

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA**

JÉSSICA LUIZA BOTEGA

**COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE
SUBSTRATO DE CAMA DE AVIÁRIO: ESTUDO DE CASO**

DISSERTAÇÃO

MEDIANEIRA

2019

JÉSSICA LUIZA BOTEGA

**COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE
SUBSTRATO DE CAMA DE AVIÁRIO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Tecnologias Ambientais, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Tecnologias de Tratamento e Valorização de Resíduos.

Orientadora: Prof^a. Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes

Coorientador: Prof^o Dr. Ismael Laurindo Costa Junior

MEDIANEIRA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B748c	<p>Botega, Jéssica Luiza</p> <p>Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário: estudo de caso / Jéssica Luiza Botega– 2019. 90 f. : il. ; 30 cm.</p> <p>Texto em português com resumo em inglês <u>Orientadora: Eliane Rodrigues dos Santos Gomes</u> <u>Coorientador: Ismael Laurindo Costa Junior</u></p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2019. Inclui bibliografias.</p> <p>1. Aviários . 2. Resíduos orgânicos como fertilizantes. 3. Gestão ambiental .4. Tecnologias Ambientais - Dissertações. I. Gomes, Eliane Rodrigues dos Santos, orient._II. Costa Junior, Ismael Laurindo, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. IV. Título.</p> <p>CDD: 600</p>
-------	--

Biblioteca Câmpus Medianeira
Fernanda Bem 9/1735

TERMO DE APROVAÇÃO

COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SUBSTRATO DE CAMA DE AVIÁRIO: ESTUDO DE CASO

Por

JÉSSICA LUIZA BOTEGA

Essa dissertação foi apresentada às 9 horas, do dia 02 de setembro de dois mil e dezenove, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, Linha de Pesquisa em Tecnologias de Tratamento e Valorização de Resíduos, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes (Orientadora – PPGTAMB)

Prof^a Dra. Juliana Bortoli Rodrigues Mees (Membro Interno – UTFPR)

Prof^a Dra. Alice Jacobus de Moraes (Membro Externo – UNIVEL)

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e por me conceder o privilégio de estudar.

À minha amada família, pelo amor incondicional, apoio e confiança: meus avós Noemia e Hildor (*in memoriam*), meus pais Joares e Marta, meu irmão Mateus, minha prima Caroline, minha tia Carla e meu namorado André, eu amo vocês.

Às minhas amigas, que, mesmo de longe, sempre emanaram positividade e luz nos momentos difíceis: Luana, Ana Luiza e Barbara.

Aos meus colegas do Mestrado e às amigadas que construí ao longo deste período de estudos, durante os trabalhos, provas, horas e horas de laboratório, jantas, desespero, choro e risadas, obrigada pelo apoio nos momentos difíceis: Gisele, Thais, Nelsi e Fábio.

Em especial, agradeço à minha Orientadora Professora Eliane por toda a dedicação, paciência, conselhos e ensinamentos durante a orientação desta pesquisa e também ao meu Coorientador professor Ismael, por todo o apoio e principalmente pela orientação nas análises laboratoriais.

À UTFPR, pela excelência do ensino, pela disponibilização de sua estrutura e pela concessão de bolsa de estudos.

*Um dia me disseram
Que as nuvens não eram de algodão
Um dia me disseram
Que os ventos às vezes erram a direção
E tudo ficou tão claro
Um intervalo na escuridão
Uma estrela de brilho raro
Um disparo para um coração
A vida imita o vídeo
Garotos inventam um novo inglês
Vivendo num país sedento
Um momento de embriaguez, nós
Somos quem podemos ser
Sonhos que podemos ter
(Humberto Gessinger)*

RESUMO

BOTEGA, Jéssica Luiza. **Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário: estudo de caso**. 2019. 90 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

A avicultura de corte é uma das principais atividades socioeconômicas do Brasil, tanto na produção como na exportação. Durante o ciclo de produção os dejetos das aves são misturados a um material usado como substrato, que, normalmente, é serragem ou maravalha, e este serve de leito às aves. Ao final do ciclo de produção, a cama de aviário pode ser reaproveitada no lote seguinte ou ser descartada, tornando-se assim um resíduo. Seu destino, normalmente, é a aplicação em solos como fertilizante, por possuir uma boa fonte de nutrientes, entre eles se destacam o fósforo, nitrogênio e potássio. A cama de aviário, quando usada como fertilizante de solos, pode melhorar suas características físico-químicas e também aumentar a produtividade de culturas, substituindo os fertilizantes minerais, porém, o uso indiscriminado deste resíduo, pode influenciar na capacidade de absorção de alguns nutrientes pelo solo e estes passam a ser lixiviados, ocasionando, desta forma, eutrofização de mananciais hídricos. Uma das formas de melhorar as características físico-químicas da cama de aviário para ser usada como fertilizante é submetendo-a à processo de compostagem. Esse processo melhora suas características agrônômicas como a disponibilidade de minerais benéficos ao solo além de eliminar microrganismos patogênicos quando controlada a temperatura das pilhas de compostagem. Este estudo teve por objetivo submeter a cama de aviário em uma propriedade rural do município de Santa Helena-PR à processo de compostagem, agregando serragem e cinzas no tratamento e também a compostagem somente da cama *in natura*. Desta forma, foram montadas quatro pilhas de compostagem, três com a incorporação de serragem e cinzas e uma apenas com cama de aviário, de aproximadamente 2,5 m³, sendo estas monitoradas por meio dos parâmetros: temperatura, umidade e aeração. As pilhas permaneceram em processo de compostagem durante 180 dias e a coleta para análises físico-químicas foi realizada mensalmente. Também foi realizado teste de fitotoxicidade para verificar a maturação do composto, através da germinação de sementes. Por meio dos resultados obtidos na condução e monitoramento das pilhas de compostagem e na caracterização físico-química do composto obtido, foi possível observar que a compostagem de cama de aviário contribuiu para o processo de mineralização de nutrientes como o fósforo, potássio, cálcio e magnésio e melhorou as características físico-químicas da cama de aviário, reduzindo teores de matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio.

Palavras chave: Cama de aviário, compostagem, fertilizante e nutrientes.

ABSTRACT

BOTEGA, Jéssica Luiza. **Composting and physical-chemical characterization of broiler bedding material: a case study**. 2019. 90 f. Thesis (Graduation Program in Environmental Technologies), Federal University of Technology – Paraná. Medianeira, 2019.

Broiler chicken is one of the main socio-economic activities in Brazil, both in production and exportation. During its production cycle, poultry litter is combined with material used as a substrate – typically sawdust or wood shavings – and serves as bedding for the chicken. By the end of the production cycle, the broiler bedding can be reused in the next batch or be discharged, turning into waste. The bedding is usually employed as a fertilizer for being a good source of nutrients, with phosphorus, nitrogen, and potassium standing out. The broiler bedding, when used as a soil fertilizer, can enhance the physical-chemical traits and increase crop productivity, replacing mineral fertilizers. However, the indiscriminate use of the residue may influence soil nutrient absorption capacity, and, in turn, cause its leaching, hence, the eutrophication of water springs. One way of improving the physical-chemical traits of the broiler bedding to use it as a fertilizer is by submitting it to the process of composting. Such process enhances its agronomic features, like the availability of beneficial soil minerals, and eliminates pathogenic microorganisms when the compost pile temperature is controlled. This study intended to submit the broiler bedding of a rural property located in the municipality of Santa Helena - PR to a composting process that aggregated sawdust and ashes into the treatment, and to another with fresh bedding only. Hence, four compost piles were formed, three of which incorporated sawdust and ashes, and one of them solely the broiler bedding. They had 2.5 m³ and were monitored based on the following parameters: temperature, humidity, and aeration. The piles remained in the composting process for 180 days, and the collection for physical-chemical analyses was done monthly. A phytotoxicity test was also performed to check the compound maturation through seed germination. With the results in the management and monitoring of the compost piles and within the physical-chemical characterization of the obtained compound, it was observed that the broiler bedding composting contributed to the mineralization process of nutrients like phosphorus, potassium, calcium, and magnesium, and enhanced the physical-chemical traits of the broiler bedding, reducing the content of organic matter, total organic carbon, and nitrogen.

