pode ser verificada na cama de aviário. Dentre esses organismos, várias espécies bacterianas são encontradas. Estas podem ser classificadas em dois grupos principais, os que não representam risco direto à saúde humana e animal, mas que influenciam nas condições ambientais da cama, por atuarem nos complexos processos de ciclagem dos nutrientes, tais como os que atuam na decomposição do ácido úrico, resultando em amônia; e o grupo patogênico, potenciais causadores de doenças para humanos (FIORENTIN, 2005; SILVA et al., 2007).

Muitos fatores influenciam a viabilidade e multiplicação bacteriana na cama de aviário. Entre estes, pode-se destacar a atividade da água, pH, temperatura e a presença de amônia, os quais variam entre os diferentes métodos de manejo e tratamento da cama (SILVA et al., 2007).

Insetos, como os da espécie *Alphitobius diaperinus*, os cascudinhos, moscas domésticas e roedores também encontram nesse resíduo um ambiente propício para seu desenvolvimento e reprodução, por fornecerem abrigo e alimento, decorrente dos elevados níveis de matéria orgânica, resultantes da presença de fezes, sobras de ração e carcaças nesse material (BERTOL e COLDEBELLA, 2008). Tais organismos são vetores de agentes patogênicos, como *Salmonella*, *Pasteurella*, *Staphilococcus* e ovos de helmintos, além de causarem incômodo para os

trabalhadores dos aviários e à vizinhança (ITO et al., 2005; OVIEDO RONDÓN, 2008).

A carga biológica dificulta o tratamento e a destinação final da cama de aviário. Na utilização da mesma cama em lotes de frango subsequentes, por exemplo, elevada carga biológica pode favorecer a perpetuação de patógenos entre lotes, motivo que explica a recomendação de não reutilização quando houver ocorrência de episódios sanitários. Nesse sentido, é fundamental a adoção de algum tipo de tratamento voltado à adequação dos parâmetros físicos, químicos e a redução da carga biológica, objetivando minimizar riscos à saúde humana, animal e a preservação ambiental (SILVA et al., 2007).

3.1.2.2 Tratamentos aplicados à cama de frango visando sua reutilização

A reutilização da cama depende da sua qualidade, volume e manejo adotado. Pode ser feita em até 12 lotes, sendo comumente reutilizada por seis lotes consecutivos. Nestes sistemas, coletam-se, no final de cada lote, as crostas ou materiais empastados e endurecidos pelas fezes, urina e água absorvidos, sendo que, se a camada restante encontrar-se muito fina, novo substrato de cama é adicionado (MENDES et al., 2004).

Sabe-se que para reutilizar a cama, de forma segura, ela deve ser submetida a tratamentos adequados. Contudo faltam estudos associados ao potencial risco sanitário do reuso e relativos à eficácia dos tratamentos disponíveis, tornando essa prática um eventual limitante para o comércio internacional da carne de frangos, devido à necessidade de demonstrar equivalência e equidade dos processos de produção praticados entre países exportadores (ÁVILA et al., 2007 b; SILVA et al., 2007).

Diversos produtos têm sido utilizados como condicionantes químicos, alguns com propriedades acidificantes, como o bissulfato de sódio, sulfato de alumínio, superfosfato simples, ácido sulfúrico, lignossulfato de sódio, ácido fórmico e ácido propiônico; outros com características alcalinizantes, como a cal; além de produtos

capazes de alterar o teor de água da cama, como o gesso agrícola (OLIVEIRA et al., 2003; RESENDE, 2010).

Outras práticas não se utilizam de aditivos químicos, sendo as mudanças bioquímicas resultantes do metabolismo de organismos decompositores. Tem-se utilizado a cobertura da cama em toda a área do aviário com lona de PVC, por um período mínimo de 14 dias ou até o momento do próximo alojamento. Em outra metodologia, a compostagem é realizada por meio do amontoamento em pilhas ou em leiras de até 1,50 m de altura e cobertas com lona de PVC (ÁVILA et al. 2007a).

Independente do número de lotes criados numa mesma cama ou do tratamento adotado, caso se verifique algum problema sanitário, é indispensável à retirada de todo o material para limpeza do galpão e sua higienização, seguido de um vazio sanitário antes do alojamento do próximo lote (ÁVILA et al., 2007 b)

3.2 Processo de compostagem

O termo compostagem, que não apresenta um conceito universal, é definido, por alguns autores, como um processo biológico, que pode ser aeróbio ou anaeróbio, com predomínio de organismos mesofílicos, termofílicos ou pela sucessão destes (RUSSO, 2003). Contudo, no presente trabalho, faz-se referência à denominada “compostagem moderna”, que pode ser definida como uma oxidação biológica, aeróbia, exotérmica, caracterizada pela produção de CO₂, água e pela estabilização da matéria orgânica que, por meio de etapas sucessivas de altíssima complexidade, é transformada em um produto de odor agradável, de fácil manipulação, livre de organismos patogênicos e de alto valor agrônômico (SILVA et al., 2004).

3.2.1 As fases do processo de compostagem

O processo de compostagem pode ser compreendido em duas fases distintas: a primeira, a fase de degradação ativa, quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas e a segunda fase, ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação, com a produção de composto propriamente dito (INÁCIO e MILLER, 2009).

No início do processo de compostagem é verificado o predomínio de organismos mesófilos que, devido à elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de degradação, são substituídos por organismos termófilos, dando início à fase conhecida como degradação ativa, degradação rápida ou bioestabilização. Essa população é extremamente ativa, o que resulta na rápida degradação da matéria orgânica e numa grande demanda de O₂, maior elevação da temperatura, que atinge valores entre 40 a 70°C, capaz de eliminar organismos patogênicos, além de mudanças visíveis na massa de resíduos, que se torna escura e sem odor agressivo (FERNANDES e SILVA, 1999).

Assim que a maior parte da matéria orgânica presente no substrato é transformada, a atividade biológica de degradação diminui e a necessidade de aeração diminui, dando início à segunda fase, a de maturação. Inicia então o resfriamento da leira, assim a população termófila passa a ser substituída pelos organismos mesófilos, que voltam a se apresentar em maior número. Nesta fase existe a predominância de transformações químicas da matéria, como a polimerização de moléculas orgânicas estáveis, num processo também conhecido como humificação, que se dá à temperatura ambiente (FERNANDES e SILVA, 1999).

3.2.2 Microbiologia do processo

Durante o processo de compostagem, os nutrientes encontrados nos resíduos orgânicos são decompostos por diferentes populações de microrganismos.

Bactérias, actinomicetos e fungos são os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, por meio do consumo de macro e micronutrientes, porém outros organismos, como protozoários, helmintos e insetos também participam do processo, sendo praticamente impossível listar todos os envolvidos (BIDONE e POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004).

Cada organismo envolvido durante as fases de compostagem apresenta uma peculiaridade quanto a faixas ótimas de temperatura, pH, disponibilidade de oxigênio, assim como substratos preferenciais (Quadro 1).

Discriminação	Bactérias	Actinomicetos	Fungos
Substrato	Carboidratos, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil degradação	Substrato de difícil decomposição	Substratos de difícil decomposição
Teor de água	-	-	Preferem regiões secas
Oxigênio	Menor necessidade de oxigênio	Regiões bem aeradas	Regiões bem aeradas
pH ótimo	Neutro até levemente ácido	Neutro até levemente ácido	Ácido
Reviramento	Não interfere	Desfavorável	Desfavorável
Significado durante a decomposição	80 a 90% da capacidade da degradação	-	-
Temperatura	-	Limite de temperatura de 65°C	Limite de temperatura de 60°C
Função	Decomposição da matéria orgânica, aumento da disponibilidade de nutrientes e fixação do nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes, formação do húmus e fixação de nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes, formação do húmus e fixação de nitrogênio

Quadro 1 - Principais características dos grupos microbianos presentes na compostagem
 Fonte: Modificado de Nassu (2003) apud Heidemann et al. (2007)

A predominância de determinadas espécies determina a fase em que se encontra o processo de compostagem. No início da decomposição dos resíduos orgânicos, predominam bactérias hidrolíticas, responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, como resultado calor é liberado na massa em compostagem. Ainda na mesma fase, os fungos utilizam a matéria orgânica hidrolisada pelas bactérias como fonte de energia (VALENTE et al., 2009).

Em decorrência do aumento da temperatura, os microrganismos mesófilos morrem e actinomicetos, bactérias e fungos termófilos se multiplicam. Nesta fase, as bactérias degradam os lipídeos e frações de hemicelulose, os actinomicetos e fungos são responsáveis pela degradação da celulose e da lignina.

3.2.3 Fatores que afetam a compostagem

3.2.3.1 Aeração

O fornecimento de ar é essencial durante a realização do processo, em especial na fase de degradação ativa, onde a atividade microbiana é intensa. Na fase de maturação, com a diminuição da atividade microbiana, reduz-se também a necessidade de aeração (PEIXOTO, 1988).

Baixa disponibilidade de oxigênio diminui a viabilidade dos seres aeróbios, substituídos então pelos anaeróbios, o que é indesejável, uma vez que possibilita a emanção de maus odores (RUSSO, 2003).

A aeração também é responsável pelo controle da temperatura na massa em compostagem. Em certos casos, o fornecimento de ar na massa do composto chega a ser de 5 a 10 vezes maior do que o demandado na respiração microbiana, resultando na dissipação do calor acumulado durante o processo. Contudo, deve-se cuidar para que a aeração não promova uma perda de calor mais intensa do que a produção de calor microbiano (ANDREOLLI, 2001; FERNADES e SILVA, 1999; VALENTE, 2009).

3.2.3.2 Temperatura

O processo inicial de decomposição é conduzido por microrganismos mesófilos, que degradam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis. Como resultado do metabolismo desses microrganismos, que é exotérmico, calor é gerado e acumulando no interior da leira, a temperatura se elevada para valores em torno de 40 a 45 °C, em um período de 2 a 3 dias.

Quando a temperatura atinge valores superiores aos 45 °C, os organismos mesófilos são suprimidos pela comunidade termofílica, inicia a fase em que ocorre à máxima decomposição dos compostos orgânicos, a fase de degradação ativa, onde os polissacarídeos, como amido, celulose e proteínas, são transformados em subprodutos mais simples.

Durante essa fase, a temperatura da massa tende a se elevar como resultado do acúmulo de calor produzido pelos organismos, contudo deve-se manter tal valor entre 55 e 65 °C, pois temperaturas acima de 70 °C mantidas por longos períodos, apesar de tornarem o processo mais eficiente na inativação de patógenos, que geralmente são mesofílicos, restringem o número de microrganismos decompositores, podendo acarretar na insolubilização de proteínas hidrossolúveis e no desprendimento de amônia, em especial quando o material possuir baixa relação C/N, como é verificado na cama de frango, por exemplo (KIEHL, 2004; VALENTE, 2009).

Assim que as fontes de carbono de mais fácil degradação são exauridas, a temperatura decresce, até igualar-se à ambiente. Nesta fase, as comunidades mesófilas são restabelecidas, e irão atuar na humificação do composto por meio da degradação dos compostos mais resistentes, como a hemicelulose e a lignina.

A temperatura é um parâmetro de fácil aferição, que reflete o equilíbrio biológico e a eficiência do processo. Isto é, se a leira apresenta uma faixa de temperatura compreendida entre 40 e 60 °C no segundo ou terceiro dia, sabe-se que o ecossistema está bem equilibrado. Do contrário, outros parâmetros estão limitando a atividade microbiana.

O composto será considerado maturado quando atingir temperatura próxima à do ambiente, desde que se verifique que nenhum outro fator interveniente do

processo esteja afetando negativamente a atividade biológica. Deve-se lembrar que a avaliação da maturidade do composto é um desafio, em especial quando se pretende fazê-lo a partir de um único parâmetro físico, químico ou biológico, já que o processo de compostagem caracteriza-se por sua complexidade.

3.2.3.3 Teor de água

O teor de água, fundamental para a manutenção da vida microbiana, caracteriza um parâmetro a ser rigorosamente acompanhado durante o processo de compostagem, deve ser mantido entre 40 e 60% (INÁCIO e MILLER, 2009).

Elevados teores de água, superiores a 65%, podem tornar o meio anaeróbio, devido à ocupação dos espaços vazios com água, dificultando a livre circulação do oxigênio, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente a sua superfície e ocupam os macroporos da massa (VALENTE, 2009). Já valores baixos, inferiores a 40%, inibem o metabolismo microbiológico e resultam em um maior tempo para a compostagem. O teor de água depende da eficácia da aeração, da estrutura e da porosidade do resíduo. Resíduos, como a cama de frango, devido ao natural baixo teor de água, devem ter o seu teor corrigido.

3.2.3.4 Relação C/N

A relação C/N é um índice fundamental no crescimento dos organismos, uma vez que necessitam de carbono para o fornecimento de energia e de nitrogênio para síntese de proteínas (VALENTE, 2009).

A quantidade de nitrogênio exigida por unidade de carbono varia com os tipos de microrganismos envolvidos no processo, contudo pesquisas comprovam que a relação C/N inicial ótima do substrato para a compostagem deve se situar em torno de 30. Contudo, tal valor pode variar de 20 a 70, conforme a biodegradabilidade do

substrato. Para substratos de difícil degradação, por exemplo, celulose, lignina e hemicelulose, como o carbono biodisponível é inferior ao carbono total, devendo-se garantir uma relação C/N inicial maior (VALENTE, 2009).

Os problemas decorrentes da não adequação da relação C/N estão associados tanto a valores baixos, quanto a valores altos deste parâmetro. Valores muito baixos acarretam na perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Já valores elevados inibem o desenvolvimento dos organismos, devido à falta de nitrogênio para a síntese de proteínas, resultando num processo mais lento.

Ao final da compostagem, a relação C/N converge para um mesmo valor, entre 10 e 20 e, por este motivo, tal parâmetro é considerado um fator indicativo da qualidade do composto final.

3.2.3.5 Granulometria

A granulometria, ou dimensão das partículas, é um parâmetro interferente no processo de compostagem, uma vez que a degradação da matéria orgânica sofre interferência da superfície específica do resíduo. Quanto menor a granulometria dos resíduos, maior a área superficial em contato com o oxigênio exposta à atividade microbiana, aumentando a taxa das reações bioquímicas. No entanto, partículas muito finas favorecem a compactação do material, dificultam a difusão de oxigênio, promovem zonas de anaerobiose e dificultam a distribuição dos microrganismos e dos metabólitos microbianos (FERNANDES e SILVA, 1999; VALENTE, 2009). Misturar diversos tipos de resíduos tem se mostrado como uma solução viável na adequação do tamanho das partículas (ANDREOLLI, 2001; FERNANDES e SILVA; 1999; VALENTE, 2009).

3.2.3.6 pH

A faixa de pH considerada ótima para o início do processo de compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, o que pode ser explicado pelo fato da maioria das enzimas encontrarem-se ativas (SPADOTTO e RIBEIRO, 2006).

Os resíduos orgânicos utilizados na compostagem são de natureza ácida, como restos vegetais, urina e fezes, dessa forma, o processo tem inicialmente pH ácido. No início do processo, na fase de degradação ativa, ácidos orgânicos são formados e o meio se torna mais ácido que o inicial, variando de 5,5 a 6,0. Os ácidos orgânicos formados reagem então com bases liberadas da matéria orgânica, compostos mais alcalinos são produzidos. Verifica-se também a formação de ácidos húmicos, que reagem com os elementos químicos básicos, humatos alcalinos são produzidos. Como resultado, o pH aumenta rapidamente, atinge valores entre 7,5 e 9,0 (KIEHL, 2004).

O pH não caracteriza um parâmetro a ser controlado, ao contrário, as inúmeras reações químicas regulam o pH da massa compostada, o produto final apresenta pH entre 7,0 e 8,5. Contudo, resíduos com pH alcalino podem dificultar a realização da compostagem, pois acarretam na perda de nitrogênio pela volatilização de amônia (VALENTE, 2009).

3.2.4 Sistemas de compostagem

Dentre as vantagens observadas pela adoção da compostagem, cita-se a grande flexibilidade operacional, que pode variar de procedimentos simples e manuais, até os mais complexos, altamente tecnificados.

Os processos de compostagem podem ser divididos em três grandes grupos (ANDREOLLI, 2001; FERNADES e SILVA, 1999):

- Sistema de leiras reviradas (*windrow*) → em que os resíduos são dispostos em leiras, sendo a aeração fornecida pelo reviramento dos resíduos.

- Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*) → em que a mistura a ser compostada é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira ar na massa.
- Sistemas fechados ou reatores biológicos (*in-vessel*) → em que os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, todos os parâmetros do processo são controlados.

Nos dois primeiro sistemas, o processo é comumente realizado em pátios, nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similar a triangular, denominados leiras de compostagem. A adoção do formato, assim como as dimensões das pilhas ou leiras, é função do volume de resíduo.

3.2.5 Efeitos da compostagem na eliminação de patógenos

Os mecanismos de eliminação de patógenos durante o processo de compostagem têm por base a conjunção dos parâmetros temperatura, competição entre microrganismos, formação de antibióticos e o tempo de exposição. Dentre os mecanismos, a competição entre espécies e a formação de antibióticos são de difícil monitoramento, porém temperatura e tempo de exposição são parâmetros mais fáceis de controlar ao longo do processo. (FERNANDES e SILVA, 1999).

A temperatura durante o processo de compostagem, resultado da atividade biológica de degradação da matéria orgânica, pode se tornar fator inibidor do processo de degradação se atingir valores próximos dos 70 °C. Estudos mostram que esta deve ser mantida em torno de 60 °C, valor capaz de conciliar eficiente eliminação de patógenos e alto nível de atividade biológica de degradação (ANDREOLLI, 2001; FERNANDES e SILVA, 1999).

Para eficiente remoção de patógenos, deve-se considerar também a tecnologia de compostagem adotada. No sistema de leiras, verifica-se um gradiente de temperatura (Figura 1), na parte externa tal parâmetro não atinge níveis letais a esses organismos, pelo contrário, apresenta temperatura favorável ao crescimento de vários microrganismos (ANDREOLLI, 2001; FERNANDES e SILVA, 1999).

