

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## MÉTODO SIMPLIFICADO DE COMPOSTAGEM PARA TRATAMIENTO DE CAMA DE FRANGO

\*Mariele Fioreze<sup>1</sup>  
Natalia Serantoni<sup>1</sup>  
Mônica de Abreu Azevedo<sup>1</sup>

### SIMPLIFIED METHODOLOGY OF COMPOSTING FOR TREATMENT OF POULTRY LITTER

Recibido el 2 de marzo de 2018; Aceptado el 16 de octubre 2018

#### Abstract

*Among the agricultural and agroindustrial wastes, the poultry litter is highlighted due to the quantity produced and nutrients content. This residue presents potential for use as conditioning and soil fertilizer, however it is necessary to use stabilization techniques of the organic matter and previous disinfection. In this scenario, the composting stands out for its operational simplicity, allowing the humification of organic content, pathogens elimination, larvae and weed seeds elimination, resulting in a sanitary and nutrient-rich compost. In this research, the treatment efficiency of poultry litter through composting was evaluated, from the application of simplified operational procedures, with manual revolvment for homogenization and aeration, and temperature and moisture control of the pile. The results demonstrate the thermophilic phase occurrence (average pile temperature greater than 40 °C) from the 2nd to the 29th day. The elimination of pathogenic agents, verified by the absence of total coliforms and E. coli from the 15th day, demonstrated the sanitization of the pile. The content of volatile solids and the total weight of wet mass in compost showed a reduction of 29% and 22%, respectively, between the beginning and end of the process. Germination tests, using Lactuca sativa as indicator organism, indicated the maturation of the compost and absence of phytotoxicity after 97 days of composting, indicating the viability and efficacy of the process used in the treatment of poultry litter.*

**Keywords:** poultry litter, organic compound, aerobic biodegradation, agricultural wastes.

<sup>1</sup> Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. CEP 36570-000. Email: [mariele.fioreze@ufv.br](mailto:mariele.fioreze@ufv.br)

## Resumo

Dentre os resíduos agrícolas e agroindustriais, a cama de frango tem destaque devido à quantidade produzida e conteúdo de nutrientes. Este resíduo apresenta potencial para uso como condicionante e fertilizante do solo, porém é necessário o emprego de técnicas para a estabilização da matéria orgânica e desinfecção prévia do material. Nesse cenário, a compostagem se destaca pela simplicidade operacional, possibilitando a humificação do conteúdo orgânico, eliminação de patógenos, larvas e sementes de ervas daninhas, resultando em um composto sanitariamente seguro e rico em nutrientes. Neste trabalho, foi avaliada a eficiência do tratamento de cama de frango via compostagem, a partir da aplicação de processos operacionais simplificados, com revolvimento manual para homogeneização e aeração da massa e controle da temperatura e umidade da pilha. Os resultados demonstram a ocorrência da fase termofílica (temperatura média da pilha superior a 40 °C) do 2° ao 29° dia. A eliminação de patógenos, verificada pela ausência de coliformes totais e *E. coli* a partir do 15° dia do processo, demonstrou a sanitização da massa. O conteúdo de sólidos voláteis e o peso total de massa úmida em compostagem apresentaram redução de 29% e 22%, respectivamente, entre o início e final do processo. Testes de germinação, utilizando *Lactuca sativa* como organismo indicador, apontaram a maturação do composto e ausência de fitotoxicidade após 97 dias de compostagem, indicando a viabilidade e eficácia do processo empregado no tratamento da cama de frango.

**Palavras chave:** cama de aviário, composto orgânico, biodegradação aeróbia, resíduos sólidos agrícolas.

## Introdução

A cama de frango consiste em um material absorvente, utilizado para a proteção das aves confinadas (matriz sólida), misturado a excrementos, secreções, penas, descamações de pele e ração desperdiçada dos comedouros. Essa mistura tem destaque devido aos aspectos ligados à quantidade gerada e também devido as suas características físicas e químicas, sendo foco de investigações que visam determinar alternativas para o manejo e descarte ambientalmente adequados e aproveitamento agrícola do conteúdo de nutrientes.

Dentre os materiais utilizados como absorventes para a criação de aves no Brasil, se incluem os subprodutos da madeira (maravalha e/ou serragem) (Garcia *et al.*, 2013; Neme *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2004), casca de arroz (Abreu *et al.*, 2011; Neme *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2000), casca de amendoim (Neme *et al.*, 2000), casca de café (Santos *et al.*, 2000), sabugo de milho triturado (Santos *et al.*, 2000) e palhada de soja (Abreu *et al.*, 2011).