Keywords: Broiler bedding, composting, fertilizer, nutrients

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção mundial de produção de carne de frango no ano de 2018 em milhões de toneladas	14
Figura 2: Ranking e variação anual do abate de frangos - Unidades da Federação - primeiros trimestres de 2018 e 2019.	15
Figura 4: Fases da compostagem em relação à temperatura	27
Figura 5: Esquema do processo de compostagem	30
Figura 6: Local de implementação do estudo em Santa Helena – PR	39
Figura 7: Cama de aviário utilizada no processo de compostagem	40
Figura 8: Pilhas 1, 2 e 3: Cama de aviário in natura+serragem+cinzas; Pilha 4: Cama de aviário in natura.....	42
Figura 9: Preparo da amostra.....	44
Figura 10: Cadinhos com as amostras do composto	46
Figura 11: Potenciômetro utilizado na medição do pH	46
Figura 12: (a) e (b) Processo de determinação de fósforo disponível. (b) Espectrofotômetro UV-VIS usado na leitura das amostras.	48
Figura 13: Processo de filtragem do extrato de cama de aviário.....	50
Figura 14: Sementes dispostas em placa de petri.....	51
Figura 15: Esquema hipocótilo/radícula da plântula.....	52
Figura 16: Monitoramento da temperatura no processo de compostagem.	54
Figura 17: Gráfico da precipitação dos meses de abril a setembro de 2018 na estação meteorológica de São Clemente, Município de Santa Helena-PR.....	56
Figura 18: Redução das médias de concentração em g kg-1 de matéria orgânica, carbono e nitrogênio ao longo da compostagem para as pilhas do tratamento 1.	61
Figura 19: Redução da concentração em g kg-1 de matéria orgânica, carbono e nitrogênio ao longo da compostagem para as pilhas do tratamento 2.	61
Figura 20: Resultado do Índice de Germinação dos substratos.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da avicultura paranaense por mesorregiões.	16
Tabela 2 - Composição da cama de aviário de acordo com pesquisas de diferentes autores.	22
Tabela 3: Estudos sobre a viabilidade econômica da aplicação de cama de aviário na produção de diferentes culturas	34
Tabela 4: Interpretação dos coeficientes de correlação	35
Tabela 5: Resumo do modelo para predição do preço da cama de aviário x dólar ...	36
Tabela 6: Coeficientes de predição para preço da cama de aviário x dólar	36
Tabela 7: Valor fertilizante da cama de aviário de acordo com a concentração de nutrientes (N, P e K).	37
Tabela 8: Caracterização química do Staldren usado nos aviários	41
Tabela 9: Tratamentos e proporções empregadas à compostagem.	42
Tabela 10: Métodos utilizados na caracterização do substrato de cama de aviário ..	45
Tabela 11: Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS.	49
Tabela 12: Caracterização físico-química da cama de aviário <i>in natura</i>	57
Tabela 13: Resultados médios das análises físico-químicas do composto de acordo com o tempo de compostagem.	58
Tabela 14: Média da umidade (%) nos tratamentos T1 e T2 em cada mês de compostagem.	59
Tabela 15: Média dos valores de pH nos tratamentos T1 e T2 em cada mês de compostagem.	59
Tabela 16: Redução em % da matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio.	64
Tabela 17: Concentração de metais nas amostras do composto.	66
Tabela 18: Teores mínimos de nutrientes para a comercialização de fertilizante orgânico de acordo com a Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 25/2009.	67
Tabela 19: Teores de nutrientes determinados na cama de aviário no estudo em %.	67
Tabela 20: Precificação da cama de aviário	71
Tabela 21: Média da concentração de NPK em g kg ⁻¹ da cama de aviário em estudo após 180 dias de compostagem nos tratamentos 1 e 2.	71

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEF	Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AGEITEC	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
BACEN	Banco Central do Brasil
BOD	Biochemical Oxygen Demand
BSE	Síndrome da vaca louca
CGAL	Coordenação Geral de Apoio Laboratorial
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IG	Índice de Germinação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Normativa Brasileira
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
ppm	Partes por milhão
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SINDIAVIPAR	Sindicato das Indústrias de Produção Avícolas do Estado do Paraná
TEOF	Teor fertilizante
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USEPA	Agência Americana de Proteção Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	A PRODUÇÃO DE CARNE DE FRANGO NO BRASIL.....	14
2.2	ASPECTOS AGRONÔMICOS E AMBIENTAIS DA CAMA DE AVIÁRIO E SEU USO COMO FERTILIZANTES DE SOLOS.....	16
2.2.1	Composição da cama de aviário	16
2.2.2	Macronutrientes.....	18
2.2.3	Micronutrientes.....	20
2.3	COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAMA DE AVIÁRIO.....	20
2.4	COMPOSTAGEM DE CAMA DE AVIÁRIO	23
2.3.1	Fases da compostagem	25
2.3.2	Fatores que influenciam a compostagem.....	26
2.3.2.1	Temperatura	26
2.3.2.2	Umidade	27
2.3.2.3	Aeração	27
2.3.2.4	Relação C/N	28
2.3.2.5	pH.....	29
2.4	AVALIAÇÃO DA MATURAÇÃO DO COMPOSTO	30
2.4.1	Teste de germinação com compostos orgânicos	31
2.5	LEGISLAÇÃO APLICADA AO USO DE CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO.....	32
2.5	VIABILIDADE ECONÔMICA E PRECIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO	33
2.5.1	Estudos sobre a viabilidade econômica do uso da cama de aviário como fertilizante.....	33
2.5.2	Cálculo para comercialização de cama de aviário	35
3	OBJETIVOS	38
3.1	OBJETIVO GERAL	38
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
4.2	MONTAGEM DAS PILHAS	41
4.2.1	Coleta	43
4.3	MONITORAMENTO DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM.....	43
4.2.1	Temperatura.....	43
4.2.2	Controle de umidade e aeração	43

4.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	44
4.3.1 Umidade	45
4.3.4 Matéria Orgânica	46
4.3.5 Carbono Orgânico Total	47
4.3.7 Fósforo disponível	47
4.3.8 Metais	48
4.4 ANÁLISE DE MATURAÇÃO DO COMPOSTO – TESTE DE FITOTOXICIDADE	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 PARÂMETROS FÍSICOS	54
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	56
5.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS	65
5.4 ANÁLISES DE FITOTOXICIDADE	68
5.5 PRECIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO	71
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

1 INTRODUÇÃO

Entre as atividades agropecuárias desenvolvidas no Brasil, destaca-se a avicultura de corte. As exportações brasileiras de carne de frango, *in natura* e processadas, totalizaram 2,433 milhões de toneladas entre janeiro de julho de 2019 de acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA).

O estado do Paraná possui destaque na atividade agropecuária e é um dos principais produtores de carne de frango de corte do Brasil. A região Oeste se sobressai em relação às outras regiões em relação ao sistema produtivo de confinamento das aves.

A atividade socioeconômica de avicultura, além de gerar emprego, renda e alimento, também gera uma quantidade significativa de resíduos, denominado por cama de aviário. A cama de aviário é constituída por excrementos e as penas das aves, a ração desperdiçada e o substrato absorvente de umidade usado sobre o piso dos aviários, sendo considerada, a cama, um resíduo com alta concentração de nutrientes e que pode ser usada como fertilizante de solos.

Para evitar gastos com fertilizantes minerais, o uso de resíduos orgânicos na agricultura torna-se uma opção atrativa para os agricultores, desta forma, há também um interesse em buscar informações com intuito de avaliar a viabilidade técnica e econômica para a disposição desse resíduo em solos agrícolas. Há muitas pesquisas sobre o rendimento da produção de grãos após aplicar este resíduo no solo, porém há uma necessidade de analisar as características nutricionais deste composto.

No município de Santa Helena, no Oeste do Paraná, é uma prática comum entre os agricultores que, ao fazer a manutenção e limpeza de seus aviários, aplicam grandes quantidades de cama de aviário em seus cultivos a fim de enriquecer o solo, e este resíduo, geralmente, é aplicado sem qualquer prévio tratamento.

Uma das formas de melhorar as características físico-químicas da cama de aviário é submetendo-a ao processo de compostagem, que, em condições controladas, como o monitoramento da temperatura, umidade e aeração, pode gerar um composto de qualidade, com maior disponibilidade de nutrientes, e este pode ser usado como fertilizante agrícola, substituindo assim, o uso de fertilizantes minerais.