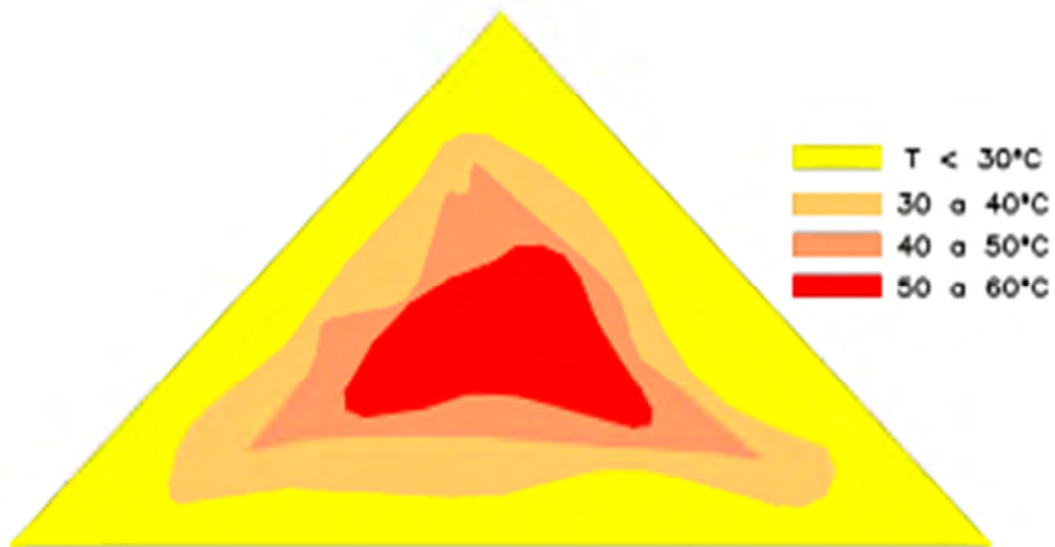


Figura 1 - Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia

Fonte: Russo, 2003

3.2.6 Conversões do nitrogênio durante a compostagem

Durante a degradação biológica, para resíduos com nitrogênio em excesso, os microrganismos não conseguem metabolizar todo o amônio produzido por falta de carbono disponível, então a conversão em nitrato não ocorre. Nestes casos, o nitrogênio, na forma amoniacal, perde-se por volatilização. Estudos apontam perdas de nitrogênio entre 16 e 77% (EGHBALL et al., 1997; RAVIV et al., 2004; TIQUIA e TAM, 2000), o principal processo responsável por tal perda é a volatilização da amônia, seguido da desnitrificação (BRITO et al., 2008). Tais perdas aumentam com a elevação da temperatura, teor de água, do aumento do pH e com a intensidade com que se realizam as trocas gasosas com o exterior, porém podem ser minimizadas com a cobertura do material (BRITO et al., 2009).

O nitrogênio amoniacal engloba a forma gasosa (NH_3), denominada amônia, e a forma ionizada (NH_4^+), denominada íon amônio, que permanecem num equilíbrio estabelecido pelo pH da solução (1).



Em valores alcalinos de pH, o equilíbrio é deslocado para a direita, com predomínio de NH_3 (LIMA et al., 2008). Neste sentido, Gorgati (2001) afirma que o pH alcalino no início do processo de compostagem acarreta perdas de nitrogênio pela volatilização de amônia.

Quanto à interferência da temperatura, Moreira e Siqueira (2002) e Monedero et al. (2001) afirmam que a oxidação do amônio a nitrato (NO_3^-) é verificada quando a temperatura da mistura está acima dos 40 °C e condições favoráveis de aeração são verificadas.

As perdas de nitrogênio durante o processo de compostagem aumentam com a temperatura e a intensidade com que se realizam as trocas gasosas com o exterior, com a diminuição da relação C/N e com o aumento do pH, mas diminuem com a cobertura das pilhas (RAVIV et al., 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender as finalidades da presente pesquisa foram montados quatro experimentos. No Experimento 1, buscou-se definir o melhor ciclo de aeração a ser realizado em compostagem de cama de frango, realizada em leiras estáticas aeradas. No Experimento 2, comparou-se a eficiência de dois sistemas de compostagem aplicados ao tratamento da cama de frango visando a sua reutilização, o sistema de leiras estáticas aeradas e o de pilhas por reviramento, assim como a possível influência do substrato formador da cama no resultado do tratamento. No Experimento 3, avaliou-se o decaimento do nitrogênio, em sua forma total e amoniacal, da cama de frango submetida à compostagem por leira estática aerada. No Experimento 4, determinou-se a quantidade de amônia volatilizada da cama de frango durante o processo de compostagem e da cama tratada por leira estática aerada.

Os experimentos, desenvolvidos no período de maio a dezembro de 2011, foram montados no pátio do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil (DEC), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, cidade localizada na Zona da Mata Norte Mineira. O município possui as coordenadas de 20°45' 20"S de latitude, 42°52'40"O de longitude e altitude média de 649 m. Segundo classificação de Köpen, o clima é do subtipo Cwb, mesotérmico, com verões brandos, estações chuvosas no verão e invernos secos (GOLFARI, 1975). Com temperaturas máximas e mínimas de 13,2°C e 25,6°C.

Para o monitoramento dos experimentos, foram realizadas análises de temperatura, teor de água, pH, teor de sólidos, teor de carbono orgânico total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, amônia volatilizada e de organismos indicadores de contaminação fecal. As análises de teor de água, teor de sólidos, pH e de amônia volatilizada foram realizadas no LESA. As análises biológicas foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV e na Empresa Rio Branco Alimentos S/A (PIF PAF). As análises de nitrogênio total foram realizadas nos laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos, do Departamento de Solos/UFV, no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, do

Departamento de Fitotecnia/UFV e na Empresa Rio Branco Alimentos S/A. As análises de nitrogênio amoniacal foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos e no Laboratório de Qualidade da Água.

As camas de frango utilizadas nos experimentos foram provenientes de diferentes lotes de frango de corte do Aviário Experimental, do Departamento de Zootecnia, da UFV, criados até os 42 dias. O material era removido após a retirada das aves (Figura 2) e transportado até a área experimental em caminhão aberto (Figura 3).



Figura 2 - Remoção da cama de frango do aviário



Figura 3 - Transporte do material até a área experimental

Após a descarga dos resíduos na área experimental, com uso de pás, enxadas e mangueira de água, era realizada a correção do teor de água do material (Figura 4), até que, apertando-se fortemente entre os dedos uma amostra, era possível senti-la úmida, mas sem que nenhum líquido escorresse, posteriormente as leiras e as pilhas de compostagem eram montadas manualmente.



Figura 4 - Correção do teor de água e montagem dos experimentos

4.1 Experimento 1 – Avaliação do ciclo de aeração na leira de compostagem

Uma leira foi montada com seção transversal triangular, com medidas aproximadas de 2 m de base, 1 m de altura e comprimento de 4 m. Para a aeração da leira, foi utilizado um ventilador centrífugo (motor elétrico de $\frac{1}{4}$ HP de potência) de funcionamento controlado por um temporizador digital Foxlux, modelo FX TBD, com precisão de 1 minuto (Figura 5). Ligado ao ventilador, foi instalada uma tubulação, em PVC, de diâmetro de 100 mm, localizada na base da leira, com furos distribuídos ao longo de seu comprimento. Sobre os canos foi colocada uma camada de palha de aproximadamente 10 cm (Figura 6). Após montagem, a leira foi coberta com uma camada de aproximadamente 15 cm de palha, visando minimizar a atração de micro e macro vetores (Figura 7).



Figura 5- Temporizador digital



Figura 6 – Conjunto ventilador e tubulação recoberta por palha



Figura 7 - Recobrimento da leira com capim

O experimento, que totalizou 63 dias, foi dividido em duas etapas diferenciadas pelo ciclo de aeração realizado:

Etapa 1: insuflação de ar realizado em 35 ciclos diários de 20 horas, compostos por períodos de 4 minutos de aeração, a cada intervalo de 1 hora.

Etapa 2: insuflação de ar realizado em 28 ciclos diários de 20 horas, compostos por períodos de 2 minutos de aeração, a cada intervalo de 1 hora.

Após a Etapa 1, foi feita a abertura da leira e nova correção do teor de água do material, ambos os procedimentos realizados de forma manual (Figura 8).



Figura 8 - Abertura da leira para correção do teor de água do material

O monitoramento do experimento foi feito por meio da medição diária da temperatura e pela realização das análises, com frequência semanal, de teor de água, sólidos, carbono orgânico, pH e decaimento microbiológico tiveram início no dia da montagem da leira (designado como o dia zero) e prosseguiu até os 63 primeiros dias do processo.

A temperatura foi medida diariamente, com auxílio de um termômetro de mercúrio, introduzido a cerca da metade da altura da leira, evitando as camadas mais frias, que são as externas, base e cume.

Para as análises físicas, químicas e biológicas foi coletado material em diversos pontos da leira com o uso de uma pá de corte e de bandejas plásticas, obtendo uma amostra composta, representativa de toda a massa em compostagem,

constituindo a amostra estoque. A partir da amostra estoque foram obtidas as sub-amostras, por quarteamento, com as quais foram realizadas as análises (Figura 9).



Figura 9 - Obtenção das sub-amostras

As determinações do teor de água seguiram as recomendações de Solyon (1977 apud AZEVEDO, 1993). Para cada amostra, foram feitas duas repetições. Alíquotas de aproximadamente 20 gramas do material foram pesadas em balança analítica e secas em estufa, a 70 °C (± 2 °C), por 24 horas. Após este período o material foi resfriado em dessecador e pesado. O teor de água foi obtido pela diferença de peso.

O teor de sólidos voláteis foi determinado segundo recomendações do APHA (1995), pesando-se, em cadinho de porcelana, duas alíquotas de aproximadamente 2 gramas de cada amostra do material previamente seco em estufa, por 24 horas, a 70 °C, triturado e peneirado em uma peneira com malha de 18 mm. O material pesado foi calcinado em mufla, a 550 °C (± 20 °C), por duas horas. Após este período, os cadinhos contendo o material resfriaram em um dessecador e, posteriormente, foram pesados.

O teor de sólidos voláteis foi obtido pela diferença de massa, sendo o resultado considerado a média aritmética das duas determinações. O teor de sólidos fixos (SF) foi determinado utilizando-se a equação 2 (KIEHL, 1985; APHA, 1995).

$$\text{SF} = 100\% - \text{SV} \quad (2)$$

O carbono orgânico total (COT) foi estimado pela razão entre os sólidos voláteis e o fator 1,8 (3), expressão proposta por GOLUEKE (1977 apud AZEVEDO, 1993).

$$\text{COT} = \frac{\text{SV}}{1,8} \quad (3)$$

As determinações do pH foram realizadas em suspensão aquosa, de acordo com as recomendações de Carnes e Lossin (1970 apud AZEVEDO, 1993). A metodologia consistiu na adição de 250 ml de água destilada a 10 gramas da amostra. A solução foi agitada por 3 minutos, em agitador magnético, e ficou em repouso por 5 minutos. A leitura do pH foi realizada com um pHmetro ADWA ad 100.

As análises biológicas de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.* foram realizadas nas sub-amostras coletadas no dia da montagem do experimento, designado como dia zero, e no fim do processo, após 63 dias, e seguiram as recomendações contidas na Instrução Normativa 62, do MAPA (BRASIL, 2003).

Os dados atmosféricos (temperaturas médias e precipitação pluvial) foram coletados na Estação Meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na UFV, a 20°25'S e 42°52'W e altitude de 657 m, próxima ao LESA, representando as condições climáticas do local onde foi realizado o Experimento 1.

4.2 Experimento 2 – Avaliação de sistemas de compostagem no tratamento da cama de frango

Nesse experimento foram testados os seguintes métodos de compostagem:
Tratamento 1 – Compostagem, em leira estática aerada, de cama de frango de maravalha

Tratamento 2 – Compostagem, em pilha revirada manualmente, de cama de frango de maravalha

Tratamento 3 – Compostagem, em pilha revirada manualmente, de cama de frango de casca de café

O experimento teve duração de 14 dias a fim de se fazer uma avaliação por tempo compatível ao intervalo entre lotes estabelecido em granjas comerciais de frangos de corte.

A leira estática aerada foi montada com seção transversal triangular, com medidas aproximadas de 2 m de base, 1 m de altura e comprimento de 5 m. A aeração foi promovida por um ventilador centrífugo (motor elétrico de ¼ HP de potência), ligado a uma tubulação, em PVC de diâmetro de 100 mm, localizada no terço superior da leira, com furos distribuídos ao longo de seu comprimento e coberto com uma camada de palha, a fim de evitar o entupimento dos furos. O funcionamento do ventilador foi controlado por temporizador digital Foxlux, modelo FX TBD (precisão de 1 minuto), sendo o insuflação de ar realizado durante 2 minutos, intercalados por intervalos de 1 hora, 20 horas por dia.

Uma mangueira contendo aspersores foi colocada juntamente com o sistema de insuflação de ar (Figura 10). A mangueira foi conectada a uma bomba de água e ligada no 7º dia de tratamento, durante 5 minutos, uma vez que o teor de água do material apresentou valores inferiores a 50%.



Figura 10 - Mangueira com aspersores acoplada à tubulação

As duas pilhas reviradas foram montadas com base circular, apresentando inicialmente 1 m de altura e 2,5 m de diâmetro (Figura 11 e 12). A aeração do material se deu por reviramento manual, realizado duas vezes na semana (Figura 13).



Figura 11 - Pilha revirada de cama de frango de maravalha



Figura 12 - Pilha revirada de cama de frango de casca de café



Figura 13 - Reviramento manual da pilha de compostagem

Após a montagem da leira e das pilhas, estas foram cobertas com camada de aproximadamente 15 cm de palha, objetivando a não atração de micro e macro vetores.

O monitoramento da temperatura, teor de água, sólidos, COT, pH e nitrogênio do experimento tiveram início no dia da montagem da leira, designado como o dia zero, prosseguindo até o final do processo, que ocorreu no 14° dia.

A temperatura foi medida, diariamente, em cada um dos tratamentos, com auxílio de um termômetro digital Salvterm 1200K conectado a sondas metálicas, constituídas de uma liga de cobre e níquel. As sondas permaneciam introduzidas no interior da pilha e das leiras, em três pontos, base, centro e topo (Figura 14).



Figura 14 - Seção longitudinal da leira estática aerada, destacando-se a posição das sondas para leitura de temperatura

A amostragem do material foi realizada duas vezes na semana, coincidindo com os dias de realização do reviramento das pilhas.

Para a leira estática aerada, na determinação do teor de água, as amostras foram coletadas em diferentes alturas, base, centro e topo, com as quais se obteve sub-amostras por quarteamento. Para a realização das análises de pH, nitrogênio, sólidos e biológicas, optou-se por realizá-las com amostra representativa de todo o material, avaliando-se a eficiência global do processo.

Para as pilhas reviradas, coletaram-se amostras de diversos pontos durante o reviramento, constituindo a amostra estoque. A partir da amostra estoque foram obtidas as sub-amostras, por quarteamento, com as quais foram realizadas as análises físicas, químicas e biológicas.

As metodologias utilizadas para a realização das análises de teor de água, sólidos, COT, pH, coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.* foram as descritas no item 4.1 (Experimento 1).

A quantificação de nitrogênio total e amoniacal foi realizada nas sub-amostras dos dias 0 e 14. O teor de nitrogênio total da cama foi determinado, em amostra seca, pelo método Kjeldahl, cujo princípio consiste na conversão do nitrogênio orgânico e amoniacal em sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), por meio de digestão sulfúrica, em presença de catalisador (mistura de sulfato de potássio, sulfato de cobre e selênio metálico), conduzida em bloco digestor sob temperatura de 360 °C. O sulfato de amônio obtido foi destilado, em presença de hidróxido de sódio (40%), sob injeção de vapor d'água, recolhido em solução de ácido bórico (4%) e dosado por titulometria, com ácido sulfúrico (H₂SO₄) (50%) (MENDONÇA E MATOS, 2005).

O teor de nitrogênio amoniacal foi obtido pela destilação da amostra seca, em presença de hidróxido de sódio (40%), sob injeção de vapor d'água, recolhido em solução de ácido bórico (4%) e dosado por titulometria com H₂SO₄ (50%).

A temperatura atmosférica foi obtida no momento da leitura da temperatura da leira, com auxílio de uma sonda metálica ligada a um termômetro digital Salvterm 1200K. Os dados de precipitação pluvial foram coletados na Estação Meteorológica, pertencente ao INMET, localizada na UFV.

4.3 Experimento 3 – Avaliação de metodologias de quantificação de nitrogênio total e amoniacal em cama de frango

A metodologia utilizada na montagem e manutenção da leira foi a descrita no item 4.2 (Experimento 2), porém o sistema de umedecimento não foi montado e, por esse motivo, a tubulação, em PVC, foi colocada na base da leira.

O período de monitoramento, a frequência, assim como as metodologias utilizadas para o preparo das amostras e análises de temperatura, teor de água, sólidos, COT, pH foram as mesmas descritas no item 4.2 (Experimento 2).

Para avaliar o método mais adequado para análise de nitrogênio na cama de frango, em sua forma amoniacal e total, testou-se o efeito da secagem da amostra em estufa, a 65 °C, comparando com o teor de N obtido nas amostras úmidas. Neste sentido, optou-se por realizar as análises com a mesma metodologia descrita no item 4.2 (Experimento 2), para amostras úmidas (in natura) e secas em estufa, a 65 °C.

Para controle biológico, optou-se por analisar o material quanto à presença de bactérias dos grupos coliformes totais e *E. coli*, pelo método do Colilert, segundo a metodologia padrão. Uma alíquota de 5 g da amostra foi colocada em 100 mL de água, a mistura foi agitada, por 5 minutos, em agitador magnético, posteriormente a solução foi colocada em repouso, por mais 5 minutos. Uma alíquota de 1 mL foi retirada, por meio de pipeta estéril e colocada em um frasco, adicionado de 99 mL de água (diluição 1:100) e do reagente (Colilert), a mistura foi agitada até a completa diluição dos grânulos. A solução foi então despejada em uma cartela composta de 51 cúpulas, que foi colocada em uma seladora e a solução distribuída igualmente. Em seguida, a cartela foi incubada a 35 °C, em estufa, por 24 horas. Para a determinação de coliformes totais, foram contadas as cúpulas de coloração amarela e, para determinação de *E. coli*, foram contadas as cúpulas que apresentaram emissão da fluorescência, observadas com auxílio de uma lâmpada ultravioleta. Os resultados finais foram registrados e expressos de acordo com a tabela estatística do Número Mais Provável (NMP).