Devido à mistura do material absorvente com os excrementos e demais resíduos, a cama de frango é considerada uma boa fonte de nutrientes essenciais à fertilidade do solo. Orrico Jr. *et al.* (2010) relatam valores de 1.77% para fósforo (P), 2.41% para nitrogênio (N), 0.86% para cálcio (Ca), 0.41% para magnésio (Mg), 2.60% para potássio (K) e 0.71% para sódio (Na), considerando a porcentagem de sólidos totais em cama de frango cujos subprodutos da madeira foram utilizados como matriz sólida. Em estudo comparativo entre onze diferentes materiais orgânicos, os teores de P (3.87%), Mg (6.93%), Ca (4.71%) e K (1.10%) da cama de frango estiveram entre os maiores quantificados por Severino *et al.* (2006).

A possibilidade de reaproveitamento da cama de frango se torna importante devido ao grande volume gerado. Segundos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), em 2016 foram abatidas 5.86 bilhões de cabeças de frango, considerando os abates em estabelecimentos sob inspeção federal, estadual ou municipal. Visto que se estima entre 1.3 kg (Bellaver e Palhares, 2003) e 2.6 kg (Ortolani e Brito, 2001) a massa de cama de frango gerada por ave alojada, pode-se estimar entre 7.62 e 15.24 bilhões de kg o total do resíduo produzido apenas em 2016 no Brasil.

Nesse contexto, a compostagem se destaca como alternativa para o tratamento e reutilização da cama de frango como condicionador e fertilizante do solo, considerando as necessidades de estabilização da matéria orgânica, desinfecção da massa sólida e disponibilidade de nutrientes. Dentre as várias definições encontradas junto à literatura científica, a compostagem pode ser entendida como um processo aeróbio de oxidação biológica exotérmica, promovido por uma população mista de microrganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica em distintas fases, resultando em um composto livre de organismos patogênicos e com alto valor nutricional (Cotta *et al.* 2015; Silva *et al.*, 2004).

Estudos demonstram que a compostagem de cama de frango, somada ou não a carcaças de aves, consiste em uma alternativa de baixo custo, eficaz para a redução do volume do material em compostagem (Orrico Jr. *et al.*, 2010; Sunada *et al.*, 2014), sanitariamente eficiente para a eliminação de patógenos como *Escherichia coli* (Hahn *et al.*, 2012; Sánchez-García *et al.*, 2015) e *Salmonella* sp. (Paiva *et al.*, 2012; Sánchez-García *et al.*, 2015), eficiente para a eliminação de antibióticos (Hahn *et al.*, 2012), além de evidenciar a qualidade nutricional do composto final com vistas ao uso para fertilização do solo (Agyarko-Mintah *et al.*, 2017; Lo Monaco *et al.*, 2013; Orrico Jr. *et al.*, 2010; Sánchez-García *et al.*, 2015).

Em estudo comparativo, Valadão *et al.* (2011) avaliaram os efeitos da aplicação de cama de frango crua e cama de frango compostada em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico submetido à plantio direto em três camadas de profundidade (0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm). Os autores verificaram que a aplicação da cama de frango compostada foi a que proporcionou ao solo teor de carbono total e atributos físicos mais semelhantes às condições naturais, com relação C/N final de 5.6, nitrogênio total de 5.2 g/kg e carbono total de 27.21 g/kg.

Na microrregião de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, a criação de frangos de corte se dá principalmente em propriedades rurais de pequeno e médio portes (Figueiredo *et al.*, 2006), o que demanda pelo desenvolvimento e aprimoramento de alternativas para o tratamento e reaproveitamento desses resíduos que sejam de baixo custo e manejo simplificado, como é o caso da compostagem. Recentemente, Vázquez e Soto (2017) demonstraram o sucesso da compostagem realizada em áreas rurais na Espanha com vistas a atingir os padrões para uso

agrícola do composto, demonstrando assim que a compostagem doméstica é uma prática viável e sanitariamente segura.

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da compostagem de cama de frango, realizada por meio da aplicação de processos simplificados de manejo e controle operacional, no intuito de produzir um composto estabilizado e que forneça segurança para utilização como fertilizante do solo.

### **Material e métodos**

O experimento foi conduzido entre os meses de março e junho de 2017, junto ao pátio de estabilização e compostagem de material orgânico do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (LESA/UFV) – Viçosa, Minas Gerais, Brasil, localizado nas coordenadas 20°46'5.86"S e 42°51'31.34"O.

Segundo classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima de Viçosa é do subtipo *Cwb* – tropical de altitude, com inverno seco e verão temperado. Dados históricos, disponíveis junto ao acervo digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), demonstram que Viçosa possui precipitação e temperatura médias anuais de 1.149±271 mm e 20±0,6 °C, respectivamente (médias calculadas com base nos dados coletados entre os anos de 1961 e 2016 pela Estação Meteorológica Convencional de Viçosa, código OMM 83642).

#### Montagem do experimento

A cama de frango, composta por serragem de madeira não tratada (tamanho máximo das partículas de 0.07 m de comprimento x 0.07 m de largura x 0.005 m de espessura) e mistura de ração, excrementos e secreções das aves, foi adquirida junto ao Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Viçosa.