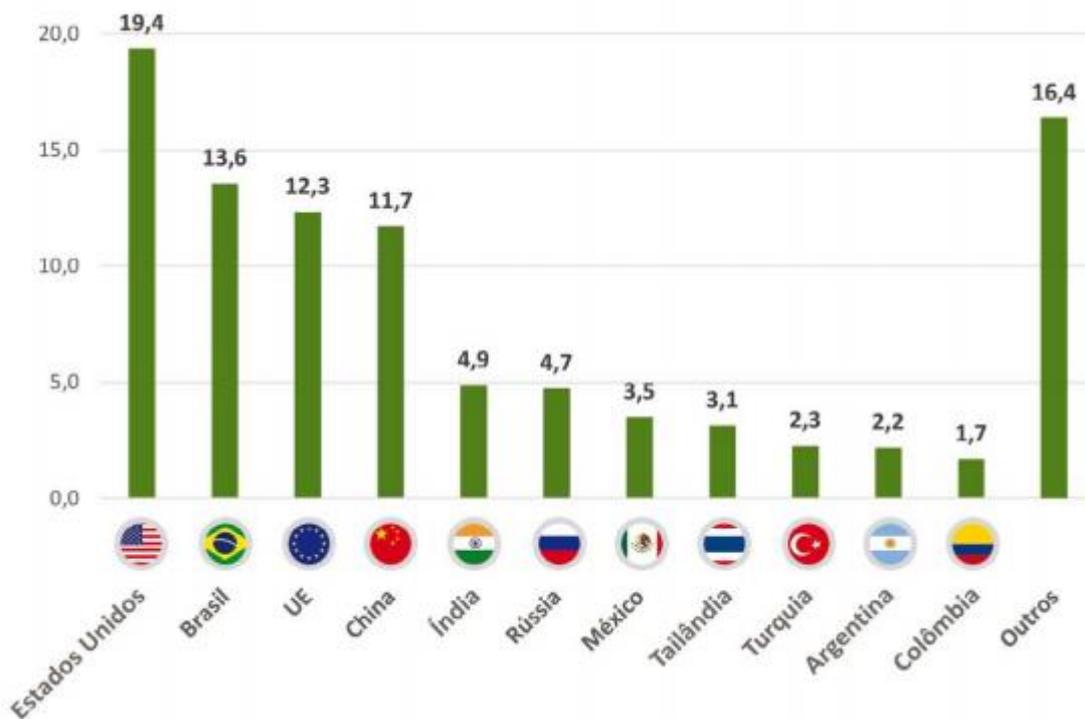
Desta forma, esta pesquisa objetivou realizar a compostagem de cama de aviário de uma propriedade rural do município de Santa Helena e caracterizar alguns parâmetros físico-químicos a fim de determinar as características deste substrato e as possíveis utilizações como fertilizante agrícola, já que, normalmente, esta análise não é realizada pelos produtores rurais, que aplicam cama de aviário para fertilizar suas lavouras mas não possuem dados da composição deste material.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A PRODUÇÃO DE CARNE DE FRANGO NO BRASIL

O Brasil é o segundo país que mais produz carne de frango no mundo, em primeiro lugar se encontra os EUA – Estados Unidos da América (EMBRAPA, 2018). A figura 1 indica a produção de carne de frango no ano de 2018 em milhões de toneladas, de acordo com relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA/FAS, 2018).

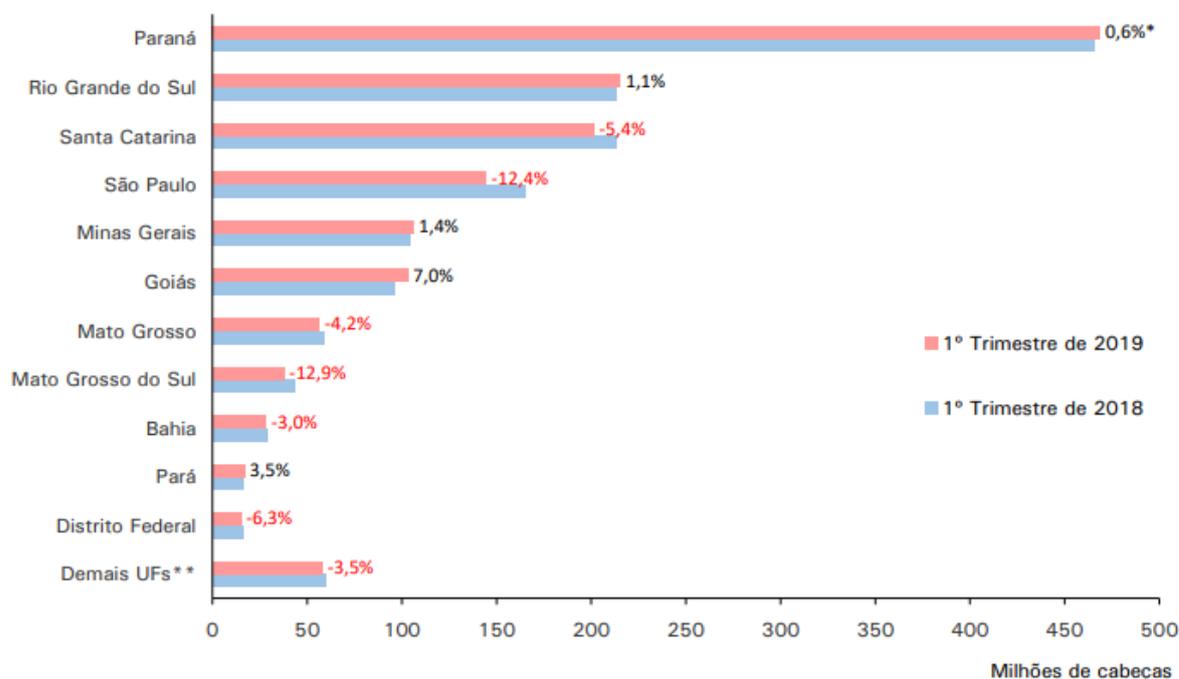
Figura 1: Produção mundial de produção de carne de frango no ano de 2018 em milhões de toneladas



Fonte: USDA/FAS, 2018.

No primeiro trimestre de 2019 a Região Sul do Brasil respondeu por 61,1 % do abate nacional de frangos seguida pelas Regiões Sudeste (18,7 %), Centro-Oeste (14,6 %), Nordeste (3,9 %) e Norte (1,8 %), como mostra a figura 2. (IBGE, 2018).

Figura 2: Ranking e variação anual do abate de frangos - Unidades da Federação - primeiros trimestres de 2018 e 2019.



*Variação 2019/2018. **Agregado das Unidades da Federação com participação inferior a 1,0% do total nacional.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2018.IV e 2019.I.

Segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica - AGEITEC (2017), o ciclo de produção avícola nacional constitui-se no setor pecuário como a atividade de maior industrialização e as questões ambientais relacionadas a essa atividade são de suma importância, pois exigem um controle produtivo com qualidade nutricional e ambiental até chegar ao consumidor.

Em 2018, o Paraná foi o estado brasileiro que mais contribuiu para a exportação de carne de frango no país, com 37,05 %, seguido pelos estados de Santa Catarina com 26,92 % e Rio Grande do Sul com 14,35v % (EMBRAPA, 2019).

De acordo com dados do Sindicato das Indústrias de Produção Avícolas do Estado do Paraná (SINDIAVIPAR, 2017), a região Oeste do Paraná é a de maior representatividade nos números de abates de frangos, com cerca de 30% dos abates realizados no ano de 2017, seguida pela região Norte (21 %) e Sudoeste (19 %).

Na tabela 1 podemos observar dados sobre o número de abatedouros, incubatórios e aviários de corte existentes por mesorregiões no estado do Paraná.

Tabela 1: Dados da avicultura paranaense por mesorregiões.

Região	Abatedouros	Incubatórios	Aviários de Corte
Noroeste	4	3	1.364
Norte Central	12	8	4.115
Norte Pioneiro	2	2	959
Oeste	7	8	6.850
Centro Ocidental	3	1	932
Centro Oriental e Metropolitana	2	3	1.295
Sudoeste	6	10	4.259
Centro Sul	0	0	24
Sudeste	0	0	171
Total	36	35	19.969

Fonte: SindiaVIPAR, 2018.

A atividade avícola proporciona desenvolvimento econômico, contudo, ocorre a geração de grandes quantidades de resíduo conhecido por cama de aviário e/ou frango. Os substratos utilizados como cama de aviário geralmente são de origem agrícola e sofrem variação de acordo com a região, sendo comumente constituídos de maravalha, serragem, casca de arroz, casca de café, entre outros (PIRES; RICCI; MENDES, 2013).

2.2 ASPECTOS AGRONÔMICOS E AMBIENTAIS DA CAMA DE AVIÁRIO E SEU USO COMO FERTILIZANTES DE SOLOS

2.2.1 Composição da cama de aviário

A cama de frango é considerada todo material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves, ela contém uma mistura de dejetos, material do leito da cama (serragem, aparas de madeira, etc.), penas, descamações da pele das aves, e restos de alimento que caem dos comedouros e é indispensável para proteger os animais das intempéries climáticas e do contato com o piso dos galpões. (VIRTUOSO *et al.*, 2015).

O material do leito da cama mais recomendado é a maravalha devido ao seu bom desempenho quanto ao bem-estar de frangos além de possuir alta capacidade de absorção e secagem, facilidade de manejo e boa condição microbiológica (ÁVILA *et al.*, 2007; GARCIA; PAZ; CALDARA; 2011).

Dentre os materiais utilizados como cama, além da maravalha, também são utilizadas a serragem, casca de amendoim, casca de arroz, casca de café, capim seco, sabugo de milho picado, entre outros (FUKAYAMA, 2009).

Através da Lei nº 12.305/10 de 2010, que institui a PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos, a cama de aviário é classificada como:

“I - quanto à origem: i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades. II - quanto à periculosidade: a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.” (BRASIL, 2014).