4.4 Experimento 4 – Determinação de amônia volatilizada

A metodologia utilizada para a montagem e manutenção da leira foi a descrita no item 4.3 (Experimento 3). O período de monitoramento, a frequência, assim como as metodologias utilizadas no preparo das amostras e análises de temperatura, teor de água, sólidos, COT e pH foram as mesmas descritas no item 4.2 (Experimento 2).

Na determinação da amônia volatilizada pela cama aviária, foi desenvolvida para esta pesquisa uma metodologia baseada na adaptação do método de fixação da amônia gasosa por microdifusão, seguida pela quantificação por titulação ácido-base, proposto por Hernandez e Cazetta (2001). Kitassatos de 250 mL foram utilizados como câmaras incubadoras. Como recipiente para a solução fixadora foram utilizados erlenmeyers de 250 mL. Para coletar a amônia exalada pela amostra, utilizou-se 20 mL de solução de ácido bórico (2%). Objetivando a quantificação de toda a amônia presente na massa, num período máximo de 24 horas, a volatilização se deu sob pressão positiva, fornecida por bomba compressora de ar para aquário Power (Figura 15). Após as 24 horas foi realizada titulação com solução de ácido sulfúrico 0,01 mol/100 mL, detectando-se o ponto final da titulação pela adição dos indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol à solução.

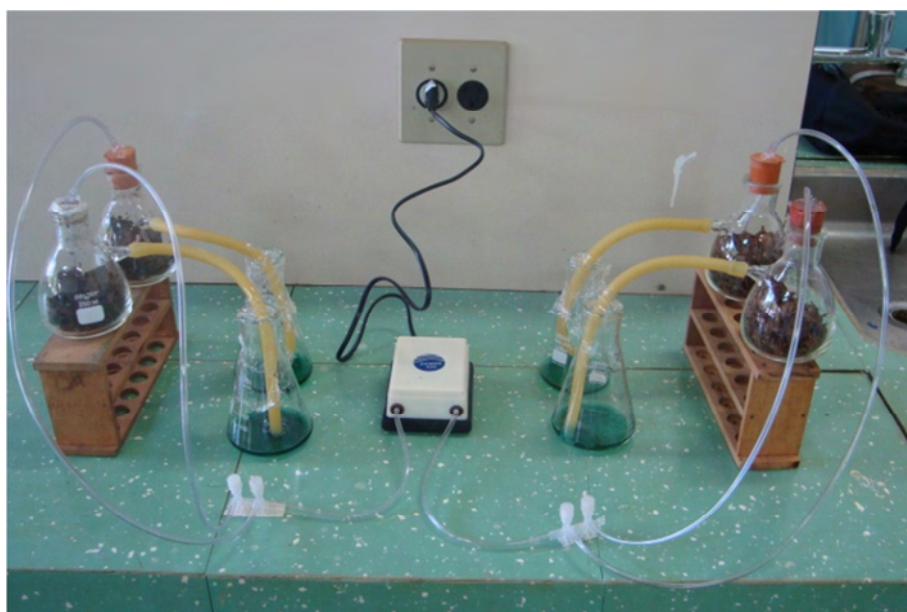


Figura 15 - Análise de amônia, sob pressão positiva

Na determinação da amônia volatilizada foram testadas diferentes quantidades de amostra, 25, 50, 75 e 100 g.

Os resultados, expressos em miligramas de amônia liberada por massa de material (A), foram calculados pela equação 4, fórmula proposta por Hernandez e Cazetta (2001).

$$A = \frac{V_t \times N \times f \times 1,7}{m} \quad (4)$$

Onde V_t é o volume da solução de H_2SO_4 gasto na titulação (mL); N é a normalidade do ácido; f o fator de correção e m é a massa de cama usada (g).

No monitoramento do decaimento biológico, foram realizadas as mesmas análises descritas no item 4.3 (Experimento 3), porém com diluição 1:10.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão analisados e discutidos nos quatro experimentos realizados nesta pesquisa. Estes experimentos serão relatados, assim como no item 4, Materiais e Métodos, em itens específicos, sendo denominados: Experimento 1, Experimento 2, Experimento 3 e Experimento 4

5.1 Experimento 1 – Avaliação do ciclo de aeração na leira de compostagem

5.1.1 Taxa de aeração

A taxa de aeração até o 34^o dia de experimento constituiu no funcionamento intermitente da bomba, a cada 1 hora por um período de 4 minutos, durante 20 horas ao dia, o que foi denominado de Etapa 1. Esta taxa de aeração foi muito elevada para esse experimento, causando rápido ressecamento do material (Figura 17) e conseqüente decréscimo na temperatura da leira (Figura 16), acarretando o retardamento do processo de degradação biológica.

A partir do 35^o dia, após ser feita a correção do teor de água do material, a taxa de aeração foi modificada para funcionamento intermitente da bomba, por um período de 2 minutos a cada 1 hora, durante 20 horas ao dia, o que foi denominado de Etapa 2.

Ao 63^o dia houve novo decréscimo na temperatura do material que, mesmo com teor de água adequado, não atingiu valores satisfatórios, considerou-se então o início da Fase de Maturação, sendo a leira desmontada.

A taxa de aeração da Etapa 2 promoveu menor ressecamento do material, possibilitando uma melhor eficiência na degradação biológica dos resíduos orgânicos e conseqüente manutenção de temperatura capaz de eliminar organismos patogênicos, conforme preconizado na literatura especializada (ANDREOLLI, 2001;

FERNANDES e SILVA, 1999). Desta forma, esta foi a taxa de aeração adotada nos Experimentos 2, 3 e 4.

5.1.2 Temperatura e teor de água

Durante a realização da Etapa 1, a temperatura do material aumentou gradativamente, atingindo no quarto dia de experimento 68 °C, mantendo-se próxima ou acima de 45 °C até o 26º dia (Figura 16). Esse comportamento se deve às condições favoráveis para o estabelecimento dos organismos decompositores da matéria orgânica, como disponibilidade de água, substrato facilmente degradável e adequada taxa de aeração em relação à demanda bioquímica de oxigênio.

Após o quarto dia de experimento, houve decréscimo deste parâmetro, estabilizando, no 35º dia, em 30 °C. O decréscimo da temperatura foi decorrente do ressecamento do material, que atingiu valores inferiores a 40% após o 28º dia (Figura 17), provavelmente como consequência da taxa de aeração empregada.

No 35º dia, a leira foi desmontada e corrigido o conteúdo de água, dando-se início à Etapa 2. No quinto dia da Etapa 2, a temperatura da leira atingiu 65 °C, mantendo-se próxima ou acima de 45 °C até o 56º dia, quando a temperatura voltou a decrescer, mantendo-se em 30 °C (Figura 16).

Como o teor de água na leira, neste período, manteve-se na faixa recomendada, entre 40 a 65% (INÁCIO e MILLER, 2009), o decréscimo na temperatura foi atribuído ao consumo das fontes de carbono de mais fácil degradação, indicando o fim da primeira fase do processo – Fase Ativa. Desta forma, após o 63º dia, a leira foi desmontada e posta para a maturação, iniciando a segunda fase do processo de compostagem, como preconizado por Fernando e Silva (1999)

Na Etapa 1, a temperatura atingiu o valor máximo de 68 °C, valor mínimo de 30 °C, apresentando uma média de 46,3 °C. Já na etapa 2, verificou-se que a temperatura atingiu o valor máximo de 65 °C, valor mínimo de 30 °C e uma média de 52,4 °C. Não houve influência representativa da temperatura atmosférica, que no

período de realização do experimento variou de 13 °C a 20 °C, na temperatura da leira (Figura 16).

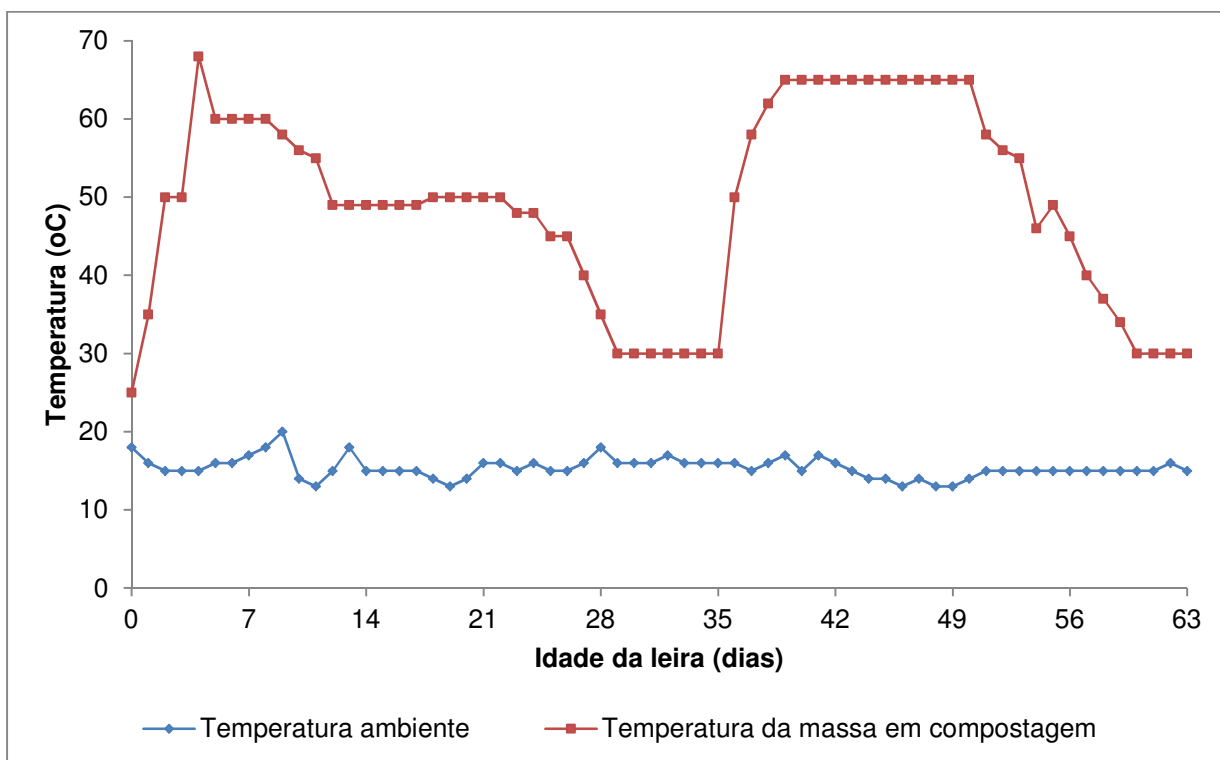


Figura 16 - Comportamento da temperatura na leira de compostagem

Nos processos de compostagem, temperatura é um parâmetro que não pode ser analisado isoladamente, uma vez que sofre grande influência de outros parâmetros físicos, químicos e biológicos da leira, como o teor de água. Sendo assim, a aeração por períodos mais prolongados não pode ser vista como único fator de entendimento para a diminuição da temperatura média durante a compostagem.

A cama de frango, após utilização por uma ninhada, apresentava teor de água de 23,7%, demandando sua correção para a montagem da leira de compostagem, corrigida para 54,5%.

Durante a realização da Etapa 1, foi verificado o decréscimo do teor de água, alcançando-se níveis inferiores a 45% no 29º dia de experimento (Figura 17), valor esse reconhecidamente inibidor do metabolismo dos organismos responsáveis pela compostagem.

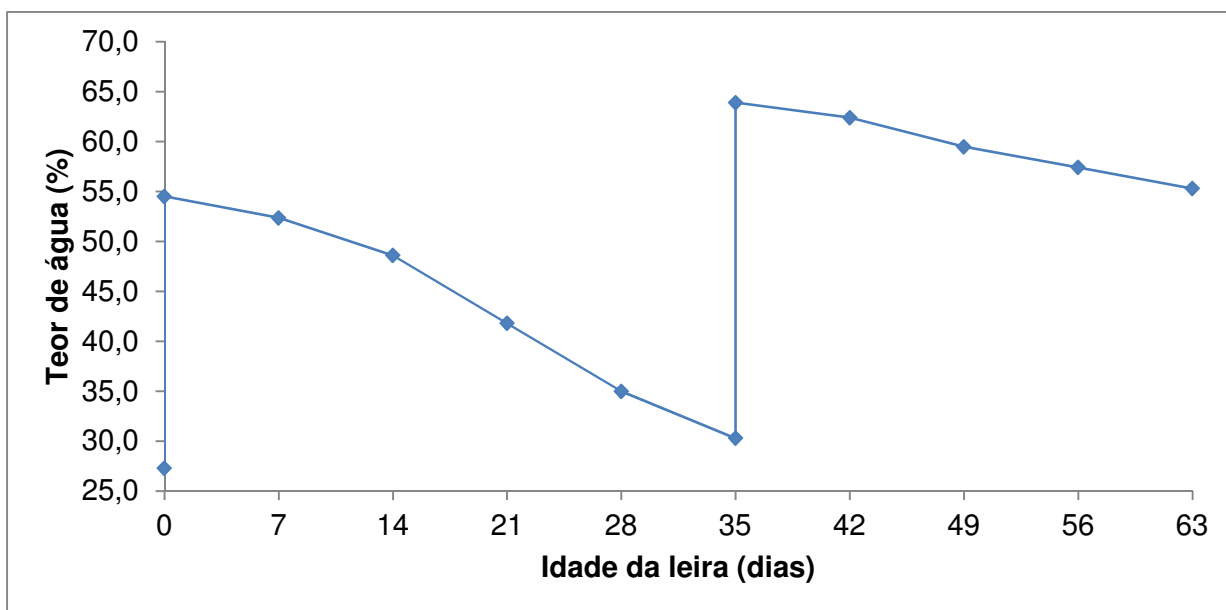


Figura 17 – Teor de água no material durante a compostagem

Após a correção do teor de água do material na leira, no início da Etapa 2, o teor na cama de frango foi de 63,9%, atingindo ao final do 63º dia, 55,3% (Figura 17). O que mostra a menor perda de água por evaporação com o ciclo de aeração estabelecido durante essa etapa.

Durante o período de realização do experimento, não foram registrados eventos pluviométricos que pudessem alterar o teor de água no material.

5.1.3 pH

O pH é um dos indicadores de maturação do composto, pois grande parte dos substratos submetidos à compostagem apresenta pH ácido, tendo seu valor alterado para faixas de pH básico quanto maturado (KIEHL, 1985). A cama de frango, porém, caracteriza-se uma exceção, pois, mesmo antes de ser compostado apresenta um pH maior que 8 (SANTOS, 2008).

Na montagem da leira de compostagem a cama de frango utilizada apresentava um pH igual a 9,25, valor que decresceu até o 35º dia, atingindo um valor de 8,88 (Etapa 1), quando seu valor começou a aumentar, atingindo 9,14 ao final do experimento (Etapa 2) (Figura 18).

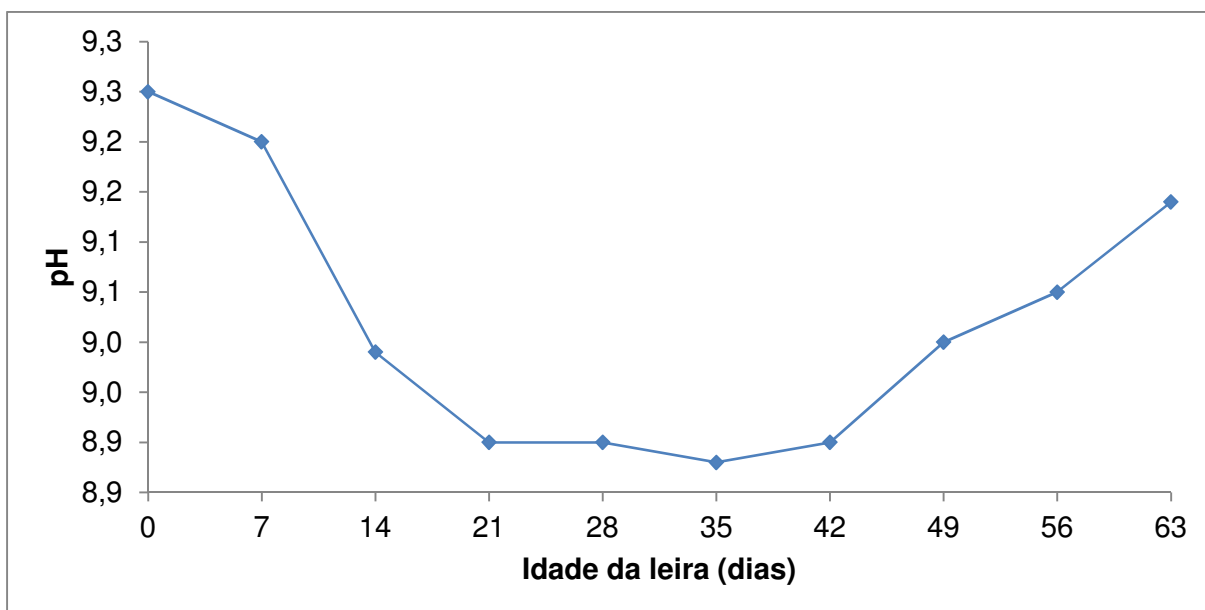


Figura 18 - Valores de pH na leira durante a compostagem

Faixas de pH alcalinos no início do processo de compostagem podem retardar o processo, favorecendo a liberação de amônia da massa em compostagem. Caso o objetivo da compostagem seja obter adubo natural, a perda de nitrogênio não seria positiva, uma vez que outra fonte do nutriente deveria ser utilizada. Porém, como o objetivo do estudo é obter uma cama de frango utilizável para nova ninhada, a perda favorece sua reutilização, uma vez que menor quantidade do nutriente estará contida na cama a ser utilizada, diminuindo a liberação da amônia dentro do galpão do aviário, reduzindo também seus malefícios decorrentes, como menor ganho de peso das aves e danos às carcaças. Contudo, deve-se cuidar para que a emissão de amônia durante o tratamento não afete a saúde dos operadores e da comunidade vizinha ao local do tratamento, o que pode ser favorecido pela cobertura da leira de compostagem com composto maturado ou palhadas.