A pilha de compostagem foi montada sobre superfície nivelada e impermeabilizada, sem cobertura. Foi adotada a forma cônica, com 2.50 m de perímetro transversal e 0.60 m de altura, totalizando, aproximadamente, 435 kg de material (massa específica inicial aproximada de 310 kg/m<sup>3</sup>).

#### Controle operacional

O controle operacional foi realizado por meio do acompanhamento da temperatura (T) e da umidade (U) da pilha e por revolvimentos periódicos para a aeração e homogeneização do material em compostagem.

A temperatura foi medida diariamente junto à base, centro e ápice da massa, por meio de sondas e termômetro digital Icel® TD-870. Para proporcionar as condições ideais de degradação

microbiológica, a temperatura foi mantida abaixo dos 65 °C por meio do revolvimento da pilha sempre que o parâmetro ultrapassou tal valor, de forma a evitar danos e diminuição da atividade microbiológica capazes de causar prejuízo na eficiência do processo (Miller *et al.*, 1982; Willson *et al.*, 1980), além de evitar perdas de nitrogênio pela volatilização da amônia (Agyarko-Mintah *et al.*, 2017). A umidade foi mantida entre 40% e 65%, conforme recomendações de Inácio e Miller (2009).

O revolvimento da pilha foi realizado de forma manual, duas vezes por semana nos primeiros 30 dias e, posteriormente, a cada 7 dias até o início da fase de maturação (considerada como a fase em que a temperatura média da pilha se manteve abaixo dos 40 °C, conforme classificação da WPCF, 1985). O revolvimento foi efetuado removendo-se o material da parte externa da pilha, sujeito a temperaturas próximas da ambiente. Este material passou a constituir a base e centro da nova pilha. Tal procedimento foi adotado como forma de garantir as mesmas condições de degradação para toda a massa em compostagem, além de proporcionar a introdução de oxigênio e liberação do ar saturado de gás carbônico do interior do material.

#### Monitoramento e qualidade do composto

A evolução do processo e qualidade do composto foram verificadas por meio da determinação dos seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), coliformes totais (CT), *Escherichia coli* (*E. coli*) e percentual de redução de massa úmida (Tabela 1). As determinações analíticas foram realizadas em triplicata e a partir de amostragem composta, sendo os ensaios conduzidos no LESA/UFV. O percentual de carbono viável à degradação microbiológica foi estimado conforme a Equação 1 (Stentiford, 1991).

**Tabela 1.** Parâmetros avaliados, frequência de avaliação e métodos de determinação adotados no estudo

Parâmetro	Frequência	Metodologia
Coliformes totais <i>Escherichia coli</i>	Quinzenal	Substrato cromogênico (o-nitrofenil-β-D-galactopiranosídeo), com fluorescência para <i>E. coli</i> (APHA/AWWA/WPC, 2012)
pH em H <sub>2</sub> O	Quinzenal	10 g de amostra diluídas em 250 mL de água destilada, submetidas a 3 min de agitação, 5 min de descanso e filtragem (Tedesco <i>et al.</i> , 1995)
Umidade	Quinzenal	3 alíquotas de 20 g de amostra, secas em estufa a 70±5 °C por 24 h (Azevedo, 1993)
Sólidos fixos Sólidos voláteis	Quinzenal	3 alíquotas de 2 g de amostra previamente secas em estufa a 70±5 °C por 24 h, submetidas a calcinação em forno do tipo mufla a 550±5 °C por 2 h (APHA/AWWA/WPC, 2012)
Massa úmida	Início e final da compostagem	Peso total da massa úmida de material, aferido por balança de solo

$$\text{Carbono (\%)} = (100 - SF) / 1.8 = SV / 1.8$$

**Equação (1)**

### Fitotoxicidade e maturação do composto

Testes de germinação, utilizando *Lactuca sativa* (alface) como organismo indicador, foram conduzidos a partir dos 90 dias de compostagem, a fim de verificar a ocorrência de fitotoxicidade e o grau de maturação do composto, conforme metodologia adaptada de Zucconi *et al.* (1981).

O extrato aquoso foi preparado a partir de 10 g de composto (massa seca) diluídas em 100 mL de água destilada (L/S = 10). A solução foi agitada em agitador magnético por 30 min, à temperatura ambiente, permanecendo 15 min em repouso anteriormente à filtragem.

Placas de petri foram forradas com camada fina de algodão, umedecido com 6 mL de extrato aquoso. Para os ensaios controle (branco), as placas foram umedecidas com 6 mL de água destilada. Cada placa de petri recebeu 15 sementes de *Lactuca sativa* uniformemente distribuídas. Os ensaios foram conduzidos em triplicata, sendo os resultados relativos ao número de sementes germinadas ( $N_{SG}$ ) e medições do comprimento da raiz das sementes germinadas ( $L_R$ ) coletados após 7 dias de ensaio.