Assim, a cama de aviário pode ser considerada como um resíduo perigoso pela sua patogenicidade. Os organismos aeróbios são os principais componentes bacterianos da cama de frangos de corte (KAMIMURA, 2018). A composição da população bacteriana da cama é, em geral, muito aproximada da composição da biota fisiológica do íleo de frangos, representada por aproximadamente 70 % de *Lactobacilos*, 11 % de *Clostridium* sp., 6,5 % de *Streptococcus* sp. e 6,5 % de *Enterococcus* sp (FIORENTIN, 2005).

Muitos dos microrganismos patogênicos presentes nas fezes dos frangos são resistentes aos antimicrobianos usados no tratamento de doenças em humanos e em outros animais de criação doméstica, desta forma, quando a cama de aviário é aplicada no solo sem um tratamento prévio por meio de fermentação, estes microrganismos podem contaminar o solo, os mananciais de água e a vegetação (TESSARO, 2011).

Até o ano de 2001 a cama de aviário era utilizada para a alimentação de ruminantes, porém seu uso e comercialização para esta finalidade foi proibida por meio da Instrução Normativa nº 15 de 17 de julho de 2001 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, pois os animais alimentados com este produto estavam sendo afetados pela doença BSE – síndrome da vaca louca (HAHN, 2004).

Também é possível utilizar a cama de aviário para a geração de energia no próprio aviário, por meio da biodigestão ou digestão anaeróbia, e o biogás

produzido por estes processos, pode ser utilizado para o aquecimento dos pintainhos e também na substituição da energia elétrica (PALHARES, 2012).

A sua conversão em energia pode ser feita por diferentes processos, dependendo do material e do tipo de energia desejada (TESSARO, 2015). O uso da biomassa de cama de aviário é uma alternativa viável na produção de biogás, capaz de substituir os combustíveis tradicionais e a energia elétrica (BARBOZA, 2014).

Os resíduos da produção avícola também podem ser utilizados como fertilizantes de solo, que é o uso mais comum deste resíduo, por apresentar altas concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), além de substâncias orgânicas que demandam oxigênio na sua estabilização (FERREIRA, 2010).

A aplicação de compostos orgânicos ao solo, proporciona diversos benefícios sobre as suas propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas (HANCKE, 2018). Dentre as propriedades físicas pode-se citar a melhoria da estrutura, aeração, drenagem interna e armazenamento de água; nas condições químicas dos solos, esses compostos proporcionam o enriquecimento gradual do solo com macro e micronutrientes e sobre as propriedades físico-químicas, melhora a adsorção de nutrientes e a capacidade de troca de cátions (CTC), diminuindo a lixiviação de nutrientes causadas pela chuva. (TRANI *et al.*, 2013).

Para finalizarem seu ciclo de vida, as plantas necessitam de nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento adequado, estes são classificados em macronutrientes (encontrados em maiores proporções) sendo eles o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e micronutrientes (encontrados em menores proporções) estes são o boro (B), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), manganês (Mn) e cloro (Cl) (FERREIRA, 2012).

2.2.2 Macronutrientes

O fósforo (P) é um elemento essencial à vida e tem uma distribuição muito irregular na natureza (KLEIN e AGNE, 2012). Ele tem muitas funções na planta: estimula o crescimento e a formação do sistema radicular no início do seu desenvolvimento, ele é responsável pelo arranque das plantas, pela maturidade e ajuda na formação das sementes (BRAGA, 2010).

As plantas absorvem fósforo na forma de fosfato inorgânico (Pi) e a matéria orgânica dos solos liberta este fosfato no processo chamado mineralização (JONES *et al.*, 2013).

A quantidade de fósforo disponível para as plantas pode ser limitada porque o fosfato é facilmente lixiviado, precipitado e adsorvido por materiais orgânicos e minerais, ou porque fica indisponível por carência hídrica, ou ainda retirado da rizosfera pelas raízes (JONES *et al.*, 2013). Os coeficientes de difusão do fosfato inorgânico são muito baixos, em comparação com outros nutrientes e para obter o fósforo do solo, as raízes modificam a sua estrutura e função, ou manipulam a química do solo, ou ainda, associam-se mutualisticamente com fungos micorrízicos (JONES *et al.*, 2013).

O fósforo, quando ultrapassa o nível máximo necessário para desenvolvimento de plantas, pode ser um grande problema, pois a capacidade de adsorção de P pelas partículas do solo é esgotada e passa a ser lixiviado, alcançando o lençol freático (DE PAULA JUNIOR, 2014). Desta forma quando os sistemas agrícolas começam a fornecer água ou sedimentos de erosão ricos em P, aumenta a disponibilidade desse nutriente nos sistemas hídricos superficiais (açudes, lagos, reservatórios de represas e redes de drenagem) e, com isso, ocorre um rápido crescimento de algas nos sistemas aquáticos, fenômeno conhecido como eutrofização das águas (GATIBONI, *et al.*, 2014).

Desta forma, a tomada de decisão para a aplicação de fertilizantes fosfatados deve ser baseada na análise de solo, a qual pode ser, em alguns casos, auxiliada pela análise de tecido vegetal (SANTOS, GATIBONI e KAMINSKI, 2008).

O potássio (K) atua principalmente na regulação do potencial osmótico das células e atua como ativador de inúmeras enzimas envolvidas nos processos metabólicos da respiração e fotossíntese (ANTUNES *et al.*, 2013). Plantas nutridas adequadamente com potássio, apresentam maior tolerância a geada, ventos, seca, pragas e doenças, porém o excesso de potássio no solo diminui a absorção de magnésio, além do cálcio, em menor proporção. (ANTUNES *et al.*, 2013).

O cálcio (Ca) promove a redução da acidez do solo, melhora o crescimento das raízes, aumento da atividade microbiana, aumento da disponibilidade de molibdênio (Mo) e de outros nutrientes (BRAGA, 2009). Os efeitos indiretos do cálcio são tão importantes quanto o seu papel como nutriente, pois quando o cálcio promove a redução da acidez do solo, diminui a toxidez do alumínio

(Al), cobre (Cu) e manganês (Mn), assim plantas que apresentam altos teores de cálcio resistem melhor a toxidez destes elementos (BRAGA, 2009). O cálcio é responsável pela rigidez da parede celular (LUENGO *et al.*, 2018).

Nas plantas, o magnésio (Mn) está no centro da molécula de clorofila e é o intermediário para a produção de carboidratos (LUENGO *et al.*, 2018).

2.2.3 Micronutrientes

O zinco (Zn) é importante para o metabolismo da planta e sua deficiência pode levar ao acúmulo de outros nutrientes, inclusive o fósforo, tornando-os incapazes de formar substâncias orgânicas. Sua deficiência pode provocar toxidez de fósforo (PRIMAVESI, 2002).

O cobre (Cu) é essencial à fotossíntese e à produção de clorofila nas plantas, sua deficiência deixa as folhas amarelas e murchas, também causa morte das regiões de crescimento dos ramos (SENGIK, 2003). Em gramíneas a deficiência de cobre indica uma cor parda da panícula e o seu encurvamento (SENGIK, 2003).

O manganês (Mg) atua principalmente em sistemas enzimáticos de planta, sendo importante na fotossíntese e produção de aminoácidos e quando em falta, se manifesta com o amarelecimento das folhas mais novas. (SENGIK, 2003).

O ferro (Fe) não faz parte da clorofila, mas é necessário para que esta se forme; participa também da fotossíntese, do desenvolvimento dos cloroplastos e do desenvolvimento dos ribossomos (LUENGO *et al.*, 2018).

2.3 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAMA DE AVIÁRIO

Diversas pesquisas com cama de aviário foram desenvolvidas no Brasil com diferentes objetivos, além da caracterização físico-química, como: aplicação em solo como fertilizante e análise do rendimento de diferentes culturas, avaliação da biodigestão anaeróbica na produção de biogás, comparação do uso de fertilizantes organominerais associados ao uso de cama de aviário em relação aos parâmetros NPK, compostagem e perdas de nitrogênio, entre outras. Por meio das pesquisas

realizadas, os autores caracterizaram diferentes parâmetros da cama de aviário *in natura*.

Valadão *et al.* (2011), analisou as alterações nas propriedades do solo de cerrado nativo em sistemas de plantio direto com diferentes adubações: mineral, cama de aviário crua e cama de aviário compostada. A cama de frango crua revelou-se mais vantajosa na disponibilidade de nitrogênio total e menos eficiente em garantir a qualidade física do solo. A cama de aviário compostada proporcionou atributos mais semelhantes às condições naturais.

Aires (2012), em sua pesquisa com análise do desempenho de um equipamento de pré-processamento de cama de frangos de corte, utilizando biodigestores batelada e contínuos em diferentes tempos de retenção hidráulica, afirmou que, existe viabilidade econômica para instalação de plantas de biogás em granjas com dois e quatro galpões de frangos de corte, com retorno de investimento em 6,2 e 3,6 anos, respectivamente. Os valores do biodigestor e do grupo gerador são responsáveis por cerca de 40 a 49 % do investimento inicial da planta de biogás, o que interfere potencialmente nos indicadores econômicos.