5.1.4 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total

Os sólidos voláteis apresentaram uma redução ao longo do tempo, coincidente com a redução do Carbono Orgânico Total (COT), o que já era esperado, devido à

forma como o COT foi calculado (Equação 3). Durante os 63 dias, observou-se uma redução de 16,4% desses parâmetros (Figura 19).

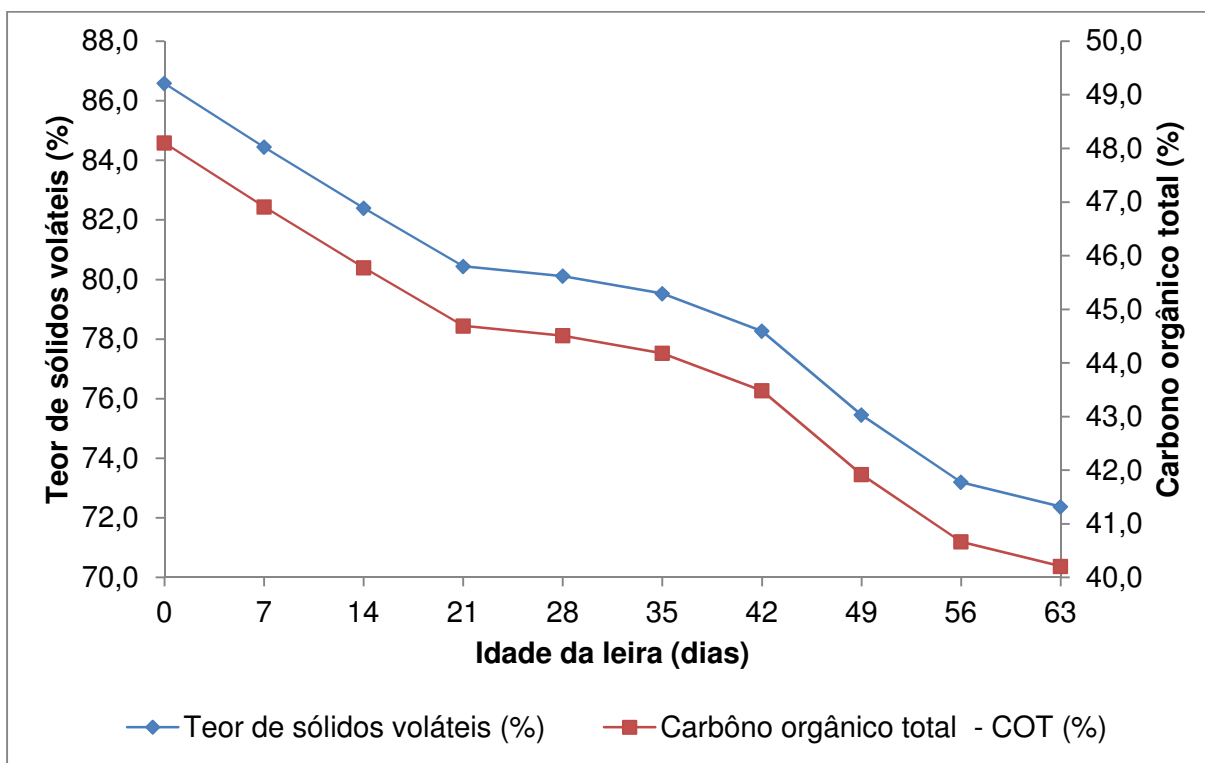


Figura 19 - Teor de sólidos voláteis e COT durante a compostagem

A redução dos valores dos sólidos voláteis e do COT não se mostrou constante ao longo do tratamento. Uma redução constante foi verificada até o 21º dia, quando o parâmetro se tornou quase estável até o 42º dia (Figura 19). O comportamento pode ser compreendido pela redução do teor de água a níveis inferiores ao ideal para a realização da compostagem, acompanhado de decréscimo na temperatura, o que resulta na menor taxa de degradação da matéria orgânica pelos organismos, diminuindo então a taxa de redução do teor de sólidos voláteis e de carbono orgânico total.

A partir do 42º dia, após correção do teor de água e restabelecimento da temperatura, nova queda foi verificada até o 56º dia, quando o parâmetro voltou a mostrar-se estável (Figura 19), indicando agora o início da Fase de Maturação.

5.1.5 Análises biológicas

Nas duas Etapas, os resultados encontrados mostraram boa eficiência do processo na redução de microrganismos indicadores. No final do processo houve redução de 99,9% dos coliformes totais e dos coliformes termotolerantes (Quadro 2).

Idade da leira (dias)	Coliformes totais (UFC/g)	Coliformes termotolerantes (UFC/g)
0	$1,2 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
63	$1,2 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$

Quadro 2 - Decaimento biológico em cama de frango

As temperaturas do centro da leira foram responsáveis pela redução dos microrganismos indesejáveis. A literatura recomenda que, para eliminação adequada de patógenos, a temperatura deva alcançar, no mínimo, 55 °C, sendo mantida por um período de 3 dias (INÁCIO e MILLER, 2009).

Não houve detecção de *Salmonella sp.* na cama de frango utilizada na pilha de compostagem. Esse resultado pode estar relacionado aos cuidados no aviário experimental, sendo o vazio sanitário e o manejo entre lotes de grande preocupação para a não interferência entre os estudos.

O ciclo de aeração realizado durante a Etapa 2 promoveu menor taxa de ressecamento do material, favorecendo a manutenção das condições ideais de degradação biológica da matéria orgânica, fator que acarreta numa maior temperatura da massa em compostagem, garantindo a redução do número de organismos patogênicos no material.

5.2 Experimento 2 – Avaliação de sistemas de compostagem no tratamento da cama de frango

5.2.1 Temperatura e teor de água

No Tratamento 1 (Compostagem em leira estática aerada de cama de frango de maravalha), observou-se aumento gradativo da temperatura do material, a partir da montagem da leira (dia zero), atingindo 65 °C no centro da leira, ao terceiro dia de compostagem (Figura 20).

O aumento inicial da temperatura pode ser compreendido pelo estabelecimento de condições adequadas ao estabelecimento de comunidades de organismos degradadores da matéria orgânica, como teor de água adequado, disponibilidade de substrato de fácil degradação e disponibilidade de oxigênio na leira.

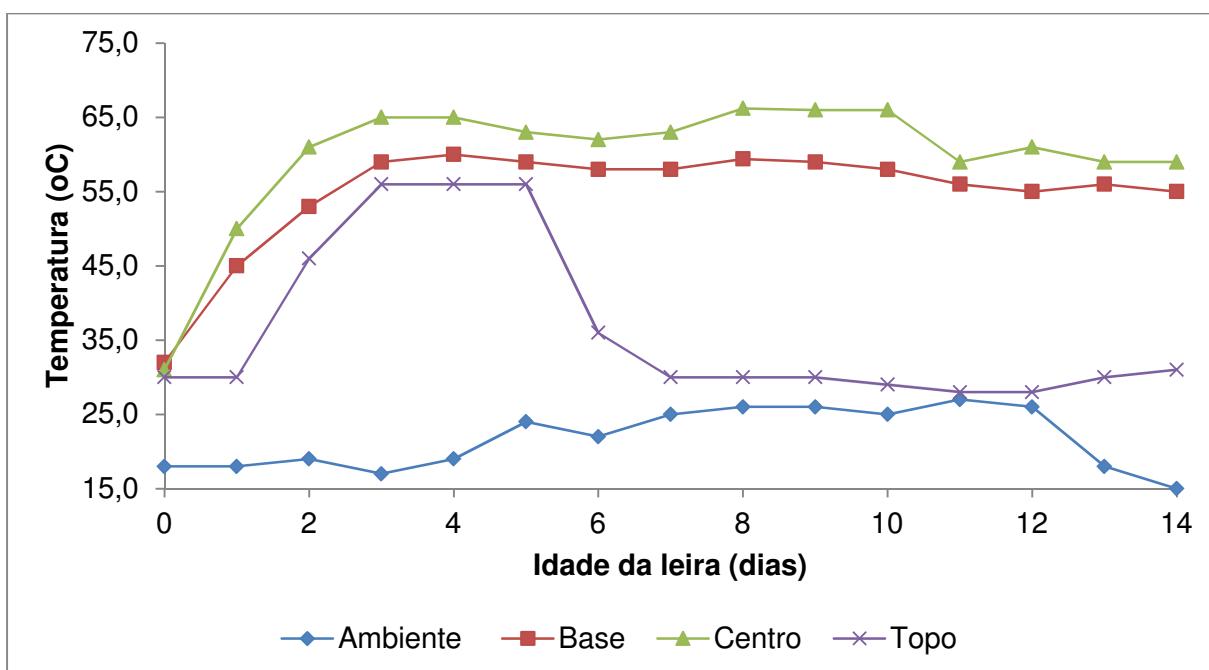


Figura 20 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 1

A temperatura do material no topo, após atingir o pico de temperatura, ocorrido no quinto dia de tratamento, começou a decrescer, não apresentando valores esperados para uma adequada degradação da matéria orgânica, com uma média de

36,4 °C. Tal parâmetro pode ter sido afetado pela proximidade com o ar atmosférico, proporcionando um gradiente de temperatura e também maior perda de água (Figura 21).

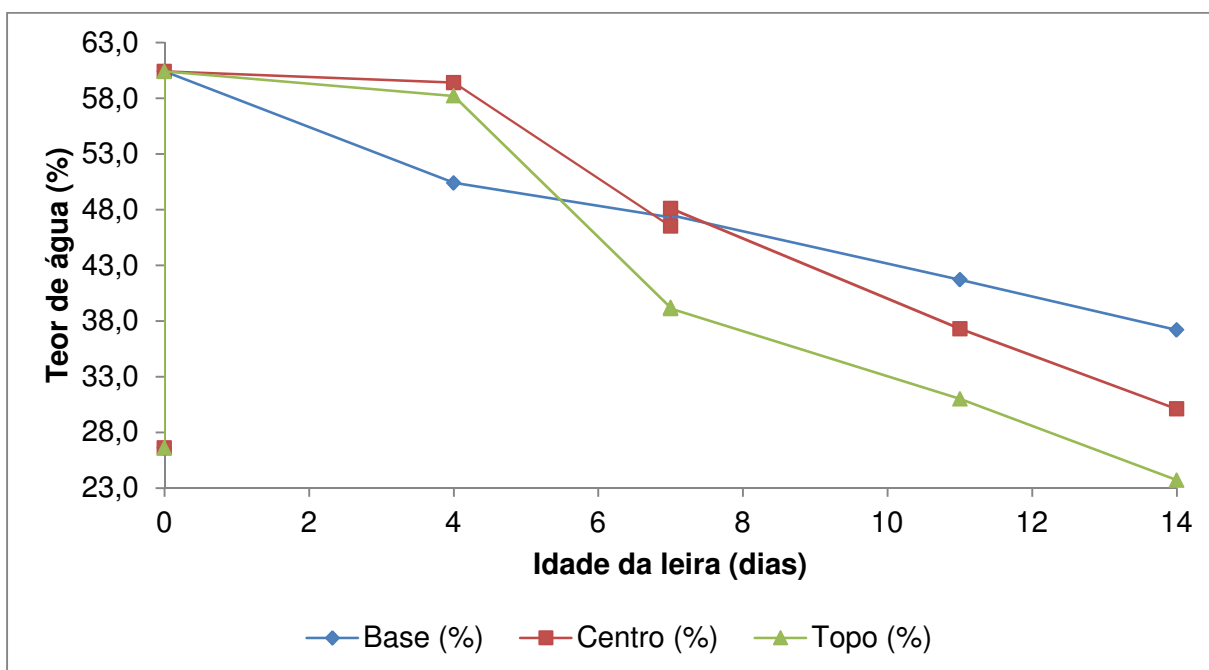


Figura 21 - Teor de água no material durante o Tratamento 1

No Tratamento 1, a pressão fornecida pela bomba de ar, aumentou as trocas com a atmosfera, influenciou o teor de água das três alturas da leira (base, centro e topo). Inicialmente, a base perdeu maior quantidade de água, decorrente do acomodamento das partículas da leira, associada à pressão exercida pelo peso do material, uma vez que foi verificada perda de água pelo chão do pátio. No final do experimento, o topo apresentou maior decaimento do teor de água, como resultado da evaporação da água para a atmosfera, uma vez que a bomba de ar foi acionada juntamente ao sistema de umedecimento.

Durante os dois primeiros dias do Tratamento 2 (Compostagem por reviramento de cama de frango de maravalha), a temperatura aumentou, chegando a 66 °C no centro da pilha. Quando um decréscimo foi observado até o quarto dia, decorrente do decréscimo do teor de água no material. Após a correção de tal parâmetro, a temperatura tornou a apresentar-se crescente até o sexto dia, quando se tornou superior ou próxima a 55 °C (Figura 22).

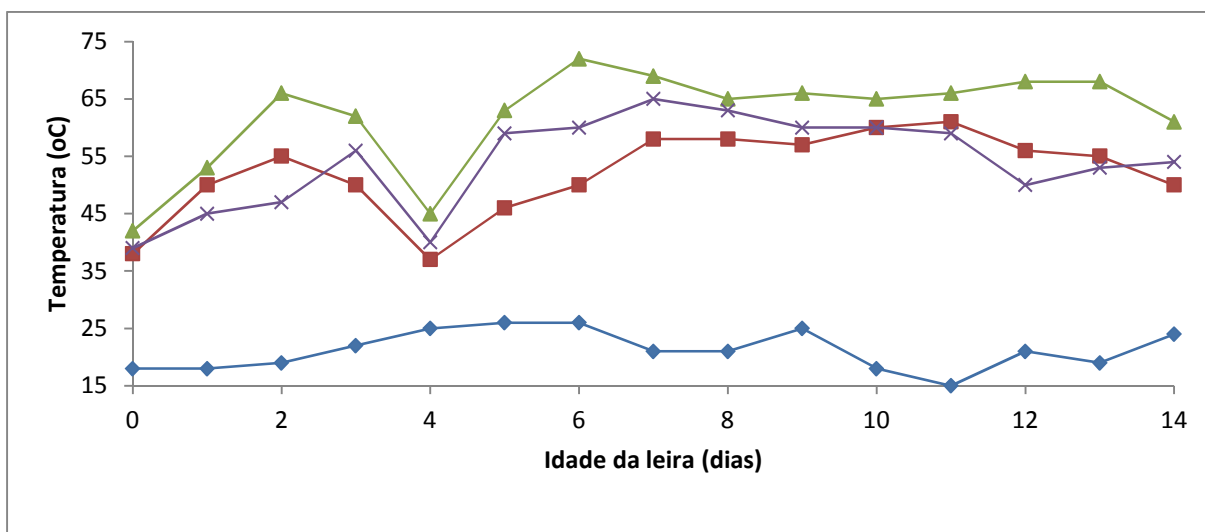


Figura 22 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 2

No Tratamento 2, o centro da leira apresentou os maiores valores de temperatura, com uma média de 62,1 °C; seguido do topo com uma média de 54 °C e da base, com 52,1 °C. Esses valores se devem a maior proximidade da base e do topo com o meio externo, favorecendo a perda de calor da massa.

No Tratamento 3 (Compostagem por reviramento de cama de frango de casca de café), a temperatura mostrou-se crescente até o terceiro dia, atingindo um valor máximo de 60 °C no centro da pilha. Tal parâmetro sofreu uma queda no quarto dia, decorrente da diminuição do teor de água, tornando a subir após a correção do teor, mostrando-se, até o final do tratamento, sempre próximo ou superior a 55 °C (Figura 23).

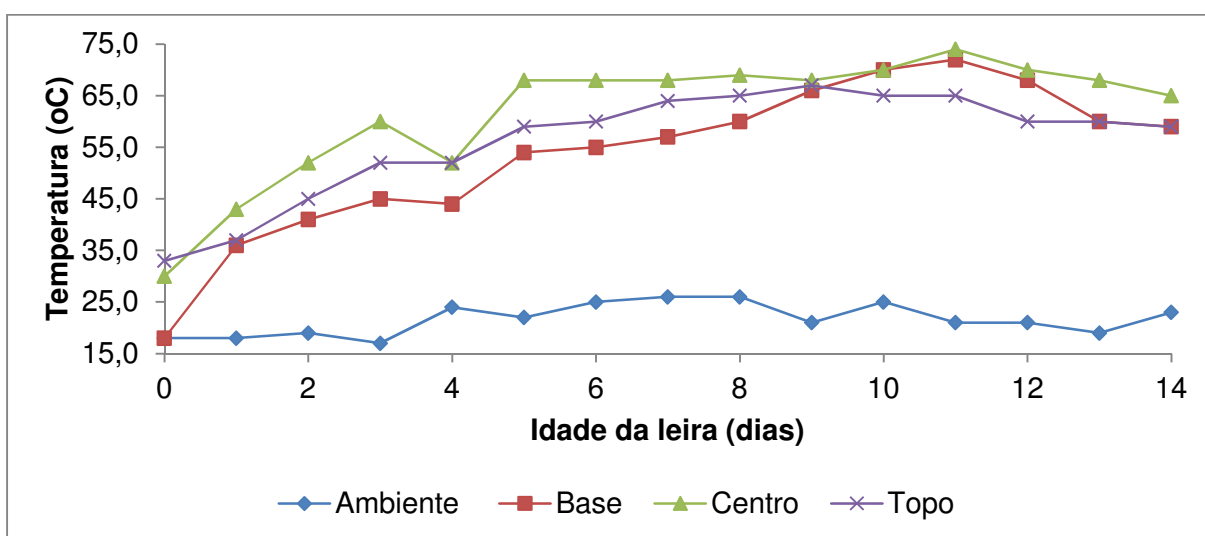


Figura 23 - Temperatura ambiente e do material durante o Tratamento 3

No Tratamento 3, o centro da pilha apresentou os maiores valores de temperatura, com uma média de 61,7 °C; seguido do topo com uma média de 56,2 °C e da base, com 53,7 °C. Sendo que no material do centro, a retenção de calor é favorecida pelas condições isolantes fornecidas pelo material, aliado à distância ao meio externo.