A porcentagem relativa de germinação de sementes ( $R_{SG}$ ) foi calculada com base no número de sementes germinadas nos ensaios com utilização do extrato aquoso ( $N_{SG,E}$ ) e número de sementes germinadas nos ensaios controle ( $N_{SG,C}$ ), conforme a Equação 2.

$$R_{SG} (\%) = (N_{SG,E} / N_{SG,C}) * 100$$

**Equação (2)**

A porcentagem relativa de comprimento das raízes ( $R_{RG}$ ) foi calculada pela relação entre o comprimento médio das raízes nos ensaios com utilização de extrato aquoso ( $L_{R,E}$ ) e o comprimento médio das raízes nos ensaios controle ( $L_{R,C}$ ), conforme a Equação 3.

$$R_{RG} (\%) = (L_{R,E} / L_{R,C}) * 100$$

**Equação (3)**

A partir dos resultados anteriores, foi determinado o Índice de Germinação (IG), conforme a Equação 4.

$$IG (\%) = (R_{SG} * R_{RG}) / 100$$

**Equação (4)**

Na Tabela 2 é demonstrada a escala de classificação qualitativa de fitotoxicidade e maturação do composto, considerada neste trabalho.

**Tabela 2.** Escala de fitotoxicidade e maturação do composto utilizada no estudo

Índice de Germinação – IG (%)	Classificação do composto
IG ≥ 81	Não fitotóxico; composto maturado
61 < IG ≤ 80	Moderadamente fitotóxico
30 < IG ≤ 60	Fitotóxico
IG < 30	Muito fitotóxico

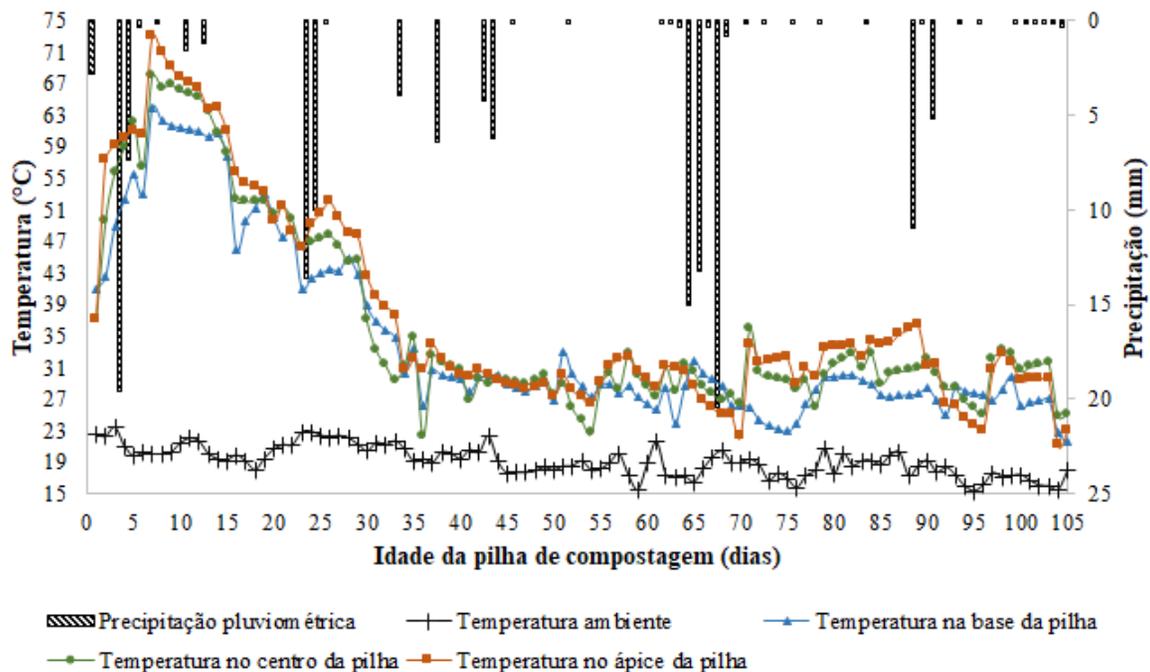
### Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias de tratamentos comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade de erro. Para a condução das análises estatísticas, foi utilizado o *software Assistat 7.7* (Silva e Azevedo, 2016).

## Resultados e discussão

### Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

Na Figura 1 é demonstrada a evolução da temperatura ao longo do período de compostagem, considerando as aferições realizadas junto à base, centro e ápice da pilha, além da temperatura ambiente e precipitação pluviométrica ocorridas no período de estudo.



**Figura 1.** Variação da temperatura ao longo do período de compostagem de cama de frango

As condições termofílicas foram observadas entre os dias 2 e 29, com temperatura média no período de 55 °C. A temperatura máxima observada foi de 73 °C junto ao ápice da pilha aos 7 dias de compostagem, com temperatura média na pilha neste dia de 68 °C. Devido à temperatura ter excedido os 65 °C, nos dias 7, 8 e 9 a pilha teve sua altura rebaixada, a fim de aumentar a área superficial e permitir a dissipação do calor gerado pela atividade microbiológica de degradação da matéria. Após o 29º dia, a temperatura média da pilha se manteve abaixo dos 40 °C, dando início à fase mesofílica de maturação do composto.