Passos, Rezende e Carvalho (2014), avaliaram os efeitos agrônômicos dos resíduos orgânicos de cama de aviário, esterco de curral e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK na cultura da soja e nos atributos químicos do solo. Os autores concluíram que os resíduos de cama de aviário e esterco de curral incrementaram o índice de área foliar da cultura de forma superior ao resíduo de pó de carvão representando interessante estratégia de manejo para o aumento da cobertura vegetal.

Richart, Gibbert e Müller (2014), quantificaram as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia da cama de aviário em função da profundidade de incorporação, aplicada ao solo em duas condições de pH (5,5 e 6,5) de um Argissolo Vermelho Eutrófico. Os resultados obtidos indicaram que o pH do solo não interferiu no processo de volatilização de NH_3 da cama de aviário.

Guimarães *et al.* (2016), avaliou o desenvolvimento e a qualidade da cana-de-açúcar variedade RB 867515 e os atributos químicos do solo em resposta à aplicação de níveis variáveis de fertilização com cama de aviário. O autor observou aumentos de P, K, Ca e Mg pelo incremento no nível de fertilização com cama de aviário e aumento linear na produtividade de massa verde da cana.

Na tabela 2, podemos observar a caracterização físico-química realizadas pelos autores relacionados.

Tabela 2 - Composição da cama de aviário de acordo com pesquisas de diferentes autores.

Parâmetros	Valadão <i>et al.</i> (2011) ¹	Aires (2012) ²	Passos, Rezende e Carvalho (2014) ³	Richart, Gibbert e Müller (2014) ⁴	Guimarães <i>et al.</i> (2016) ⁵
Número de lotes	-	3	-	6	-
Umidade	-	-	-	3,43 (%)	23,4%
pH	-	-	7,4	7,00	7,2
Matéria Orgânica	-	-	820,00 (g kg ⁻¹)	628,00 (g kg ⁻¹)	-
Carbono orgânico total	243,0 (g kg ⁻¹)	-	411,00 (g kg ⁻¹)	365,00 (g kg ⁻¹)	185,6 (g kg ⁻¹)
Nitrogênio total	40,0 (g kg ⁻¹)	34,4 (g kg ⁻¹)	44,00(g kg ⁻¹)	40,84 (g kg ⁻¹)	35,4 (g kg ⁻¹)
Fósforo disponível	37,7 (g kg ⁻¹)	8,2 (g kg ⁻¹)	-	29,62 (g kg ⁻¹)	11,9 (g kg ⁻¹)
Potássio	32,0 (g kg ⁻¹)	19,6 (g kg ⁻¹)	37,00 (g kg ⁻¹)	33,00 (g kg ⁻¹)	29,6 (g kg ⁻¹)
Cálcio	64,2 (g kg ⁻¹)	29,7 (g kg ⁻¹)	31,00 (g kg ⁻¹)	47,50 (g kg ⁻¹)	23,9 (g kg ⁻¹)
Magnésio	7,8 (g kg ⁻¹)	7,7 (g kg ⁻¹)	11,50 (g kg ⁻¹)	10,00 (g kg ⁻¹)	7,1 (g kg ⁻¹)
Sódio	-	6,6 (g kg ⁻¹)	4,50 (g kg ⁻¹)	-	4,96 (g kg ⁻¹)
Ferro	2274,9 (mg kg ⁻¹)	1750 (mg kg ⁻¹)	2324,00 (mg kg ⁻¹)	13300,00 (mg kg ⁻¹)	2134,00 (mg kg ⁻¹)
Zinco	308 (mg kg ⁻¹)	750 (mg kg ⁻¹)	624,00 (mg kg ⁻¹)	880,00 (mg kg ⁻¹)	530,00 (mg kg ⁻¹)
Cobre	233 (mg kg ⁻¹)	700 (mg kg ⁻¹)	119,00 (mg kg ⁻¹)	155,00 (mg kg ⁻¹)	67,00 (mg kg ⁻¹)
Manganês	194,5 (mg kg ⁻¹)	500 (mg kg ⁻¹)	691,00 (mg kg ⁻¹)	1230,00 (mg kg ⁻¹)	538,00 (mg kg ⁻¹)

¹ O estudo foi realizado em Campo Verde – MT e objetivou verificar alterações nas propriedades físicas e no carbono total do solo devido à adição de cama de frango crua e compostada.

² A cama de aviário analisada foi coletada de uma granja comercial no município de Monte Alto-SP e a pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o objetivo do estudo foi avaliar a biodigestão anaeróbica com ou sem pré processamento da cama de frangos de corte, com diferentes frações, para análise quantitativa e qualitativa de nutrientes dos afluentes e efluentes, assim como a qualidade do biogás gerado no processo.

³ O experimento foi conduzido em Itutinga, MG e objetivou-se, com o trabalho, avaliar a utilização dos resíduos orgânicos cama de frango, esterco de curral curtido e pó de carvão, associados ou não ao fertilizante mineral NPK, no estado nutricional da planta de soja cultivada em Cambissolo Háplico.

⁴ Pesquisa realizada em Brasilândia do Sul – PR com o objetivo de quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia da cama de frango em função da profundidade de incorporação.

⁵ O estudo foi realizado em Viçosa – MG e objetivou avaliar os atributos químicos do solo em resposta à aplicação de níveis variáveis de fertilização com cama de aviário.

Fonte: Autoria própria (2019).

2.4 COMPOSTAGEM DE CAMA DE AVIÁRIO

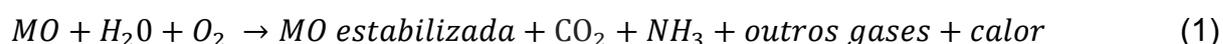
A melhor forma para não se causar a depreciação dos recursos naturais pelo descarte do resíduo oriundo da produção avícola é a aplicação de boas práticas de produção e uma dessas formas é o aproveitamento dos resíduos como fonte de nutrientes para as culturas vegetais após sofrer um processo de compostagem ou biodigestão (AGEITEC, 2017).

A compostagem consiste basicamente na geração de um composto por meio da disposição e mistura de materiais orgânicos, de origem vegetal e animal, para que ocorra de forma acelerada o processo natural de decomposição pela ação de microrganismos, por isso é considerada uma forma eficiente de tratar a cama de aviário (JUNIOR *et al.*, 2018).

A compostagem é um processo de oxidação aeróbica de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para produção do composto, nome dado ao fertilizante orgânico assim produzido. Neste processo, a matéria orgânica é decomposta principalmente por meio da ação de grupos de microrganismos e enzimas, resultando na fragmentação gradual e oxidação dos detritos, ocorrendo em duas etapas, sendo a oxidação química e a humificação (DE SOUZA *et al.*, 2004).

Os resíduos orgânicos sofrem transformações metabólicas desde que fornecidas às condições de umidade, aeração e microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas, insetos etc., que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de matéria e energia. Como resultado da digestão da matéria orgânica por esses organismos, ocorre à liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio se transformando em nutrientes minerais. Ou seja, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização (AQUINO, 2005).

O processo de compostagem é globalmente uma reação exotérmica, que pode ser traduzida pela Equação 1 (BELO, 2011):



A aplicação direta dos resíduos animais, como esterco e a camas aviárias, não é recomendada em virtude da baixa estabilidade química dos compostos, o que eleva o risco de queima das plantas, sobretudo em folhosas e tuberosas, além de eventuais perdas de nutrientes via lixiviação de nitratos e volatilização da amônia (CONCEIÇÃO, 2018). Desta forma a utilização de um processo de decomposição da cama de aviário antes de sua aplicação no solo permite, em determinadas condições, a transformação biológica da matéria orgânica em compostos inorgânicos e num estado em que ela apresenta, ao mesmo tempo, uma elevada qualidade como fertilizante e com menores impactos negativos ao ambiente (HAHN, 2004).

Os resíduos agroindustriais normalmente apresentam alta carga orgânica e não é recomendado que sejam descartados no meio ambiente sem o devido tratamento (JÚNIOR, 2014). Há uma preocupação por parte de ambientalistas de que o uso descontrolado da cama de aviário como fertilizante pode ocasionar poluição do meio ambiente rural com a liberação de odores e gases como o metano e o dióxido de carbono (NEITZKE, 2010).

Alguns minerais como o N, P, Cu e Zn podem ser pouco aproveitados pelas aves e aplicações indiscriminadas de cama de aviário podem tornar o fertilizante orgânico em poluente do solo, das águas, da atmosfera também causar toxidez às plantas e deterioração da qualidade dos produtos agrícolas produzidos (SEGANFREDO, 2006 e FIORESE *et al.*, 2018).