Quanto aos valores máximos de temperatura observados no centro da leira e das pilhas, os tratamentos por reviramento apresentaram valores superiores quando comparados ao sistema de leira estática aerada. O Tratamento 3 apresentou uma temperatura máxima de 74 °C, seguido do Tratamento 2, com uma temperatura máxima de 72 °C e do Tratamento 1, com 66,2 °C. A insuflação de ar, realizada em ciclos diários no sistema de leiras aeradas, favoreceu a perda de calor.

A cama de frango de maravalha proveniente do aviário apresentava teor de água de 26,6%, e a cama de casca de café apresentava teor de 32,05%, sendo assim, foi necessária a correção do teor de água para garantir a atividade biológica responsável pelo processo de degradação da matéria orgânica. A primeira teve seu valor corrigido para 60,4% e a segunda para 47,1% (Figura 24). A diferença no teor de água inicial pode explicar a menor temperatura máxima atingida no início do Tratamento 3 (60 °C), alcançada ao quarto dia de tratamento (Figura 23), se comparado ao Tratamento 2 (66 °C), alcançada ao terceiro dia de tratamento (Figura 22).

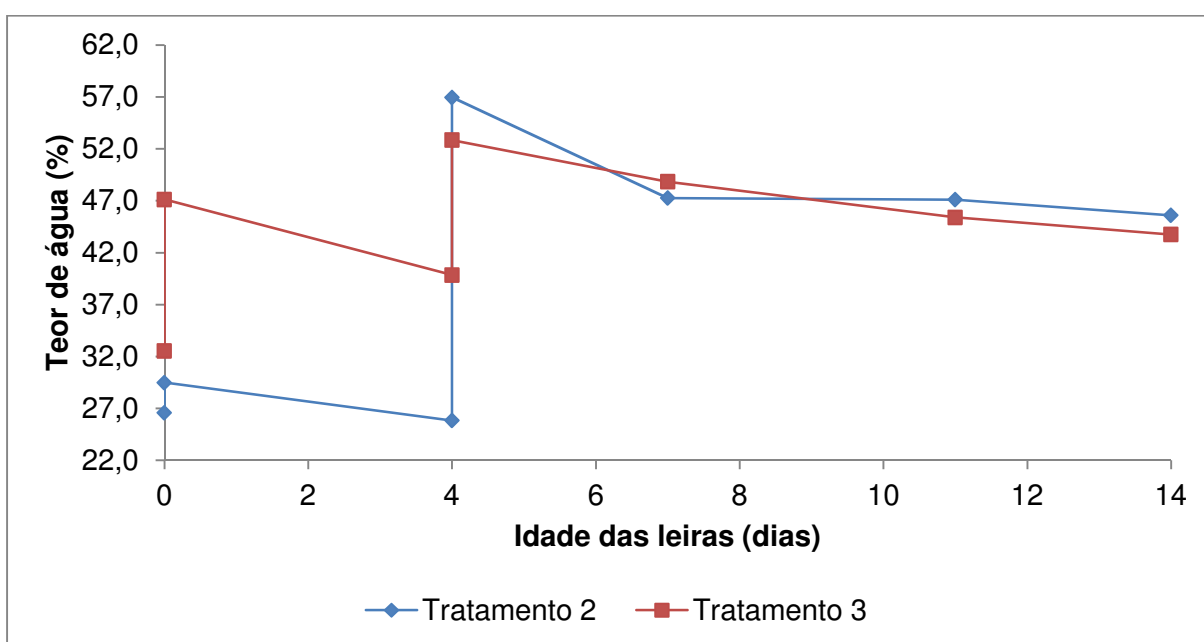


Figura 24 - Teor de água na cama de frango submetida a diferentes tratamentos

Os Tratamentos 2 e 3 apresentaram decréscimo do teor de água, atingindo valores inferiores a 45% ao quarto dia de tratamento (25,8%, para Tratamento 2 e 39,8%, para Tratamento 3), demandando correção de tal parâmetro durante a realização dos experimentos, visando garantir a eficiência do processo de compostagem (Figura 24). Os decréscimos verificados são decorrentes da perda de água por evaporação.

Durante o período de realização do experimento não houve registros de eventos pluviométricos que pudessem ocasionar aumento do teor de água do material.

5.2.2 pH

Pequena diferença foi encontrada no pH inicial das camas de diferentes substratos. A cama de maravalha apresentava pH de 8,3, a cama de casca de café, 8,0 (Figura 25). Os valores encontrados para o pH da cama bruta coincidem com a literatura, que afirma que o resíduo apresenta pH alcalino (SANTOS, 2008).

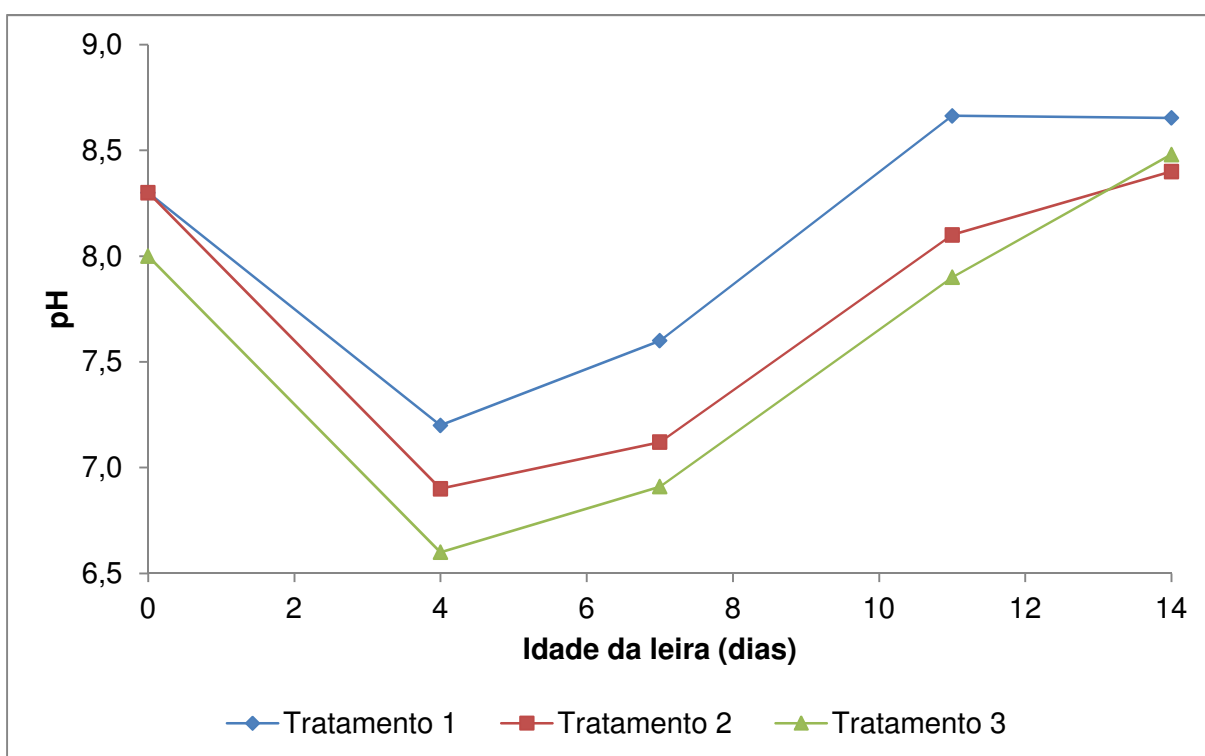


Figura 25 - pH da cama de frango submetida a diferentes tratamentos

Os três tratamentos apresentaram comportamento bastante similar durante o período de compostagem. O valor inicialmente alto de pH pode ter atuado dificultando o início do processo de compostagem, favorecendo a liberação de amônia pelo material.

No Tratamento 1, verificou-se um acréscimo de 4,3% no valor inicial do pH da cama; no Tratamento 2, um acréscimo de 1,2% e 6,0% durante o Tratamento 3. Contudo, não houve diferença significativa do pH das camas ao final dos tratamentos (Figura 25).

5.2.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total

O teor de sólidos voláteis indica a evolução do processo de degradação da matéria orgânica, sendo que seu decréscimo indica eficiência do processo de estabilização dos resíduos.

Os resultados encontrados mostram que houve diminuição do teor de sólidos voláteis e de COT em todos os tratamentos, porém houve maior redução nas pilhas reviradas, em decorrência do estímulo à degradação pela aeração promovida pelo reviramento.

No Tratamento 1, houve redução de 8,8%; no Tratamento 2, redução de 14,9%; e no Tratamento 3, redução de 15,0% nos valores desses parâmetros durante o período de tratamento adotado (Figuras 26).

Os maiores valores observados no decaimento do teor de sólidos voláteis e de COT, durante o Tratamento 3, confirmaram o que se observou na análise de temperatura: o referido tratamento também apresentou maior valor médio de temperatura, indicando maior atividade metabólica de degradação.

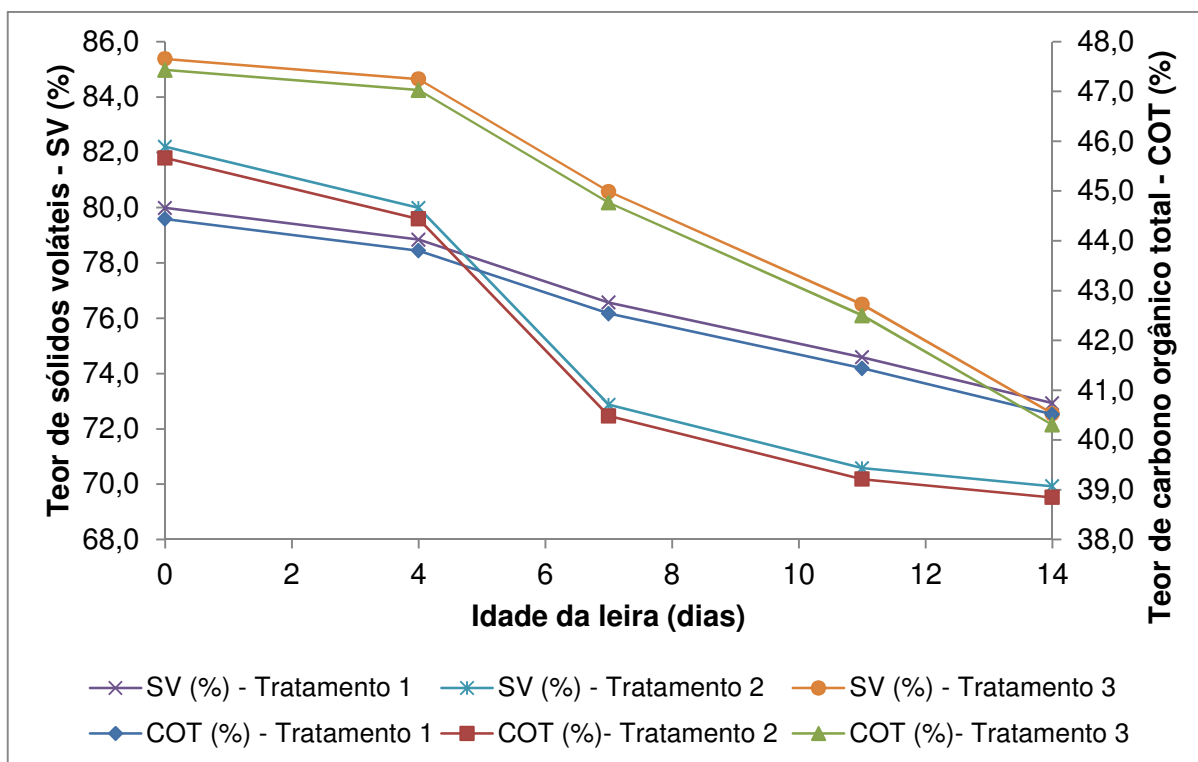


Figura 26 - Teor de sólidos voláteis e de COT na cama de frango submetida a diferentes tratamentos

5.2.4 Nitrogênio

Nos três tratamentos propostos verificou-se diminuição do teor de nitrogênio total dos resíduos. O Tratamento 2 apresentou maior valor de decaimento, 47,1%, seguido do Tratamento 3, 43,8%, sendo a menor redução verificada no Tratamento 1, 38,9% (Quadro 3).

	Nitrogênio total (%)		
	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
0 dias	2,5	2,5	2,3
14 dias	1,8	1,7	1,6

Quadro 3 - Nitrogênio total na cama de frango submetida a diferentes tratamentos

Parte do nitrogênio total inicialmente presente nas camas de frango foi volatilizado em forma de amônia. Avaliando-se a concentração de nitrogênio amoniacal nas camas antes e depois dos tratamentos, verificou-se maior redução no Tratamento 2, 29,1%, seguido do Tratamento 3, que apresentou uma redução de 27,9%, sendo a menor redução verificada para o Tratamento 1, 23,1% (Quadro 4).

	Nitrogênio amoniacal (mg/Kg)		
	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
0 dias	13,4	13,4	12,2
14 dias	10,3	9,5	8,8

Quadro 4 - Nitrogênio amoniacal na cama de frango submetida a diferentes tratamentos

Os altos valores de pH, teor de água e temperatura são os principais fatores que contribuem para aumentar a volatilização da amônia. O ácido úrico, presente na excreta dos frangos, é biologicamente decomposto, podendo gerar amônia (NH_3), que é um gás e volatiliza; e amônio (NH_4^+), que é um íon. O predomínio de uma dessas formas depende do valor do pH. Em valores de pH superiores a 8,3, há predomínio de formação de amônia, enquanto que em valores inferiores, há predomínio de formação de amônio (KIEHL, 2004). Assim, como os substratos utilizados no presente trabalho apresentavam pH superior a 7,0, o nitrogênio amoniacal desses resíduos deve predominar na forma de amônia, que é perdida para o meio.

As maiores reduções na concentração de nitrogênio total e do nitrogênio amoniacal no material, verificadas durante o Tratamento 2, podem ser justificadas pela combinação da alta temperatura associada aos valores de pH, uma vez que, apesar de no Tratamento 3 ter sido atingido os maiores valores de temperatura, o pH foi menor.

5.2.5 Análises biológicas

Quanto à eficiência na remoção de coliformes totais, o Tratamento 1, proporcionou 97,1% de remoção; o Tratamento 2 proporcionou uma eficiência de 99,3% e o Tratamento 3, 98,3% (Figura 27). Deve-se ressaltar que, nos três tratamentos, a redução de coliformes totais observada pode ser considerada boa.

No Tratamento 2, o maior decréscimo de coliformes totais foi verificado até o sétimo dia de tratamento. No Tratamento 3, esse decréscimo foi mais acentuado até o 11º dia de tratamento. Quanto ao Tratamento 1, a redução observada se deu até o último dia de tratamento.

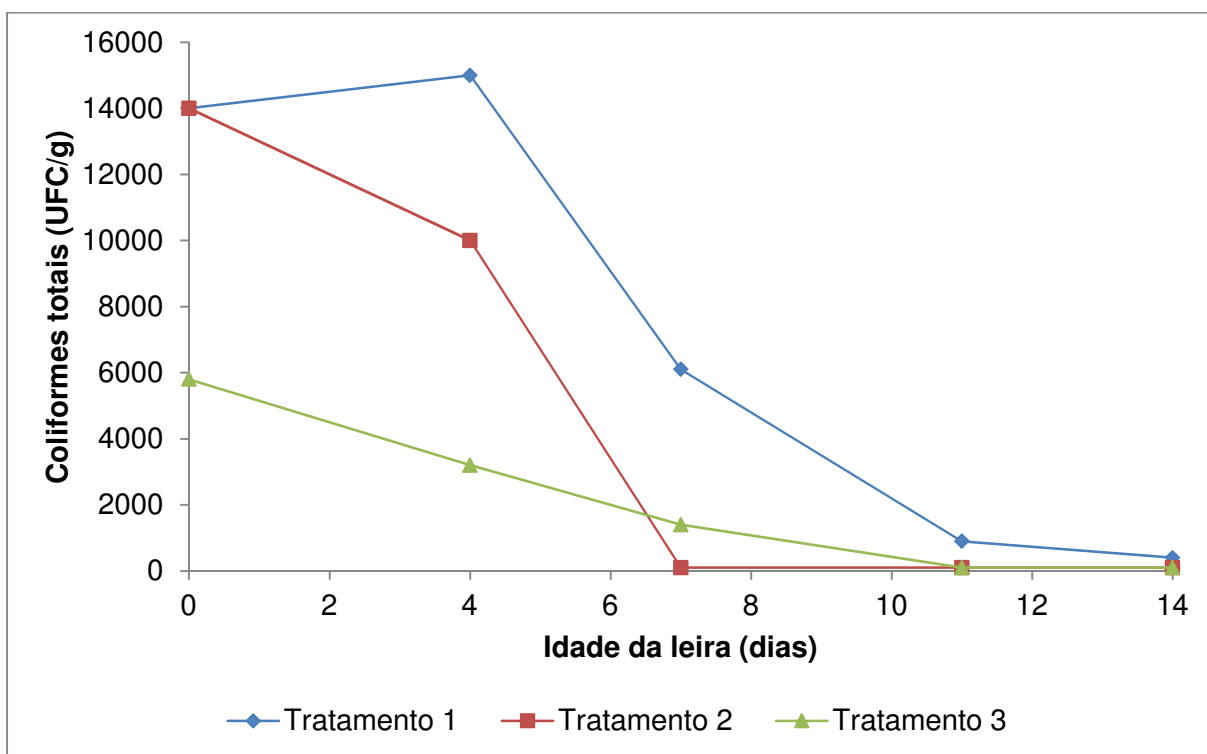


Figura 27 - Remoção de coliformes totais durante os diferentes tratamentos

Na remoção de coliformes termotolerantes, os Tratamento 1 e 2 apresentaram eficiência de 99,2% e o tratamento 3 alcançou eficiência de 97,1% (Figura 28).