A ocorrência da fase termofílica é desejada, uma vez que é sob altas temperaturas que ocorrem as principais transformações da matéria orgânica e a inativação de microrganismos patogênicos, larvas de insetos, sementes e ervas daninhas. De fato, a ocorrência de larvas foi verificada apenas durante a primeira semana de compostagem, sendo a temperatura média na pilha no período (entre os dias 1 e 7) de 55 °C, precedida por temperatura média de 64 °C entre os dias 8 e 14, quando não foi mais visualizada a ocorrência de larvas. A germinação de ervas daninhas sobre a pilha não foi verificada durante todo o período de execução do experimento.

É possível observar que a ocorrência de eventos de precipitação pluviométrica afetou o aquecimento da pilha durante a fase termofílica. Eventos pluviométricos ocorridos aos 4 (19.6 mm), 5 (7.4 mm) e 6 (0.4 mm) dias de compostagem, acompanhados da diminuição da temperatura ambiente, refletiram em queda da temperatura da pilha no período, com posterior aumento a partir do 7º dia quando cessadas as chuvas. Os maiores eventos de precipitação pluviométrica observados na fase mesofílica ocorreram aos 38 (6.4 mm), 44 (6.2 mm), 65 (15 mm), 66 (13.2 mm), 68 (20.4 mm) e 89 (11 mm) dias.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos parâmetros U, pH, SF, SV, CT e *E. coli*, monitorados quinzenalmente durante o período de compostagem, além da estimativa do percentual de carbono orgânico. Para CT e *E. coli*, após dois testes onde não houve a identificação da presença dos indicadores, os ensaios deixaram de ser realizados, assumindo-se a ausência dos mesmos.

A umidade foi controlada, de forma a se manter entre 40% e 65%, conforme as recomendações de Inácio & Miller (2009). Quando necessário, foi feita a adição manual de água, com vistas a ajustar este parâmetro.

O pH apresentou aumento de 8.7 a 9.8 entre os dias 1 e 15, seguido de diminuição gradativa, com valor final de 8.3 aos 105 dias de processo. A medida em que fungos e bactérias digerem a matéria orgânica, ocorre a liberação e acumulação de ácidos, o que acarreta na tendência de diminuição do pH ao longo da compostagem, tendência essa já demonstrada por outros trabalhos (por exemplo, Cotta *et al.*, 2015; Hahn *et al.*, 2012; Heck *et al.*, 2013). Segundo Hahn (2004), o aumento do pH pode ocorrer devido à conversão de produtos hidrolisados a CO<sub>2</sub> e produção de amônia

(NH<sub>3</sub>), seguido de decréscimo do pH em decorrência da redução das formas nitrogenadas (NH<sub>3</sub> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) com liberação de ácidos (H<sup>+</sup>). Comportamento similar ao observado neste estudo foi verificado por Hahn *et al.* (2012) em compostagem de cama de frango, com aumento do pH nos primeiros 15 dias e valor final entre 7.5-8.0 aos 90 dias de processo.

**Tabela 3.** Resultados das determinações físico-químicas e bacteriológicas, realizadas ao longo do período de compostagem de cama de frango

Idade da Pilha (dias)	U (%)	pH	Sólidos (%)		C (%)	Microbiológicas (NMP/100 mL)	
			SF	SV		CT	<i>E. coli</i>
1	60.9±2.2 a <sup>(1)</sup>	8.7 cd	16.9±1.5 d	83.1±1.5 a	46.2±0.9 a	4.2 x 10 <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>2</sup>
15	50.3±0.5 c	9.8 a	20.0±0.8 d	80.0±0.8 a	44.4±0.6 a	NI <sup>(2)</sup>	NI <sup>(2)</sup>
30	55.5±0.7 b	9.2 b	19.4±1.6 d	80.6±1.6 a	44.8±0.9 a	NI <sup>(3)</sup>	NI <sup>(3)</sup>
45	61.1±0.5 a	8.9 c	18.7±2.1 d	81.3±2.1 a	45.2±1.2 a	ND <sup>(4)</sup>	ND <sup>(4)</sup>
60	44.9±1.1 d	8.6 d	32.4±0.3 c	67.6±0.3 b	37.6±0.2 b	ND <sup>(4)</sup>	ND <sup>(4)</sup>
75	55.6±2.1 b	7.8 f	34.2±0.5 bc	65.8±0.5 bc	36.5±0.3 bc	ND <sup>(4)</sup>	ND <sup>(4)</sup>
90	48.9±2.1 cd	8.0 f	36.1±1.1 b	63.9±1.1 c	35.5±0.6 c	ND <sup>(4)</sup>	ND <sup>(4)</sup>
105	58.8±0.8 ab	8.3 e	41.0±0.9 a	59.0±0.9 d	32.8±0.5 d	ND <sup>(4)</sup>	ND <sup>(4)</sup>

U: umidade; pH: potencial hidrogeniônico; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis; C: carbono orgânico; CT: coliformes totais; *E. coli*: *Escherichia coli*.