Para que todo ciclo de compostagem esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação C/N do resíduo), tendo como resultado um composto normalmente escuro e de textura turfa, utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas (CERRI, 2008).

O processo de compostagem pode ser classificado, em relação a aeração: aeróbio, anaeróbio ou misto; temperatura: criofílico, mesofílico ou termofílico; relação com o meio: aberto ou fechado; revolvimento: estático ou dinâmico (FLAUZINO, 2011).

Kumar (2011), menciona três tipos principais de sistemas de compostagem: *windrow*, leiras estáticas aeradas e reatores. O sistema *windrow* consiste na aeração por revolvimento, geralmente mecânico, e o parâmetro usado como indicador para revolvimento das leiras é a temperatura, de forma que quando um valor entre 55°C e 60°C é atingido, o revolvimento ocorre. A aeração nas leiras estáticas aeradas é fornecida por sopradores ou difusores de ar. E nas leiras com reatores, os parâmetros de oxigenação são aplicados sem interferência externa.

2.3.1 Fases da compostagem

Os principais processos que ocorrem durante o processo de compostagem são a mineralização e a humificação da matéria orgânica (Gajalakshmi e Abbasi, 2007). A taxa de degradação da matéria orgânica diminui gradualmente à medida que avança o processo, devido à redução de fontes de carbono e reações de síntese de novos complexos polimerizados e compostos orgânicos (humificação), que prevalecem à mineralização durante a fase de maturação (Belo, 2011).

Há quatro importantes fases da temperatura que estão diretamente ligadas ao processo de compostagem na mineralização e a humificação da matéria orgânica:

1^a) Fase mesofílica: é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40°C e tem duração média de dois a cinco dias.

2^a) Fase termofílica: quando o material atinge sua temperatura máxima (> 40°C) e é degradado mais rapidamente, pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado.

3^a) Fase de resfriamento: é marcada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente.

4^a) Fase da maturação: é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade (FISCHER e GLASER, 2012; BERNAL *et al.*, 1998; TRAUTMANN e OLYNCIW, 2005).

Durante os primeiros dias de compostagem a temperatura aumenta devido a ação de microrganismos aeróbios e facultativos, e os principais envolvidos são: bactérias, actinomicetos e fungos, portanto, pode ser comprometida por qualquer fator que atinja a atividade dos mesmos, entre as principais, a umidade e a aeração (VERAS e POVINELLI, 2004; KIEHL, 2010).

2.3.2 Fatores que influenciam a compostagem

No processo a ação microbiológica e enzimática é fundamental na fragmentação gradual e oxidação dos detritos na matéria orgânica. Então, para a obtenção de uma adequada degradação da matéria orgânica sem elevadas perdas nutricionais por lixiviação ou volatização, e redução no tempo necessário para transformações apropriadas no descarte inicial, é necessário que alguns fatores devam ser monitorados e mantidos sobre controle ao longo do processo (VERAS, POVINELLI, 2004; KIEHL, 2010). Estes fatores são: temperatura, umidade, aeração, relação C/N, pH, tamanho das partículas e os resíduos orgânicos utilizados, que influenciam no tempo de degradação e qualidade do composto final (BRUNI, 2005; BARREIRA, JUNIOR e RODRIGUES, 2006; KIEHL, 2010 e BERNARDI, 2011).

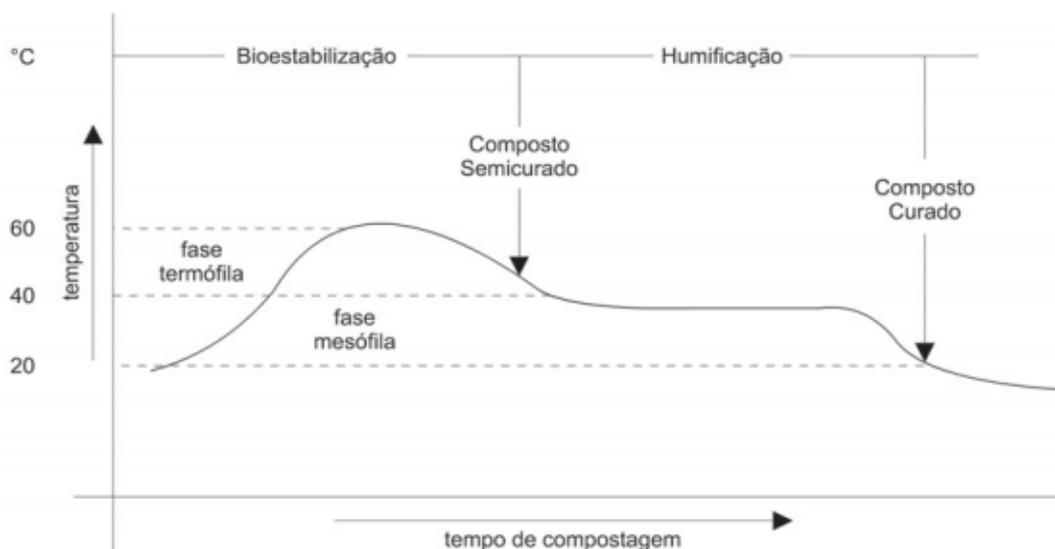
2.3.2.1 Temperatura

Para que a compostagem seja eficiente deve realizar-se nas faixas mesófilas, 45 °C a 55 °C, e termófilas, acima de 55 °C (BIDONE e POVINELLI, 2009). Temperaturas acima de 65°C são desaconselháveis, uma vez que mantidas por longos períodos, eliminam os microrganismos bioestabilizadores responsáveis pela transformação do material bruto em húmus (VALENTE *et al.*, 2016).

Como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema, a pilha ou leira, deve registrar temperaturas de 40 a 60 °C dentro do segundo ao quarto dia da montagem (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008; VALENTE *et al.*, 2016).

A figura 4 indica uma relação entre as fases da temperatura e o tempo de compostagem em relação à bioestabilização e humificação do composto.

Figura 3: Fases da compostagem em relação à temperatura



Fonte: (D'Almeida e Vilhena, 2000).

2.3.2.2 Umidade

A umidade deve variar entre 40 % a 60 %, na faixa de 55 % é o ideal para propiciar uma melhor degradação dos resíduos orgânicos, valores superiores ao máximo podem levar o composto a sofrer um processo de anaerobiose, entretanto valores inferiores a 40 % restringem a atividade microbiana de degradação dos resíduos orgânicos (NETO, 1996).

A umidade considerada mais satisfatória para obter bons resultados na compostagem seria entre 50 e 60 % (VALENTE *et al.*, 2016).

A utilização de materiais como palhas, capins, serragens e afins, além de servirem como materiais estruturantes e proporcionarem a correção da relação C/N, são interessantes no que diz respeito a adequação à umidade (GUERMANDI, 2015).

2.3.2.3 Aeração

A melhor taxa de oxigênio na leira para o processo de compostagem é acima de 10 %. Quando ocorre a necessidade de aeração artificial, pode-se realizar

o revolvimento ou insuflação de ar na leira (JURADO *et al.*, 2015 e ALMEIDA *et al.*, 2015).

A presença de oxigênio na compostagem confere ao processo duas características importantes do ponto de vista da biossegurança: o aumento da temperatura e a aceleração da decomposição (COSTA *et al.*, 2005).

A aeração também é um fator importante para o 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; FERNANDES; SILVA, 1999; VALENTE *et al.*, 2009).

O revolvimento do composto, ao mesmo tempo em que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na região interna da pilha do material orgânico, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos (KIEHL, 1985).

A taxa de consumo de oxigênio é proporcional à taxa de decomposição da matéria orgânica, que é realizada pelos microrganismos heterotróficos, que convertem as moléculas orgânicas em inorgânicas. No caso do carbono, a mineralização se traduz pela liberação de C da matéria orgânica na forma de CO₂ (HUANG *et al.*, 2004).

2.3.2.4 Relação C/N

A relação entre o carbono e o nitrogênio é um dos fatores mais importantes e que mais afetam a qualidade do processo de compostagem de matérias orgânicos. A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, já que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (ZHU, 2007; BATISTA; BATISTA, 2007).

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 a síntese de proteínas (VALENTE *et al.*, 2009).

A relação C/N inicial adequada em uma massa de resíduos orgânicos deve estar entre 25:1 a 35:1. Caso a relação C/N seja muito alta, a degradação poderá ser dificultada e, caso seja muito baixa, haverá perda de nitrogênio na forma de amoníaco, que é percebido pelo seu forte odor (KIEHL, 2002).