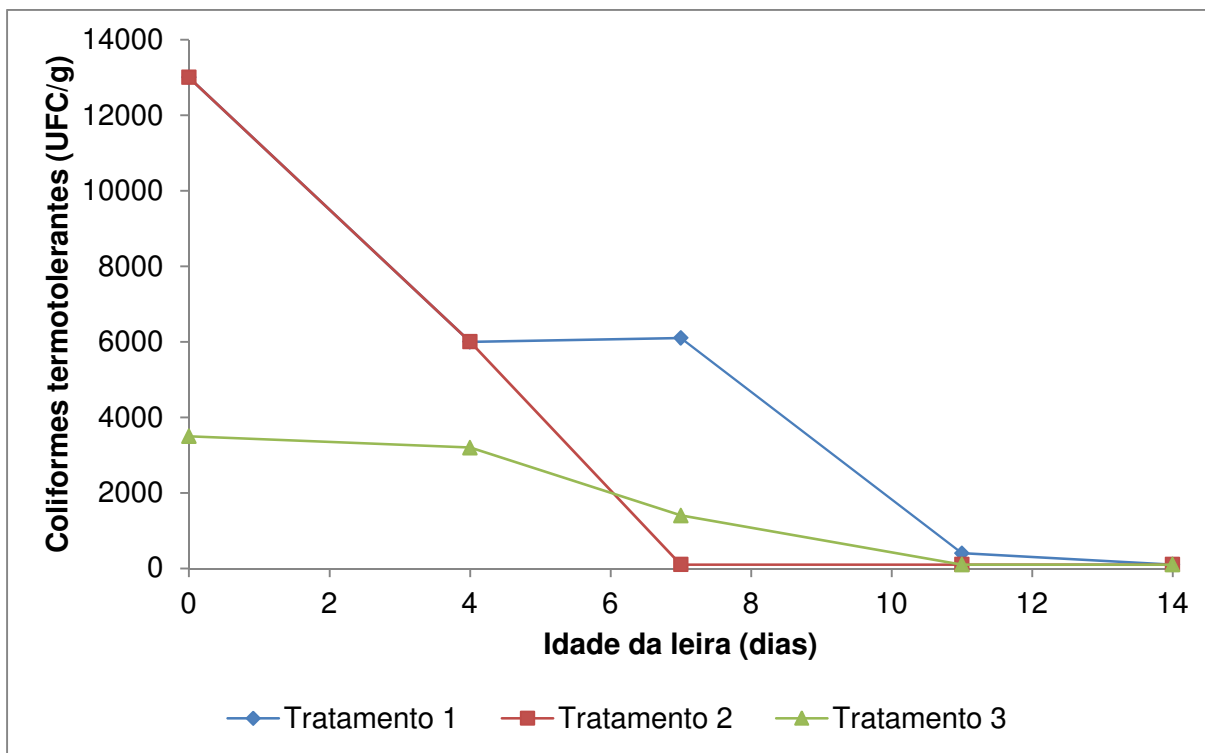


Figura 28 - Remoção de coliformes termotolerantes durante os diferentes tratamentos

Os resultados encontrados para o decaimento de coliformes totais e coliformes termotolerantes mostram eficiência dos três tratamentos na redução da carga biológica, resultantes das altas temperaturas alcançadas durante os tratamentos, demonstrando a eficiência dos métodos estudados na remoção de contaminação bacteriológica e, portanto, a importância da adição destas técnicas no tratamento da cama de frango antes de sua reutilização.

A presença de *Salmonella sp.* não foi identificada em nenhuma das camas utilizadas no experimento.

Os resultados encontrados mostram maior eficiência das pilhas por reviramento na redução da carga biológica e na promoção da liberação de amônia se comparadas à leira estática aerada. A mistura do material, proporcionado pelo reviramento da massa em compostagem; propicia maior homogeneização do material, misturando as diferentes camadas e expondo porções mais frias ao efeito das altas temperaturas. Nas leiras estáticas aeradas, o material externo (base e topo) sofre alta influência do meio externo, sendo o tratamento dessa porção do material comprometido.

5.3 Experimento 3 – Avaliação do processo de compostagem em leira estática aerada no tratamento de cama de frango visando a reutilização e determinação da melhor metodologia para quantificação de nitrogênio total e amoniacal desses resíduos

5.3.1 Temperatura e teor de água

As temperaturas aferidas no centro, no topo e na base da leira mostraram-se crescentes até o terceiro dia, alcançando um valor máximo de 71 °C no centro, no topo 62 °C e 49 °C na base, a partir de então os valores tornaram-se estabilizados (Figura 29), indicando a adequação da taxa de aeração adotada na manutenção de temperaturas termofílicas na leira de compostagem, durante o período de tratamento.

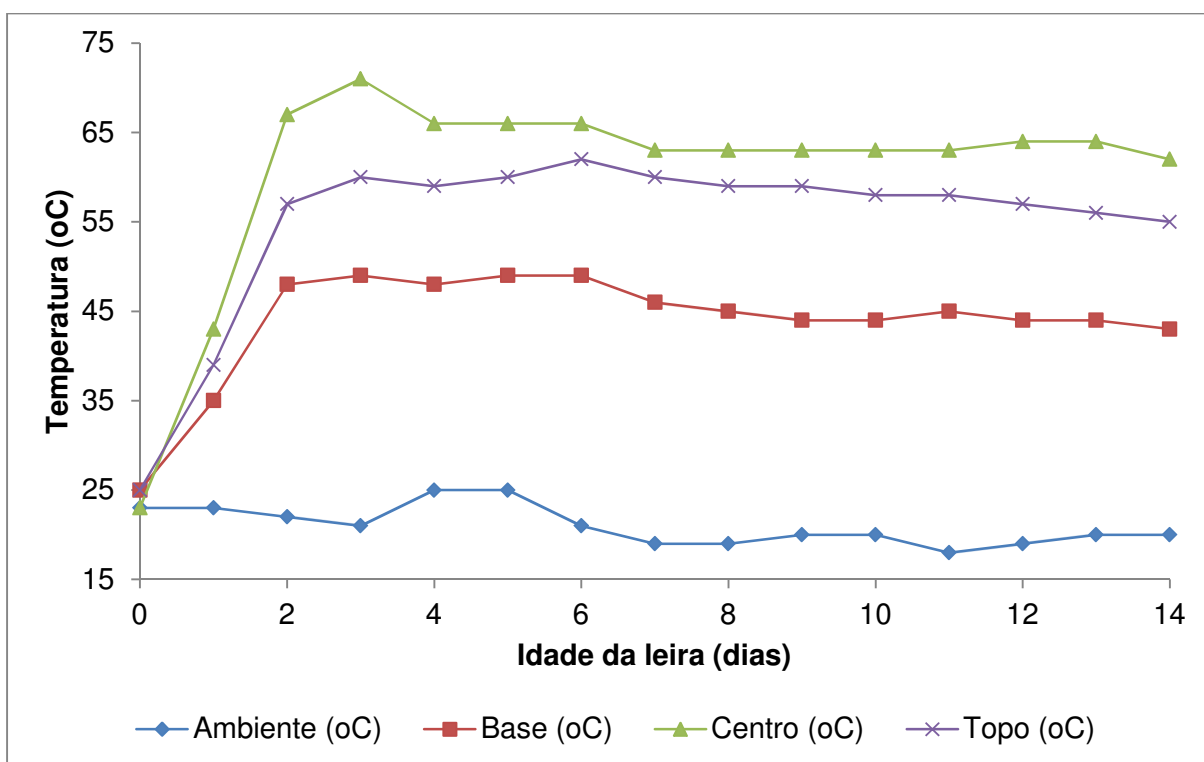


Figura 29 - Temperatura ambiente e em diferentes posições da leira, durante a compostagem

A maior temperatura média encontrada no material ocorreu no centro da leira, que apresentou uma média de 60,5 °C, seguido do topo, com uma média de 54,9 °C e da base, com 43,9 °C.

A cama utilizada para montagem do experimento apresentou baixo teor de água (20,1%), sendo necessária a correção de tal parâmetro a fim de garantir a atividade biológica de degradação da matéria orgânica, o material da leira após montagem apresentou teor de 65,8% (Figura 30).

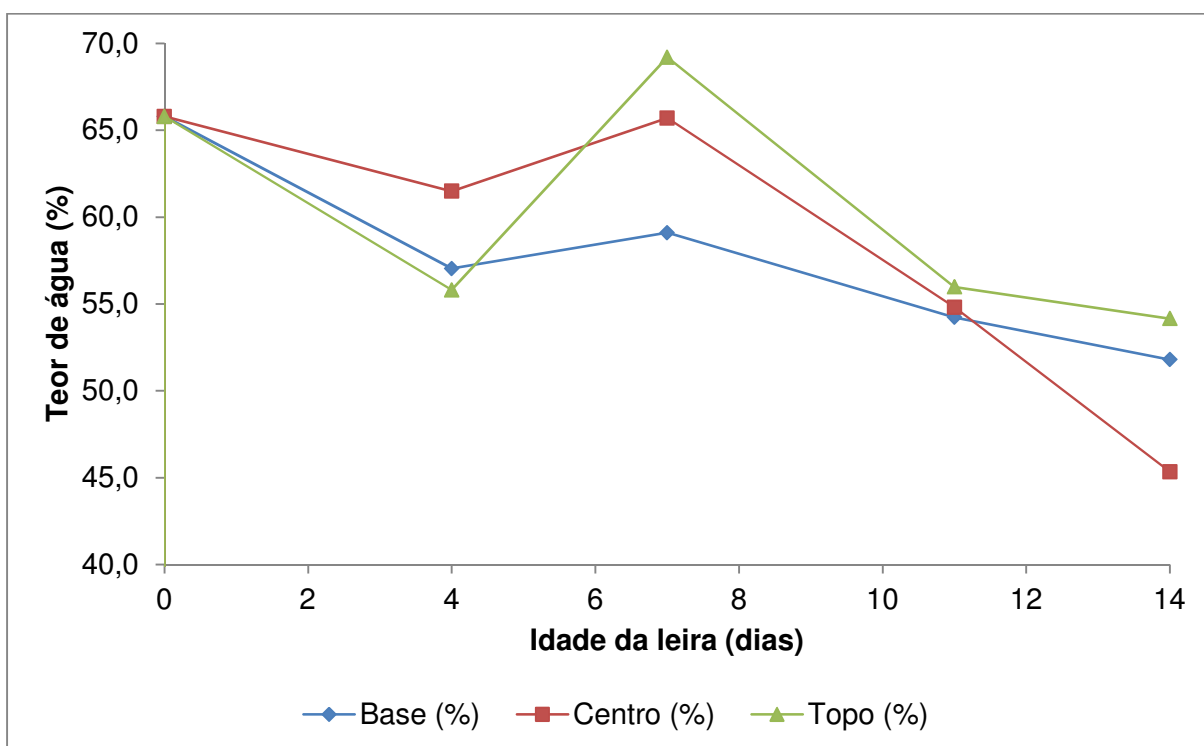


Figura 30 – Teor de água da leira durante a compostagem

O teor de água apresentou-se decrescente, para as três alturas da leira, até o 4º dia de experimento, quando seu valor tornou-se crescente até o 7º dia, o maior crescimento foi verificado no material do topo da leira. Tal aumento foi decorrente dos eventos pluviométricos registrados durante o período de condução do experimento (Figura 31).

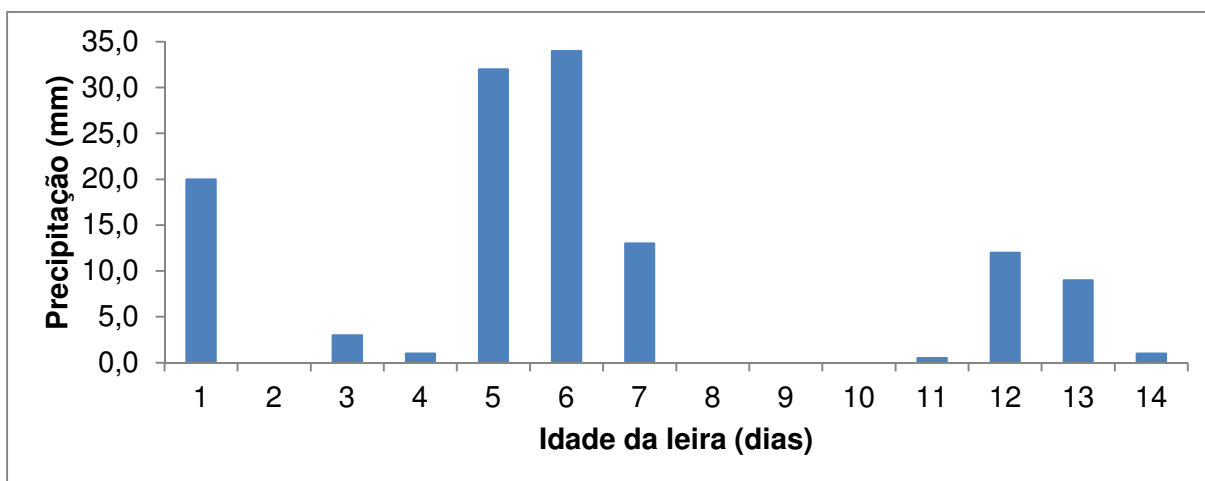


Figura 31 - Eventos pluviométricos registrados durante a realização do experimento

A exposição da leira de compostagem a eventos pluviométricos intensos, além de alterar, de forma não controlada, o teor de água do material, pode dificultar a aeração, uma vez que atua compactando a massa de resíduos.

5.3.2 pH

A cama bruta apresentava pH de 8,5, sofrendo um decaimento até o 4º dia, alcançando um valor de 8,2. Tal valor se manteve estável até o 7º dia, quando iniciou um aumento em seu valor, atingindo ao final de 14 dias, um pH de 8,7 (Figura 32).

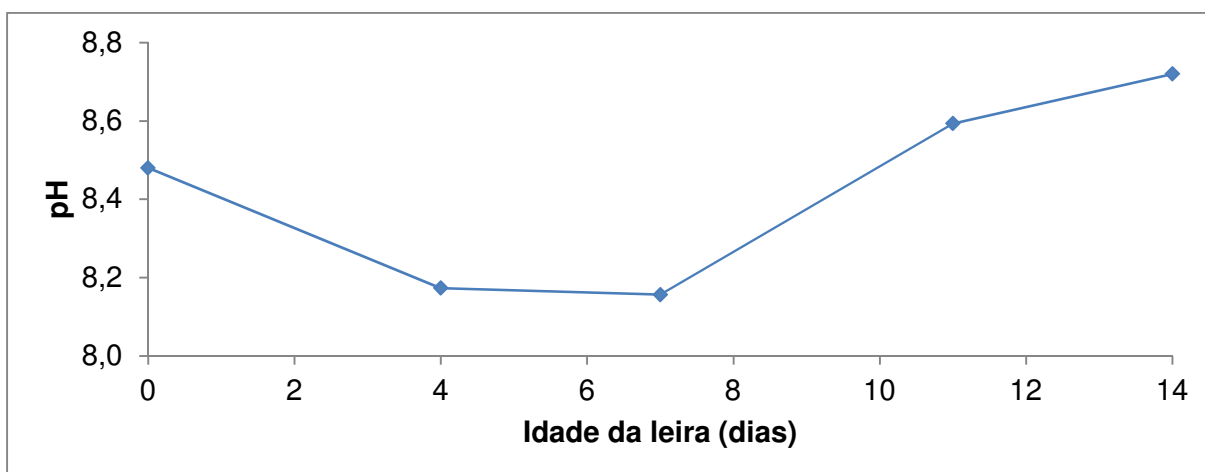


Figura 32 - pH na leira de compostagem

5.3.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total

Como resultado da degradação da matéria orgânica, houve redução de 17,9% no teor de sólidos voláteis e de COT. A redução foi mais intensificada a partir do 4º dia, possivelmente pela estabilização, em tal período, da biota responsável pela decomposição (Figura 33).

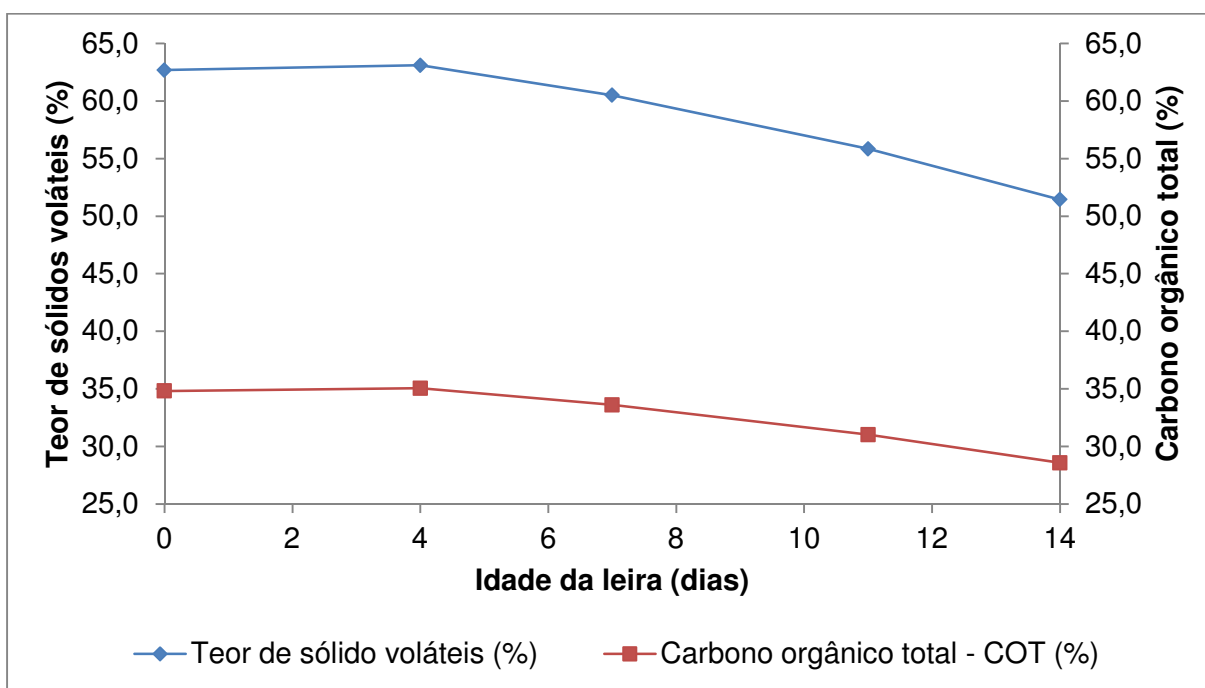


Figura 33 - Teor de sólidos voláteis e COT na leira de compostagem

5.3.4 Nitrogênio

Os resultados obtidos com as análises de nitrogênio total em amostras secas e úmidas mostraram maior percentual deste parâmetro nas amostras úmidas, em relação às amostras secas em estufa. Possivelmente, esta diferença se deva a volatilização de N durante a secagem do material. Houve um decréscimo de, aproximadamente, 20% no teor de nitrogênio total nas amostras secas analisadas quando comparadas às úmidas. (Figura 34).