<sup>(1)</sup> Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade de erro; <sup>(2)</sup> não identificado, considerando 2.5 g de amostra diluída em 100 mL de água destilada; <sup>(3)</sup> não identificado, considerando 5.0 g de amostra diluída em 100 mL de água destilada; <sup>(4)</sup> não determinado.

O conteúdo de sólidos (SF e SV) não apresentou variação estatística durante a fase termofílica e início da fase mesofílica (considerando as determinações realizadas entre os dias 1 e 45). Diferenças significativas foram observadas a partir das determinações realizadas aos 60 dias de compostagem, com aumento do conteúdo de SF e conseqüente diminuição de SV.

O monitoramento dos SV possibilita acompanhar a ocorrência e velocidade de degradação dos resíduos durante o processo de compostagem. Para o presente estudo, houve diminuição de 29% entre o início e final do período, confirmando a ocorrência da atividade microbiana de transformação e consumo da matéria orgânica. Resultados similares são relatados por Mota *et al.* (2002), em compostagem de resíduos de madeira, apresentando redução de 22% em 90 dias de monitoramento, e por Paiva *et al.* (2012), em compostagem de mistura de carcaças de frango trituradas, bagaço de cana-de-açúcar e cama de frango, com diminuição de 28.86% também em 90 dias. Como reflexo da diminuição dos SV, o teor estimado de C também apresentou decréscimo, indicando o menor conteúdo de material biodegradável no final do período de compostagem devido ao avanço dos processos de degradação da matéria orgânica carbonácea.

Em relação aos parâmetros microbiológicos, não foi verificada a presença de CT e *E. coli* a partir da determinação realizada aos 15 dias de compostagem. Considerando-se as altas temperaturas da pilha (com média de 60 °C entre os dias 1 e 15) e elevado pH, pode-se supor a ocorrência de desinfecção do material. Stentiford *et al.* (1996) afirmam que temperaturas próximas a 55 °C por um período igual ou superior a 3 dias promovem a sanitização do material em compostagem. Hahn *et al.* (2012) não verificaram a ocorrência de *E. coli* após 30 dias de compostagem de cama de frango, atribuindo a eliminação do indicador às altas temperaturas atingidas (superiores a 40 °C no período) e ao aumento do pH no período inicial da compostagem (chegando a valores de 8.1 aos 14 dias), o que corrobora com os resultados deste estudo.

#### Fitotoxicidade, maturação do composto e redução de massa

Na Tabela 4 são apresentados os resultados relativos aos testes de germinação, conduzidos a partir dos 90 dias de compostagem como forma de verificar a ocorrência de fitotoxicidade e o grau de maturação do composto.

**Tabela 4.** Número médio de sementes germinadas ( $N_{SG}$ ), comprimento médio das raízes germinadas ( $L_R$ ) e índice de Germinação (IG) relativos aos ensaios conduzidos com *Lactuca sativa* a partir dos 90 dias de compostagem de cama de frango

Ensaio	Idade da pilha (dias)	$N_{SG}$	$L_R$	IG (%)	Interpretação
Controle	90	14.3	1.4	76	Moderadamente fitotóxico
Solução aquosa		10.7	1.4		
Controle	97	15.0	1.3	108	Não fitotóxico; composto maturado
Solução aquosa		13.7	1.6		

Conforme os resultados apresentados, é possível verificar que o composto apresentou maturação e ausência de fitotoxicidade aos 97 dias, indicado pelo IG superior a 100%, ou seja, nos ensaios conduzidos com uso de solução aquosa houve melhor desenvolvimento do organismo indicador em comparação aos ensaios conduzidos apenas com água destilada.

A execução de testes de germinação se mostra importante, como forma de evitar avaliar o grau de maturação do composto apenas com base no decréscimo da temperatura, sem indicativo de possíveis efeitos fitotóxicos. Dados da literatura científica demonstram que a compostagem de cama de frango é frequentemente considerada como maturada após 90 dias de experimento (por exemplo, Hahn *et al.*, 2012; Wangen *et al.* 2013), porém o presente estudo demonstra que um período adicional pode ser necessário com vistas a evitar a fitotoxicidade do material.