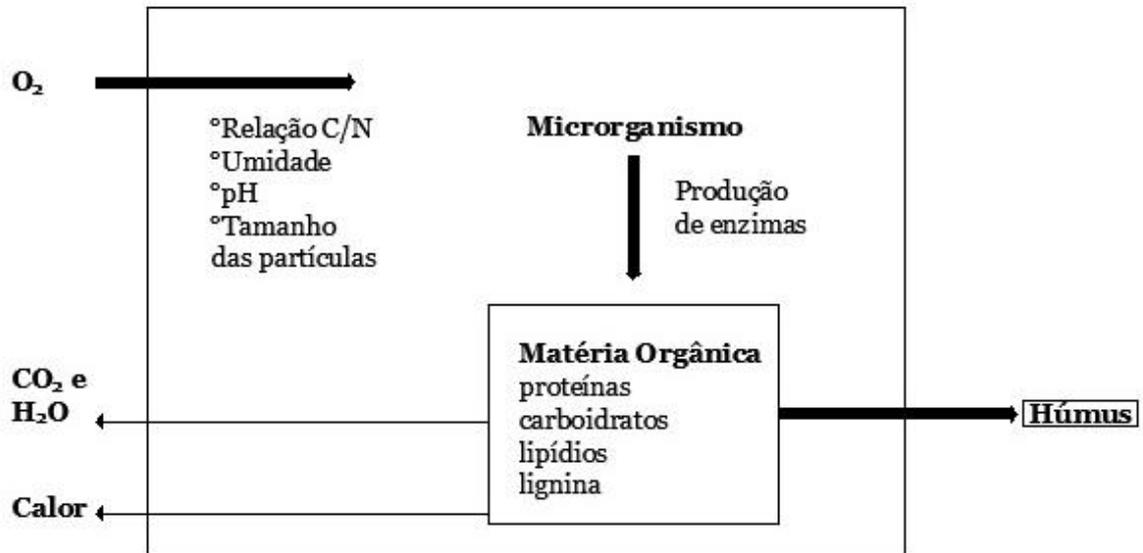
Os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio sempre na relação C/N adequada, quer a matéria prima a ser compostada tenha relação 80:1 ou 8:1 (KIEHL, 2002).

2.3.2.5 pH

O nível de pH é um indicador de acidez ou alcalinidade da massa de resíduos. O pH inicial deve estar compreendido, preferencialmente, entre uma faixa de 5,5 e 8,0 para que o processo se desenvolva de forma adequada. Níveis de pH abaixo de 5,0 provocam redução significativa da atividade microbiológica, e a leira pode não alcançar a fase termófila. Em outro extremo, valores elevados (acima de 9,0) provocam deficiência de fósforo e de micronutrientes, e o nitrogênio é convertido para amônia, tornando-se indisponível para os microrganismos (MASSUKADO, 2016).

Na figura 5 podemos observar um esquema do processo de compostagem, o qual indica a relação entre a ação de microrganismos na digestão da matéria orgânica (proteínas, carboidratos, lipídios e lignina), a consequente liberação de calor, CO₂ e H₂O, o equilíbrio entre a relação C/N, umidade, pH e tamanho das partículas até a formação do húmus.

Figura 4: Esquema do processo de compostagem



Fonte: Adaptado de Tuomela *et al.*, 2000.

2.4 AVALIAÇÃO DA MATURAÇÃO DO COMPOSTO

Entre os métodos para avaliar a maturação de composto oriundo do processo de compostagem, incluem-se as medidas da relação C/N, teor de N inorgânico, capacidade de troca de cátions, bem como o uso de índices do grau de humificação da matéria orgânica (COTTA *et al.*, 2015).

A análise de fitotoxicidade é um método comumente utilizado para avaliar a maturação do composto e seu efeito direto nas plantas, pois a fitotoxicidade pode ser considerada como ação tóxica que é provocada em plantas que iniba ou prejudique sua germinação ou desenvolvimento (CORRÊA *et al.*, 2012).

A avaliação da toxicidade das substâncias presentes nos resíduos sólidos pode ser medida por meio de ensaios de fitotoxicidade, que é a ação tóxica ou reação adversa que uma substância presente no meio provoca nas plantas, a qual pode ser determinada pela germinação das sementes, alongamento da raiz e crescimento da muda (LABRE *ET AL.*, 2008).

A avaliação de compostos orgânicos para uso agrícola tem levado em consideração a presença de metais pesados, que em concentrações elevadas podem afetar o desenvolvimento das plantas. Portanto, também é necessário avaliar

a toxicidade desses substratos antes da sua utilização (KAPANEN; ITAVAARA, 2001).

No entanto, o teste não consegue determinar quais são os contaminantes específicos que causaram a toxicidade. Para o teste é necessário o uso de plantas sensíveis, de rápido crescimento e rentáveis, como por exemplo, o agrião de jardim (*Lepidium sativum* L.) e a alface (*Lactuca sativa* L.), que como forma de resposta, mudam o seu padrão de desenvolvimento (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

2.4.1 Teste de germinação com compostos orgânicos

Entre os métodos propostos para avaliação da fitotoxicidade incluem-se os testes de germinação do composto em extrato aquoso seja ele diluído ou não (CASTRO *et al.*, 2013).

De acordo com Pelegrini *et al.* (2006), os testes de toxicidade utilizando vegetais constituem recurso prático de baixo custo, de sensibilidade razoável na indicação qualitativa da presença de substâncias tóxicas ou inibidores biológicos como os pesticidas e herbicidas.

A avaliação da fitotoxicidade pelo método de germinação de sementes tem a vantagem de dar uma resposta a um número elevado de possíveis causas de fitotoxicidade, no entanto, como desvantagem, o fato de não permitir identificar as causas específicas, como metais pesados ou íons amônio, ácidos graxos de baixo peso molecular ou a acumulação excessiva de sais (BELO, 2011).

Para o teste de germinação é preciso obter um extrato líquido, sendo este o sobrenadante de uma determinada quantidade de composto e água destilada. As sementes ficam nesse meio, sobre ou entre um material específico para cada espécie de semente utilizada. Esses materiais são chamados de substratos que podem ser de papel (mata-borrão, o papel toalha e o de filtro), areia e até mesmo água (IPEF, 1998; BRASIL, 2009; BELO, 2011).

Assim, as sementes devem ser armazenadas, em germinadores, por um período de tempo que varia de 24 horas a 72 horas, com uma intensidade de luz que varia de espécie para espécie, pois algumas germinam na ausência de luz e outras precisam de longo ou curto fotoperíodo diário. O teste sempre é replicado e

contém um branco, que funciona como controle (IPEF, 1998; BRASIL, 2009; BELO, 2011).

2.5 LEGISLAÇÃO APLICADA AO USO DE CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO

A primeira regulamentação para os fertilizantes orgânicos produzidos ou comercializados no Brasil surgiu a partir do Decreto Federal nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982 (BRASIL, 1982) e a complementação ao decreto veio com a Portaria nº 31 do Ministério da Agricultura, de 8 de junho de 1982, que aprovou os métodos analíticos que passaram a constituir os métodos e padrões oficiais para análise de fertilizantes, e a Portaria nº 1 do mesmo ministério, de 4 de março de 1983, que fixou especificações, garantias e tolerâncias dos produtos (REIS, 2005).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) possui um Manual de Métodos Oficiais para as análises físicas e físico-químicas de fertilizantes e corretivos adotados nos controles oficiais dos principais insumos agrícolas consumidos no país. Os métodos reunidos estão em conformidade com o Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 e atualizações do Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013, sendo adotados pelos laboratórios da Rede Nacional de Laboratórios, incluindo os Lanagros e Laboratórios credenciados pela Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL, da Secretaria de Defesa Agropecuária – SDA.

Em 2005 o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, lançou a Resolução nº 357, no qual em seu artigo 29, a resolução determina que a disposição de efluentes no solo não poderá causar poluição ou contaminação das águas, no entanto esta é a única citação em legislações federais que inferem a aplicação de dejetos e/ou efluentes no solo (AIRES, *et al.*, 2012).

Em 2011 foi aprovada a Resolução nº 430 do CONAMA que veio a complementar e alterar a Resolução nº 357/2005. Esta resolução dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, e em seu artigo 16 define os padrões de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora e a disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos neste artigo.

A Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, que classifica os fertilizantes destinados à agricultura, enquadra a cama de aviário como classe A, ou seja, fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

Esta mesma normativa (25/2009 – MAPA) impõem restrição à aplicação de cama de aves nas pastagens, através da a qual preconiza que a cama de aves só deve ter seu uso permitido quando realizada a incorporação ao solo e pastoreio somente após 40 dias (CORRÊA E MIELE, 2011). É necessário que, para que a cama de aviário seja um fertilizante eficiente e seguro para adubação das culturas, o conhecimento de cinco critérios técnicos, quais sejam: análise química do solo, composição do fertilizante orgânico, necessidade nutricional da cultura, conhecimento do tipo de solo e histórico das adubações (CORRÊA E MIELE, 2011).