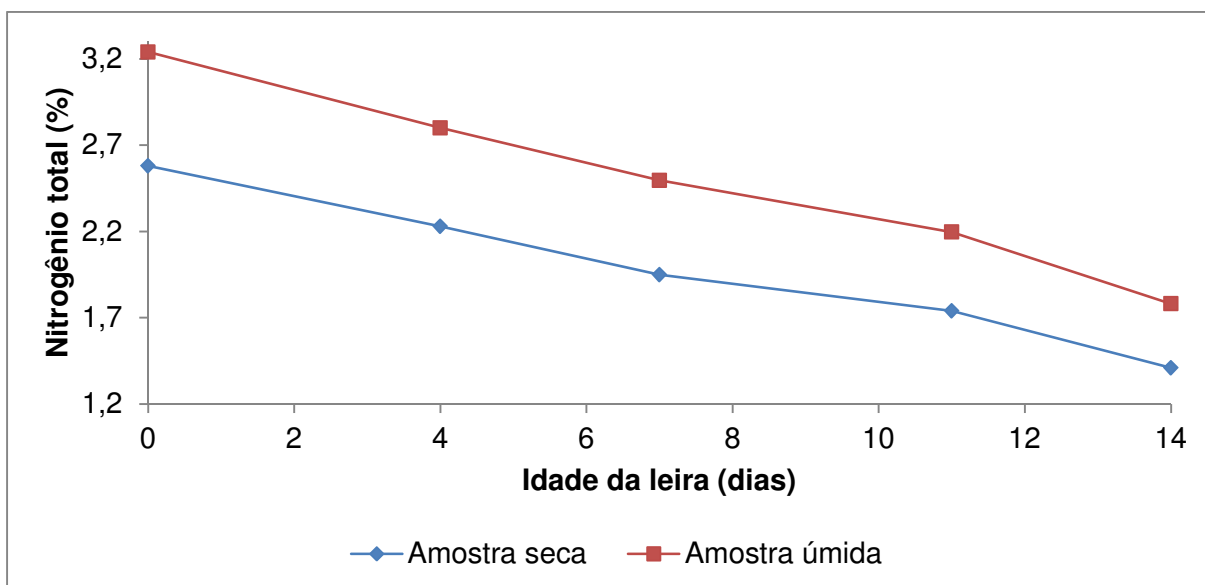


Figura 34 - Nitrogênio total na cama de frango submetida à compostagem

O mesmo comportamento foi observado na análise de nitrogênio amoniacal, ao não secar as amostras em estufa, pode-se comprovar um aumento de aproximadamente 20% nos teores de nitrogênio amoniacal (Figura 35).

O resultado encontrado mostra que a secagem do material realizada antes das análises de nitrogênio, total e amoniacal, pode subestimar os resultados, em especial quando a determinação é realizada em resíduos com elevada concentração de nitrogênio na sua forma amoniacal, que se perde durante o processo por evaporação, caso característicos das camas de frango.

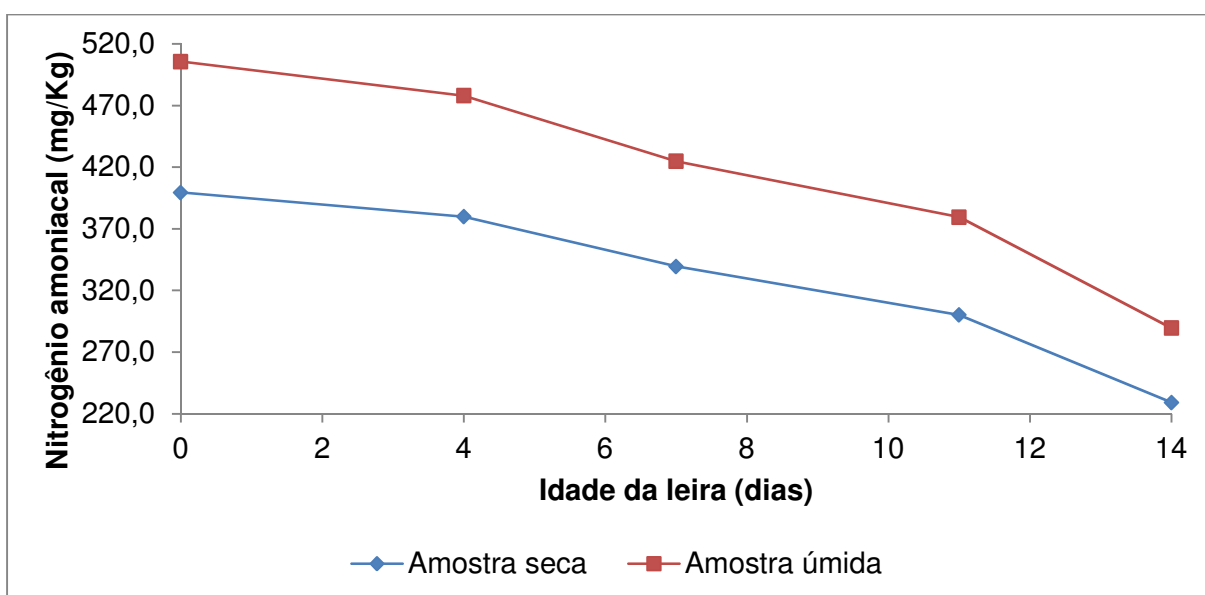


Figura 35 - Nitrogênio amoniacal na cama de frango submetida à compostagem

5.3.5 Análises biológicas

Os resultados obtidos para análise de coliformes totais apenas identificou a presença desses organismos na cama bruta. Já a presença de *E. coli* não foi identificada em quaisquer das amostras.

A secagem do material, realizada antes da quantificação de nitrogênio total e amoniacal em cama de frango, resulta em valores subestimados de tais parâmetros.

5.4 Experimento 4 – Avaliação do processo de compostagem em leira estática aerada no tratamento de cama de frango visando a reutilização e determinação de uma metodologia para quantificação de amônia volatilizada desses resíduos

5.4.1 Temperatura e teor de água

A temperatura é uma das principais variáveis de controle dos estudos sobre compostagem, sendo muitas vezes tratada pelos autores como o parâmetro que melhor indica a evolução do processo (FERNANDES, 1999).

As temperaturas, aferidas no centro, no topo e na base da leira, mostraram-se crescentes até o quinto dia, alcançando um valor máximo de 69 °C no centro, no topo 61 °C e 56 °C na base, a partir de então os valores tornaram-se estabilizados (Figura 36).

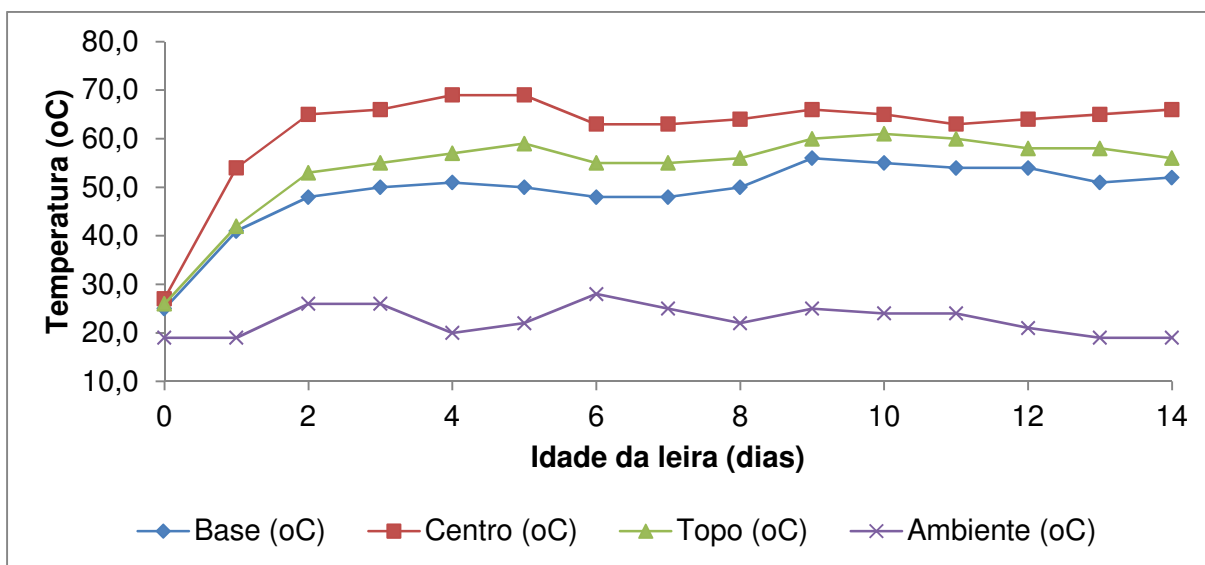


Figura 36 - Temperatura ambiente e em diferentes posições da leira

A elevação da temperatura é resultado das condições favoráveis para a ação biológica de degradação, como teor de água, disponibilidade de substrato de fácil degradação e de oxigênio.

A maior temperatura média encontrada foi no centro da leira, que apresentou uma média de 61,9 °C, seguido do topo, com uma média de 54,1 °C e da base, com 48,9 °C.

A cama utilizada na montagem do experimento apresentou baixo teor de água (35%), sendo necessária a correção de tal parâmetro a fim de garantir a atividade biológica de degradação da matéria orgânica (63,9%) (Figura 37).

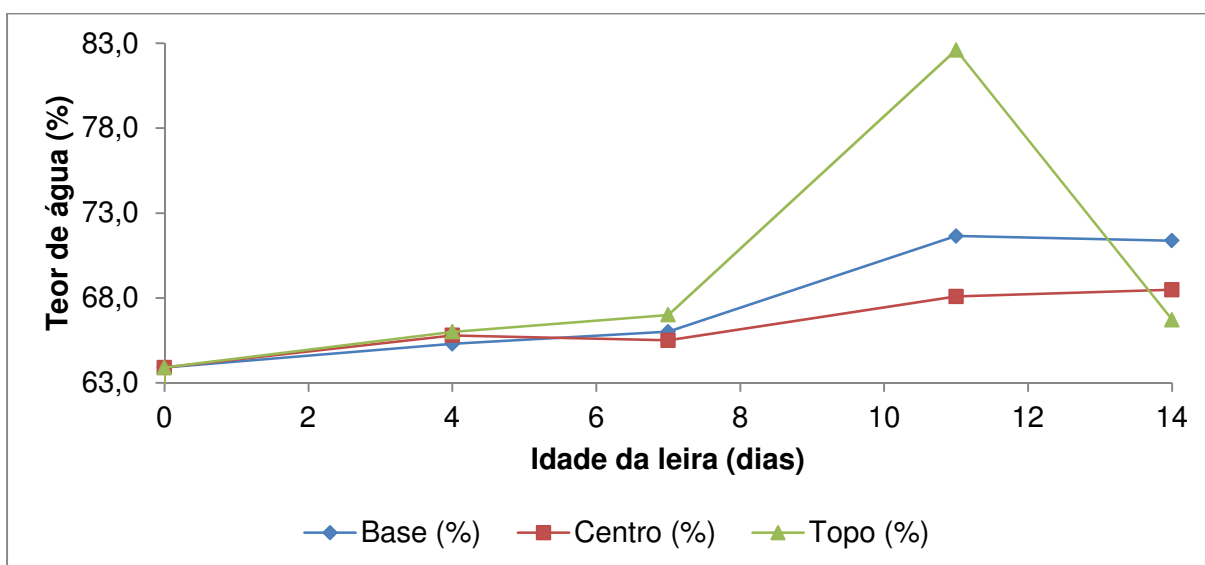


Figura 37 – Teor de água da leira durante a compostagem

O teor de água foi crescente durante a realização do experimento, o que pode ser compreendido pelos eventos pluviométricos ocorridos (Figura 38). Estes não influenciaram negativamente o processo de compostagem, ao contrário favoreceram a manutenção do teor de água em níveis desejáveis para o tratamento, sem demandar o umedecimento.

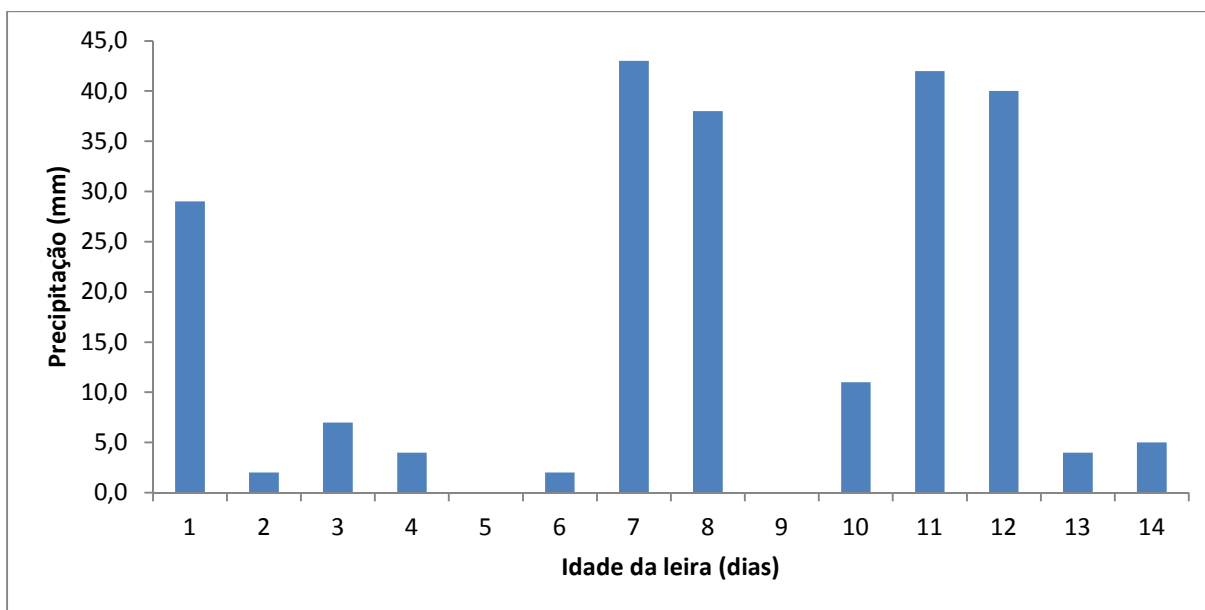


Figura 38 - Eventos pluviométricos registrados durante a realização do experimento

5.4.2 pH

A cama bruta apresentou pH de 8,8, sofrendo um decaimento até o 7º dia, alcançado um valor de 7,7. A partir de então, o valor para tal parâmetro iniciou um acréscimo em seu valor, atingindo ao final de 14 dias, um pH de 8,9 (Figura 39). No início do tratamento, ácidos orgânicos são gerados devido à degradação de fontes de carbono facilmente degradável, como monossacarídeos, diminuindo o pH do meio.

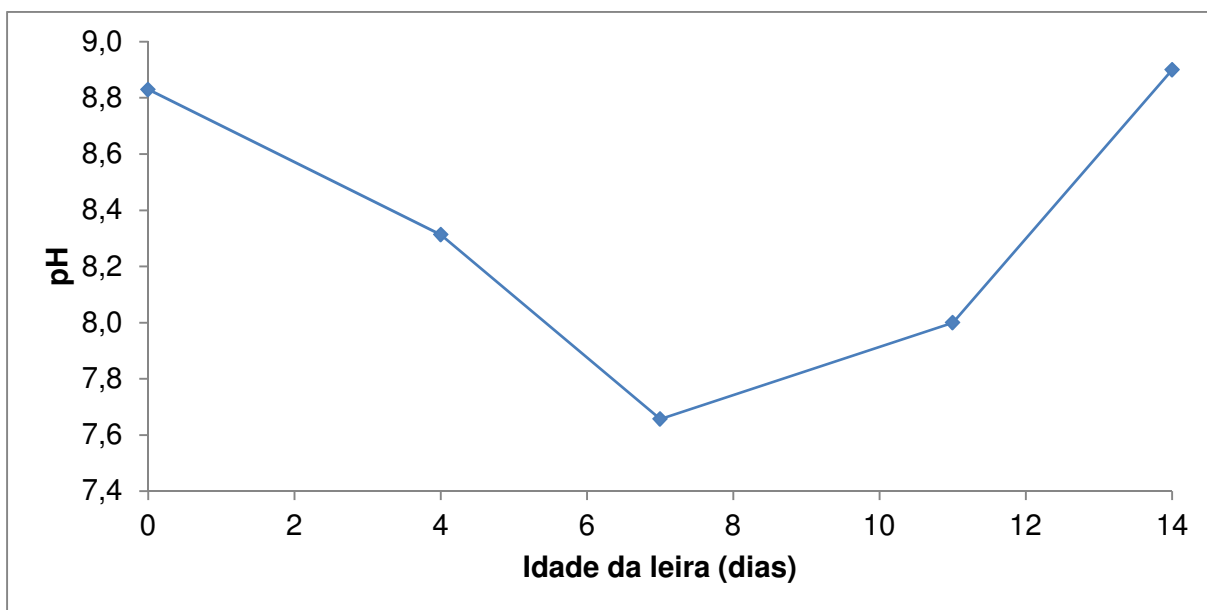


Figura 39 - pH na leira de compostagem

5.4.3 Teor de sólidos voláteis e carbono orgânico total

Como resultado da degradação da matéria orgânica, houve redução de 8,9% no teor de sólidos voláteis e de COT. A redução se mostrou constante ao longo do tratamento (Figura 40).