Desde que bem executada e monitorada, a compostagem aeróbia resulta em um substrato apto à incorporação ao solo, com potencial para contribuir com o desenvolvimento de plantas sem riscos de contaminação de natureza química ou biológica. Silva *et al.* (2013) verificaram a maior

produção de biomassa fresca de parte aérea de alface lisa quando utilizados substratos advindos da compostagem aeróbia (100% de cama de frango e mistura de cama de frango com esterco bovino) em comparação ao tratamento controle. Abreu *et al.* (2010), em estudo visando avaliar a produtividade e ocorrência de contaminação de alface cultivada sob adubação orgânica por *Salmonella* sp. e coliformes fecais, verificaram o maior teor de massa fresca quando utilizado material contendo excrementos de frango, além de não verificarem indícios de contaminação advindos do uso dos compostos orgânicos.

Após verificada a maturação do composto, foram realizadas as determinações de massa úmida e massa específica finais. A pilha apresentou massa úmida final de 341 kg, o que representa redução de 94.4 kg ou 22% em relação à massa inicial. A massa específica também apresentou mudança, sendo aferida em 355 kg/m<sup>3</sup>, contra 310 kg/m<sup>3</sup> no início do processo.

### Conclusões

A utilização de métodos de operação simplificados, com revolvimento manual para aeração e homogeneização da massa e controle da temperatura e umidade, apresentou resultados satisfatórios no que diz respeito à promoção da fase termofílica, eliminação de coliformes totais e *E. coli*, maturação do composto e redução de massa úmida para a compostagem de cama de frango. Além disso, por meio dos testes de germinação, foi possível constatar a não ocorrência de fitotoxicidade após 97 dias de compostagem, indicando a viabilidade do emprego deste processo no tratamento deste resíduo.

Desde que bem executada, a compostagem se mostra como alternativa para o tratamento da cama de frango e posterior utilização como condicionante e fertilizante do solo, não apresentando riscos de contaminação e efeitos fitotóxicos para o solo e culturas expostas. Desta forma, o método pesquisado pelo presente estudo pode ser empregado no tratamento simplificado da cama de frango, constituindo uma alternativa viável à destinação ambientalmente adequada deste resíduo em propriedades rurais.

### Referências bibliográficas

- Abreu, I.M.O., Junqueira, A.M.R., Peixoto, J.R., Oliveira, S.A. (2010) Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **30**(1), 108-118.
- Abreu, V.M.N., Abreu, P.G., Coldebella, A., Jaenisch, F.R.F., Sila, V.S. (2011) Evaluation of litter material and ventilation systems in poultry production: I. overall performance, *Revista Brasileira de Zootecnia*, **40**(6), 1364-1371.
- Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Van Zwieten, L., Pal Singh, B., Smillie, R., Harden, S., Fornasier, F. (2017) Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting, *Waste Management*, **61**, 129-137.
- APHA/AWWA/WPC (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22<sup>a</sup> Ed., American Public Health Association, Washington, D.C.

- Azevedo, M.A. (1993) *Estudo e Avaliação de Quatro Modos de Aeração para os Sistemas de Compostagem em Leiras*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 194 pp.
- Bellaver, C., Palhares, C.P. (2003) Uma visão sustentável sobre a utilização da cama de aviário, *Avicultura Industrial*, **94**(1113), 14-18.
- Cotta, S.A.O., Carvalho, N.L.C., Brum, T.S., Rezende, M.O.O. (2015) Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **20**(1), 65-78.
- Figueiredo, A.M., Santos, P.A., Santolin, R., Reis, B.S. (2006) Integração na criação de frangos de corte na microrregião de Viçosa – MG: viabilidade econômica e análise de risco, *Revista de Economia e Sociologia Rural*, **44**(4), 713-730.
- Garcia, R.G., Paz, I.C.L.A., Caldara, F.R., Nääs, I.A., Freitas, L.W., Borille, R., Royer, A.F.B., Santana, M.R. (2013) Alternativas para a composição de cama de frango, *Revista Agrarian*, **6**(19), 81-89.
- Hahn, L. (2004) *Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 120 pp.
- Hahn, L., Padilha, M.T.S., Padilha, J.C.F., Poli, A., Rieff, G.G. (2012) Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário, *Archivos de Zootecnia*, **61**(234), 279-285.
- Heck, K., de Marco, E.G., Hahn, A.B.B., Kluge, M., Spilki, F.R., van der Sand, S.T. (2013) Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **17**(1), 54-59.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016) *Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária*. Acesso em 16 de maio de 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=72380&view=detalhes>
- Inácio, C.T., Miller, P.R.M. (2009) *Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos*, Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 156 pp.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia (2016) *Estações e Dados: Estação Meteorológica de Viçosa*, OMM 86824. Acesso em 28 de junho de 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>
- Köppen, W., Geiger, R. (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes Wall-map 150cmx200cm.
- Lo Monaco, P.A.V., Paiva, E.C.R., Matos, A.T., Ferres, G.C., Ribeiro, I.C.A. (2013) Avaliação da relação C/N e da qualidade do composto produzido em leiras de compostagem de carcaça e diferentes camas de criatório de frangos, *Engenharia na Agricultura*, **21**(6), 563-573.
- Miller, F.C., Mac Gregor, S.T., Psarianos, K.M., Finstein, M.S. (1982) Static - pile sludge composting with recycled compost as the bulking agent, *14<sup>th</sup> Mid Atlantic Conference*, Ann Arbor Science Book, p. 35-44.
- Mota, J.P., Neto, J.T.P., Ceballos, B.S.O., Souza, F.C. (2002) Utilização da compostagem para o tratamento de resíduos de madeira e aparas de grama, *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Cancún, México.
- Neme, R., Sakomura, N.K., Oliveira, M.D.S., Longo, F.A., Figueiredo, A.N. (2000) Adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frango de corte, *Ciência Rural*, **30**(4), 687-692.
- Oliveira, M.C., Almeida, C.V., Andrade, D.O., Rodrigues, S.M.M. (2003) Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos, *Revista Brasileira de Zootecnia*, **32**(4), 951-954.
- Oliveira, M.C., Ferreira, H.A., Cancherini, L.C. (2004) Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango, *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **56**(4), 536-541.
- Oliveira, M.C., Goulart, R.B., Silva, J.C.N. (2002) Efeito de duas densidades e dois tipos de cama sobre a umidade da cama e a incidência de lesões na carcaça de frango de corte, *Ciência Animal Brasileira*, **3**(2), 7-12.