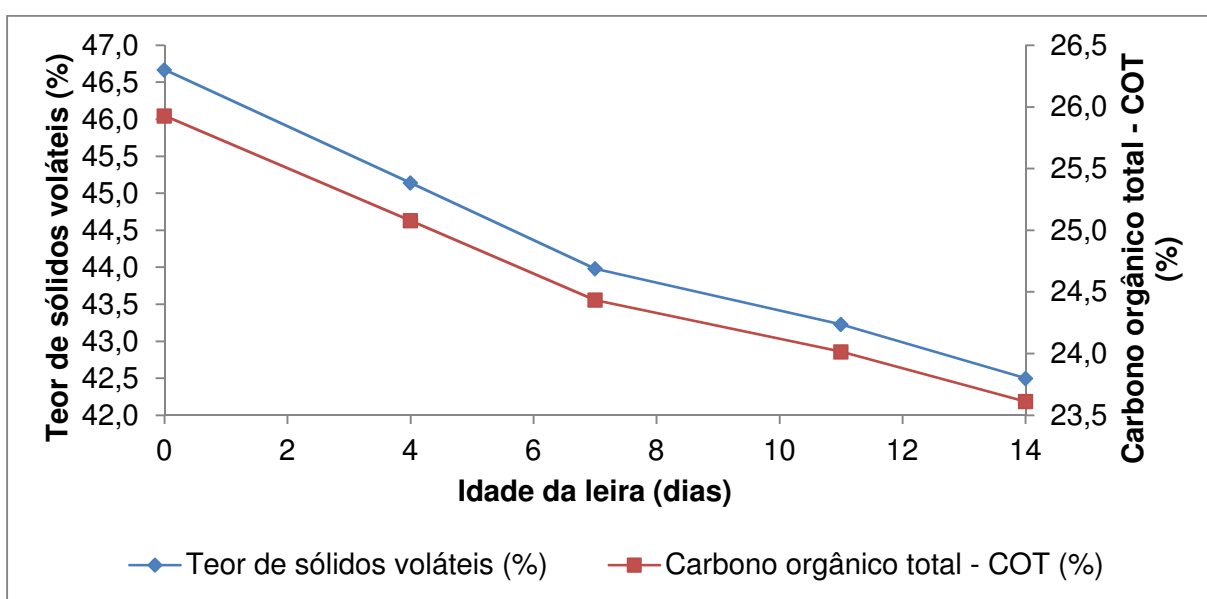


Figura 40 - Teor de sólidos voláteis e COT na leira de compostagem

5.4.4 Nitrogênio

Os resultados encontrados na avaliação da metodologia proposta mostram que a incubação deve ser feita com uma massa mínima de 75 g; uma vez que para valores inferiores, os resultados podem subestimar a quantidade de amônia na cama em análise (Quadro 5).

Massa (g)	Quantidade de amônia volatilizada (mg/100 g)
25,0	3,3
50,0	3,9
75,0	4,2
100,0	4,2

Quadro 5 - Quantidade de amônia quantificada, segundo a massa utilizada

Quando foram incubadas diferentes quantidades de cama aviária, a quantidade de amônia liberada tendeu a aumentar com o aumento da massa incubada, até 75 g, mantendo-se constante entre 75 e 100 g.

A quantidade de amônia volatilizada da cama de frango submetida ao tratamento apresentou uma redução de 51,1% ao final dos 14 dias. O maior decaimento ocorreu após o sétimo dia de tratamento (Figura 41), influenciado pelo valor do pH da massa (Figura 39).

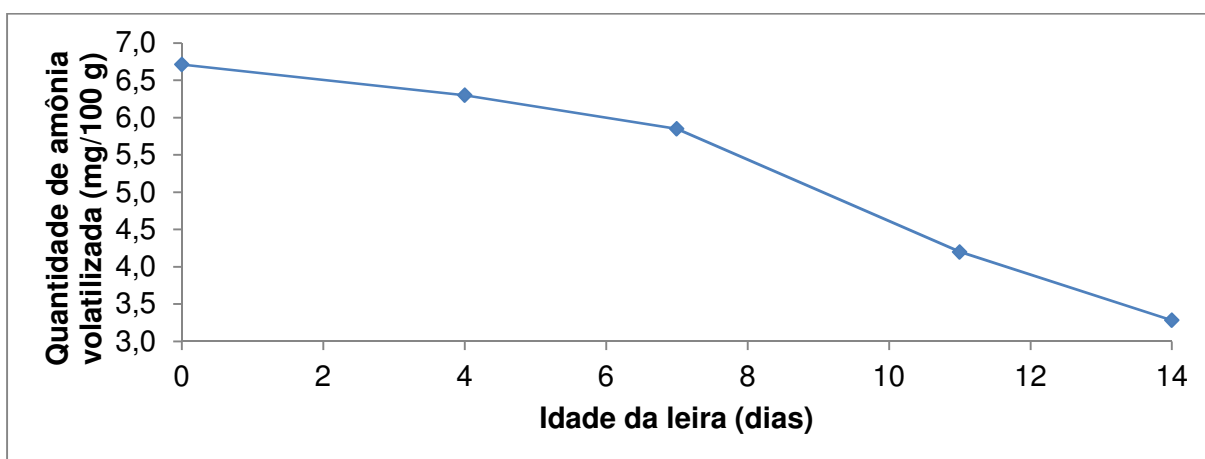


Figura 41 - Quantidade de amônia volatilizada da cama de frango durante o tratamento

5.4.5 Análises biológicas

O tratamento apresentou uma eficiência de 99,5% na remoção de coliforme total e de 100% na remoção de *E. coli* (Figura 42).

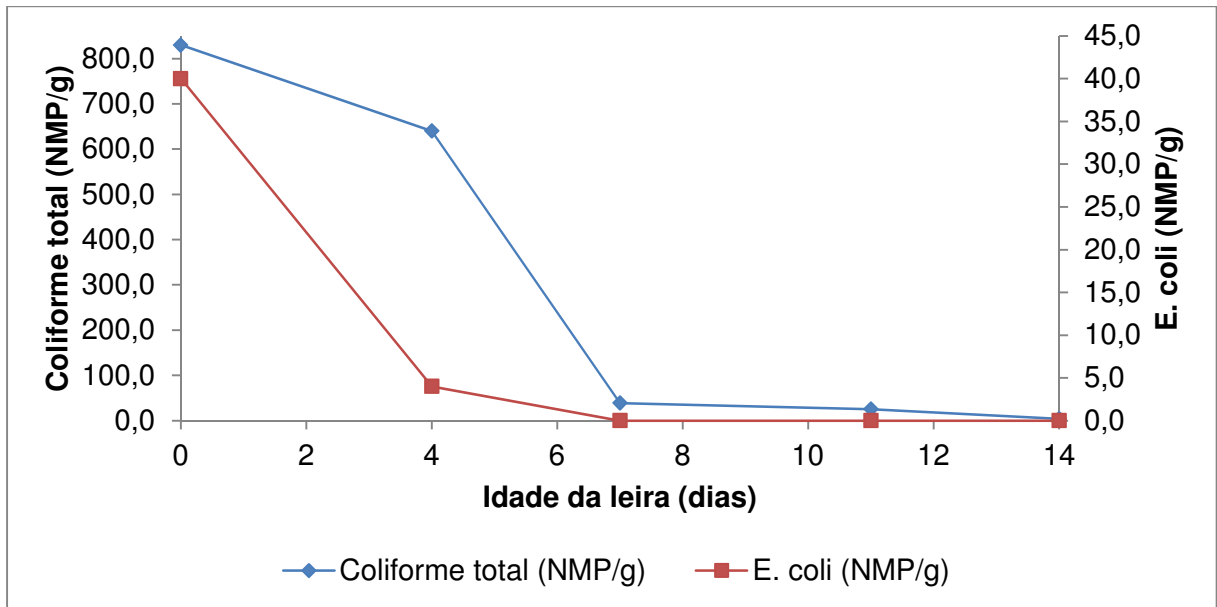


Figura 42 - Decaimento bacteriano em cama de frango

A higienização do material é produto da temperatura atingida durante o processo de compostagem, associada ao tempo de exposição do resíduo a tais condições.

A compostagem de cama de frango em leira estática aerada resulta na volatilização de amônia, reduzindo então a concentração de nitrogênio amoniacal na cama tratada.

6 CONCLUSÕES

A adequação das taxas de aeração é de suma importância para os processos de compostagem. Para o tratamento da cama de frango pelo processo de aeração forçada, recomenda-se a taxa de aeração de 2 minutos de insuflação de ar a cada 1 hora.

A adoção de períodos longos de aeração na compostagem de cama de frango em leira estática aerada prejudica o processo de degradação, uma vez que reduz rapidamente o teor de água da massa de compostagem.

O teor de água é um fator limitante do processo de compostagem, sendo que a cama de frango bruta apresenta valores bastante baixos desde parâmetro para ser submetida a esse tratamento. Desta forma, torna-se necessária a correção do teor de água inicial da massa de compostagem para valores em torno de 60%, para que não haja comprometimento do processo de degradação, principalmente, quando o método adotado for o de leiras estáticas aeradas.

O mecanismo de correção do teor de água testado pelo presente estudo não foi eficiente para realizar o umedecimento do material em compostagem por leiras estáticas aeradas. Desta forma, recomenda-se o estudo de novos mecanismos de manutenção do teor de água para o referido tratamento.

O tratamento da cama de frango pela compostagem, em leiras estáticas aeradas e em pilhas reviradas, demonstrou ser seguro para reciclagem da cama visando seu reuso em lotes subsequentes. Contudo, as pilhas reviradas apresentaram melhor resultado na redução de nitrogênio amoniacal e de organismos patogênicos.

A secagem das amostras na realização dos métodos de quantificação dos teores de nitrogênio total e amoniacal em cama de frango subestima os resultados, logo a metodologia adotada na quantificação destes parâmetros na cama de frango não deve incluir a secagem do material, havendo a necessidade de outros estudos sobre uma metodologia mais adequada.

A metodologia de quantificação de amônia volatilizada mostrou ser um método simples e barato, contudo deve ser realizado com uma incubação mínima de 75 g de material.

As condições atmosféricas a que são expostas o material das leiras e pilhas de compostagem montadas em pátios abertos influenciam o processo, uma vez que expõem a massa a fatores externos, como gradientes de temperatura e eventos pluviométricos capazes de alterar o teor de água do material.

Os métodos de compostagem estudados para o tratamento da cama de frango visando sua reutilização mostraram-se adequados, propiciando a remoção de nitrogênio amoniacal e organismos patogênicos dentro do período de 14 dias, se recomendando sua adoção no tratamento da cama de frango antes de sua reutilização.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.C. ABREU, M.F. **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2006. 178p.

ANDREOLI, C.V. **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 282 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. Ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1.368p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS – ABEF. **Relatório Anual 2008/2009**. São Paulo: Terra Comunicação, 2009. Relatório.

ÁVILA, V. S; KUNZ, A.; BELLAVÉ, C.; PAIVA, D.P.; JAENISCH, F.R.F.; MAZZUCO, H.; TREVISOL, I.M.; PALHARES, J.C.P.; ABREU, P.G.; ROSA, P.S. **Boas práticas de produção de frangos de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007a. Circular Técnica.

ÁVILA, V. S; ABREU, V.M.N.; FIGUEIREDO, E.A.P.; BRUM, P.A.R.; OLIVEIRA, U. **Valor agrônomo da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007b. Comunicado Técnico.

ÁVILA, V.S., MAZZUCO, H., FIGUEREDO, S. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1992. Circular técnica.

AZEVEDO, M.A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. 1993. 230 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1993.

BERTOL, T.M.; COLDEBELLA, A. **Relatório dos projetos concluídos em 2008**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008. Documentos.

BIDONE, F.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 240 p.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC – USP, 1999. 120p.

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 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. Instrução normativa n. 15, de 12 de julho de 2005. **Estabelece que a garantia do padrão mínimo de germinação ou, quando for o caso, de viabilidade, será de responsabilidade do produtor da semente pelos prazos a seguir estabelecidos**. Diário Oficial da União, Brasília, p.8, 14 jul. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 62, de 26 de agosto de 2003. **Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água**. Diário Oficial da União, Brasília, p.14, 18 set. 2003.

BRITO, L.M.; MOURÃO, I.; TRINDADE, H.; COUTINHO, J. Produção de azoto mineral durante a compostagem de fracção sólida de chorume da pecuária leiteira intensiva. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v. 32, n. 1, p. 323-334, jan. 2009.

BRITO, L.M.; AMARO, A.L.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1959-1968, set./out. 2008.

EGHBALL, B.; POWER, J.F.; GILLEY, J.E.; DORAN, J.W. Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p. 189-193. 1997.

ITO, N.M.K.; MIYAJI, C.I.; LIMA, E.A.; OKABAYASHI, S. **Flora bacteriana: patologia do parasitismo bacteriano**. [S.l.]: Editora Elanco, 2005. 88p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Contribuições das câmaras setoriais e temáticas à formulação de políticas públicas e privadas para o agronegócio**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/agronegocio/pdf/1.6.%20mapa%20-%20câmaras%20setoriais%20-%20publicação%20completa.pdf>>. Acesso em: set./2011.

FERNANDES, P.A.L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 1999.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES. 1999. 91p.

FERNANDES FILHO, J.F. Transformações recentes no modelo de integração na avicultura de corte brasileira: explicações e impactos. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, CE, v. 35, n. 1, p. 94-110, jan./mar. 2004.

FERREIRA, J.C. **Remoção de amônia gerada em granjas avícolas e sua utilização em células à combustível e uso como fertilizante**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

FIORENTIN, L. Implicações da reutilização da cama de aviário para a saúde pública e animal. In: Seminário Internacional de Aves e Suínos, 4, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Avesui, 2005.

FIORI, M.G.S.; SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F.A.C. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. **Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 5, n. 3, p. 178-191, set./dez. 2008.

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em áreas de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2001.

HEIDEMANN, B.R.; SILVA, E.R.; SOARES, M; BARBOSA, V.M. Compostagem acelerada: análise microbiológica do composto. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, SP, n. 8, p. 42-46, dez. 2007.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J.O. Método Simples e Acessível para Determinar Amônia Liberada pela Cama Aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, n. 30, v. 3, p. 824-829, mai./jun. 2001.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

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

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

LIMA, R.M.G.; WILDHAGEN, G.R.S.; CUNHA, J.W.S.D.; AFONSO, J.C. Remoção do íon amônio de águas produzidas na exploração de petróleo em áreas offshore por adsorção em clinoptilolita. **Química Nova**, São Paulo, SP, vol. 31, n. 5, p. 1237-1242, 2008.

MEDEIROS, P.T. **Produção avícola: subsídios na busca de sistemas de alimentação saudáveis, econômicos e de menor impacto ambiental**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

MENDES, A.A.; NAAS, I.A.; MACARI, M. **Produção frangos de corte**. Campinas: Facta, 2004. 356p.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

MONEDERO, M.A.S.; ROIG, A., PAREDES, C.; BERNAL, P. Nitrogen transformation by Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**, v. 78, p. 301-308, 2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 2002. 626p.

OLIVEIRA, M.C; ALMEIDA, C.V.; ANDRADE, D.O.; RODRIGUES, S.M.M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.32, n.4, p.951-954, jul./ago. 2003.

OLIVEIRA, M.F. **Identificação e caracterização de actinomicetos isolados de processo de compostagem**. 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

OVIEDO RONDÓN, E.O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.37, suplemento especial, p.239-252, 2008.

PALERMO, J.; SPINOSA, H. S.; GÓRNIK, S.L. **Farmacologia Aplicada à Avicultura**. São Paulo: Roca, 2005. 897p.

PEIXOTO, R.T.G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, 1988. 46 p.

RAVIV, M.; MEDINA, S.; KRASNOVSKY, A.; ZIADNA, H. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. **Compost Science & Utilization**, v. 12, p. 6-10, 2004.

RESENDE, F.M.S. **Análises físico-químicas e virucidas da fermentação com cobertura e sem amontoamento da cama de aves**. 2010. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.

RUSSO, M.A.T. 2003. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <[http://www.uc.pt/mhidro/Tratamentos_Residuos Sólidos.pdf](http://www.uc.pt/mhidro/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2011.

SANTOS, F.G. **Avaliação da adição de gesso e do reviramento em pilhas de compostagem e na qualidade do composto de esterco de ave poedeira.** 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2008.

SEIFFERT, N.F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, 2000, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p. 1-20.

SILVA, V.S.; COLDEBELLA, D.V.A.; BOSETTI, N.; ÁVILA, V.S. **Efeito de tratamentos sobre a carga bacteriana de cama de aviário reutilizada em frangos de corte.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. Comunicado Técnico.

SILVA, W.T.L.; Novaes A.P.; Martin Neto, L.; Milori, D.M.B.P.; Simões, M.L.; Haneda, R.N.; Fialho, L.L.; Leonelli, F.C.V. **Método de Aproveitamento Biossólido Proveniente de Lodo de Esgoto Residencial Através de Processo de Compostagem Seguido de Biodigestão Anaeróbia.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. Documentos.

SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria.** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2006. 320 p.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. **Environmental Pollution**, v. 110, p. 535-541. 2000.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – UBA. **Protocolo de Boas Práticas de Produção de Frangos.** Disponível em: < <http://www.uba.org.br>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – UBABEF. **Relatório anual 2010/2011.** São Paulo: UBABEF, 2011. Relatório.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI T.B.G.A.; JAHNKE; D.S., BRUM JÚNIOR;.B.S., CABRERA, B.R., MORAES, P.O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, Espanha, v.58, p. 59-85. 2009.