- Orrico Jr., M.A.P., Orrico, A.C.A., Lucas Jr., J. (2010) Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves, *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, **30**(3), 538-545.
- Ortolani, E.L., Brito, L.A.B. (2001) Enfermidades causadas pelo uso inadequado de "cama-de-frango" na alimentação de ruminantes, *Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária*, **7**(22), 41-48.
- Paiva, E.C.R., Matos, A.T., Azevedo, M.A., Barros, R.T.P., Costa, T.D.R. (2012) Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas, *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, **32**(5), 961-970.
- Sánchez-García, M., Albuquerque, J.A., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cayuela, M.L. (2015) Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions, *Bioresource Technology*, **192**, 272-279.
- Santos, E.C., Cotta, J.T.B., Muniz, J.A., Fonseca, R.A., Torres, D.M. (2000) Avaliação de alguns materiais usados como cama sobre o desempenho de frangos de corte, *Ciência e Agrotecnologia*, **24**(4), 1024-1030.
- Severino, L.S., Lima, R.L.S., Beltrao, N.E.M. (2006) *Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas*. EMBRAPA: Comunicado Técnico, 278, 5 pp.
- Silva, F.A.S., Azevedo, C.A.V. (2016) The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data, *African Journal of Agricultural Research*, **11**(39), 3733-3740.
- Silva, N.R., Camargo, A.P.F., Wangen, D.R. (2003) Produção orgânica de alface adubada com diferentes tipos de compostos orgânicos, *Enciclopédia Biosfera*, **9**(17), 2151-2158.
- 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. (2004) método de aproveitamento: biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia, *EMBRAPA Instrumentação Agropecuária: Documentos*, 13, 50 pp.
- Sunada, N.S., Orrico, A.C.A., Orrico Jr., M.A.P., Centuion, S.R., Oliveira, A.B.M., Fernandes, A.R.M., Lucas Jr., J., Seno, L.O. (2014) Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola, *Ciência Rural*, **45**(1), 178-183.
- Stentiford, E.I. (1991) *Composting of Sewage Sludges and Solid Wastes*. Leeds, University of Leeds, 60 pp.
- Stentiford, E.I., Pereira Neto, J.T., Mara, D.D. (1996) Diversity of composting system, *Low cost composting – Research Monographs in Tropical Public Health Engineering*. University of Leeds, 22-28.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Volkweiss, S. J. (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2ed., Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS.
- Valadão, F.C.A., Mass, K.D.B., Weber, O.L.S., Valadão Jr., D.D., Silva, T.J. (2011) Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**(6), 2073-2082.
- Vázquez, M.A., Soto, M. (2017) The efficiency of home composting programmes and compost quality, *Waste Management*, **64**, 39-50.
- Wangen, D.R.B., Pena, P.R.A., Camargo, A.P.F., Santos, M.S., Pires, M.R. Emprego de inoculante à base de microrganismos na compostagem de cama de aviário, *Enciclopédia Biosfera*, **9**(17), 2013.
- Willson, G.B., Parr, J.F., Epstein, E., Marsh, P.B., Chaney, R.L., Colacicco, D., Burge, W.D., Sikora, L.J., Tester, C.F., Hornick, S. (1980) *Manual For Composting Sewage Sludge By The Beltsville Aerated - Pile Method*, Municipal Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, 65 pp.
- WPCF, Water Pollution Control Federation (1985) *Sludge stabilization*, Manual of Practice FD-9 Facilities Development, Washington, DC, 106 pp.
- Zucconi, F., Forte, M., Monac, A., Beritodi, M. (1981) Biological evaluation of compost maturity, *Biocycle*, **22**, 27-29.