A recomendação das doses de cama de frango deve-se ser embasada nas necessidades da cultura e nas propriedades físicas e químicas do solo, tendo assim resultados satisfatório a nível de produção e de solo (COSTA *et al.*, 2009). Também devem ser adotadas práticas de manejo e conservação do solo, inclusive no sistema plantio direto - com curvas de nível ou terraços e cobertura de solo por resíduos vegetais, para evitar possível escoamento superficial de nutrientes para os corpos de água superficiais (CORRÊA E MIELE, 2011).

2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA E PRECIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

Há poucas pesquisas relacionadas à como calcular o valor da cama de viário para comercialização. Normalmente, os agricultores vendem este resíduo para empresas e estas é que determinam seu valor em reais/tonelada.

2.5.1 Estudos sobre a viabilidade econômica do uso da cama de aviário como fertilizante

Na tabela 3 podemos observar um levantamento de estudos realizados no Brasil sobre a viabilidade econômica de utilização da cama de aviário como

fertilizantes de solos, considerando, em sua maioria, a sua composição de nitrogênio, fósforo e potássio, componentes principais de adubos minerais.

Tabela 3: Estudos sobre a viabilidade econômica da aplicação de cama de aviário na produção de diferentes culturas

Título	Objetivo	Resultados	Autor e ano
Viabilidade econômica do sistema de produção soja-milho safrinha consorciado com braquiária.	Analisar a viabilidade econômica de dois diferentes sistemas de produção soja-milho safrinha, em Mato Grosso do Sul, sendo: sistema modal e o recomendado (consorciado).	Através do conhecimento da viabilidade econômica dos sistemas de produção, foi possível contribuir para a tomada de decisão e verificar a rentabilidade do negócio.	Richetti e Guiducci, 2012.
Análise econômica da cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à adubação mineral na cultura do milho.	Avaliar a viabilidade da utilização de cama de frango em substituição à adubação mineral na cultura do milho.	O experimento levou em conta os preços dos insumos para a safra agrícola 2010/2011 e foi observado que a utilização de cama de aviário proporcionou produção semelhante às com adubação mineral, contribuindo para a redução de custos de produção e no aumento da renda.	Bulegon <i>et al</i> , 2012.
Produtividade de massa seca e proteína bruta do capim-elefante <i>cv. napier</i> em função da adubação orgânica e mineral.	Avaliar o uso da cama de frango em substituição ao adubo químico na adubação de pastagem de <i>P. purpureum cv. Napier</i> sobre a produtividade de massa seca e proteína da forragem.	A utilização de cama de frango para a adubação em cobertura sem incorporação em pastagem de capim-elefante é tão eficiente quanto a adubação com uréia.	Arruda, 2012.
Adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária	Avaliar o efeito residual da adubação com cama de aviário na pastagem durante o período de inverno e a adubação com cama de aviário no milho durante o verão como alternativa para viabilização de um sistema de produção orgânica.	A adubação com cama de aviário no milho apresenta viabilidade técnica por proporcionar aumento na produtividade da cultura.	Novakowski <i>et al.</i> , 2013.
Fertilização do milho silagem utilizando cama de frango em doses e sistemas de aplicação distintos	Avaliar a interferência do sistema de aplicação da cama de frango, do volume de aplicação da mesma e da adição ou não de uma fonte de fósforo, comparativamente à adubação química tradicional, na produção de milho para silagem.	A cama de frango utilizada como fertilizante orgânico proporciona resultados positivos na produção de milho para silagem e, dependendo do custo do produto, pode substituir com vantagens a adubação química.	Noce <i>et al.</i> , 2014.

Fonte: Autoria própria, 2019.

De acordo com as pesquisas descritas na tabela 3, com aplicação de cama de aviário em diferentes culturas e análise de sua viabilidade econômica, pode-se observar que este resíduo constitui-se um bom fertilizante de solos, e pode suprir as necessidades de nutrientes das plantas, além de substituir os fertilizantes minerais e reduzir custos de produção para os agricultores.

2.5.2 Cálculo para comercialização de cama de aviário

Metzner (2014), em sua pesquisa sobre índices de referência para apoio na precificação da cama de aviário como fertilizante, apresentou uma fórmula TEOF (teor fertilizante) para precificação da cama de aviário, baseado no seu valor nutricional de N, P e K, de alta e baixa concentração, assim pode-se determinar o preço de venda, comparando com o valor da cama de aviário praticado no mercado.

Através de sua pesquisa, Metzner (2014), afirma que a cotação de dólar está correlacionada à precificação da cama de aviário, através da ferramenta estatística “Correlação de Pearson”.

O autor usou os dados apresentados na tabela 4 como parâmetro para interpretação das correlações, encontradas entre a variação do dólar e dos preços dos insumos minerais pesquisados.

Tabela 4: Interpretação dos coeficientes de correlação

Valor do coeficiente (+ ou -)	Interpretação da correlação
0,00 a 0,19	Bem fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,69	Moderada
0,70 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Muito forte

Fonte: Bruni, 2013

Metzner (2014), afirma que esta correlação pode apresentar variações, pois alguns autores podem considerar que um coeficiente de 0,40 é fraco, outros que 0,71 é uma correlação moderada, mas que o que se pode assegurar é que quando o coeficiente está próximo a 1 a correlação existente é intensa, já quando ela apresenta um coeficiente próximo a zero, quase não há correlação.

O autor buscou dados sobre os preços de saca de milho, cama de aviário, dólar e adubo químico, dos anos de 2009 a 2013 no banco de dados da BACEN – Banco Central do Brasil, e a partir destes dados, realizou os cálculos, comparando-se os preços da cama de aviário com o dólar, e os resultados indicaram que existe relação entre ambas, ou seja, quando um sobe, o outro também sobe de preço, pois o coeficiente de determinação (R^2) é de 0,221, com efeito significativo ao nível de 1% ($P > 0,01$) para a variável em estudo. Isto representa que 21% das vezes, as oscilações de preços da cama de aviário podem ser explicadas pela variação do dólar e em 79% por outras variáveis. A tabela 5 apresenta o resultado da predição da cama de aviário, utilizando o dólar como variável independente.

Tabela 5: Resumo do modelo para predição do preço da cama de aviário x dólar

Preço da cama de aviário x dólar				
Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão de estimativa
1	0,460 ^{aa}	0,211	0,198	24,68463

^{aa} Preditores: (constante), cotação do dólar.

Fonte: Metzner, 2014.

A partir do modelo proposto por Metzner (2014), cujos coeficientes são apresentados na tabela 6, interfere-se que o preço da cama de aviário se forma com uma constante de R\$ 37,82 somados ao equivalente a U\$ 54,61, que resulta na equação 1:

$$\text{Preço da cama de aviário} = \text{R\$ } 37,82 + \text{U\$ } 54,61$$

Tabela 6: Coeficientes de predição para preço da cama de aviário x dólar

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig
	B	Modelo padrão	Beta		
1 constante	37,822	26,649	0,460	1,419	0,161
cotação dolar	54,612	13,848		3,944	0,000

* Variável dependente: preço da cama

Fonte: Metzner, 2014.

Desta forma, e, considerando que existe uma correlação entre os preços da cama de aviário e o dólar, conforme estudo levantado por Metzner (2014), faz-se necessário encontrar uma forma para estabelecer o preço da cama de aviário, baseado no seu valor fertilizante (N, P e K), assim o avicultor teria a possibilidade de decidir sobre o preço de venda.

Correa e Miele (2011) realizaram levantamento de preços por tonelada de cama de aviário em relação a concentração de nutrientes (N, P e K), classificados em baixo teor e alto teor. Os dados foram obtidos através do banco de dados e de preços Cepa/Epagri - Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola de Santa Catarina. Através deste levantamento de dados, foi possível chegar aos valores descritos na tabela 7.

Tabela 7: Valor fertilizante da cama de aviário de acordo com a concentração de nutrientes (N, P e K).

Valor fertilizante da cama de aves			Nutriente kg/ton		Valor fertilizante R\$/ton		Valor fertilizante U\$/ton	
Nutrientes	Valor R\$/kg	Valor R\$/kg	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
N	2,16	1,29	25	35	54,00	76,00	32,14	45,00
P	2,64	1,57	19	40	50,00	106,00	29,86	62,86
K	1,81	1,08	22	30	40,00	54,00	23,70	32,32
Total em R\$/U\$/Ton					144,00	236,00	85,70	140,18

Fonte: Adaptado de Correa e Miele, 2011.

De acordo com os dados levantados por Corrêa e Miele (2011), há uma variação de preço entre a cama de aviário que apresenta baixo teor de NPK e a que apresenta alto teor, com um valor de R\$144,00 para baixo teor e R\$236,00 para alto teor e em dólares, estes valores correspondem, na cotação do dólar da época (U\$1,68), a U\$85,70 para baixo teor e U\$140,18 para alto teor.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar tratamento de compostagem em cama de aviário por 180 dias e monitorar e caracterizar os parâmetros físico-químicos (temperatura, aeração, pH, umidade, carbono orgânico, matéria orgânica, fósforo disponível e os metais: potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

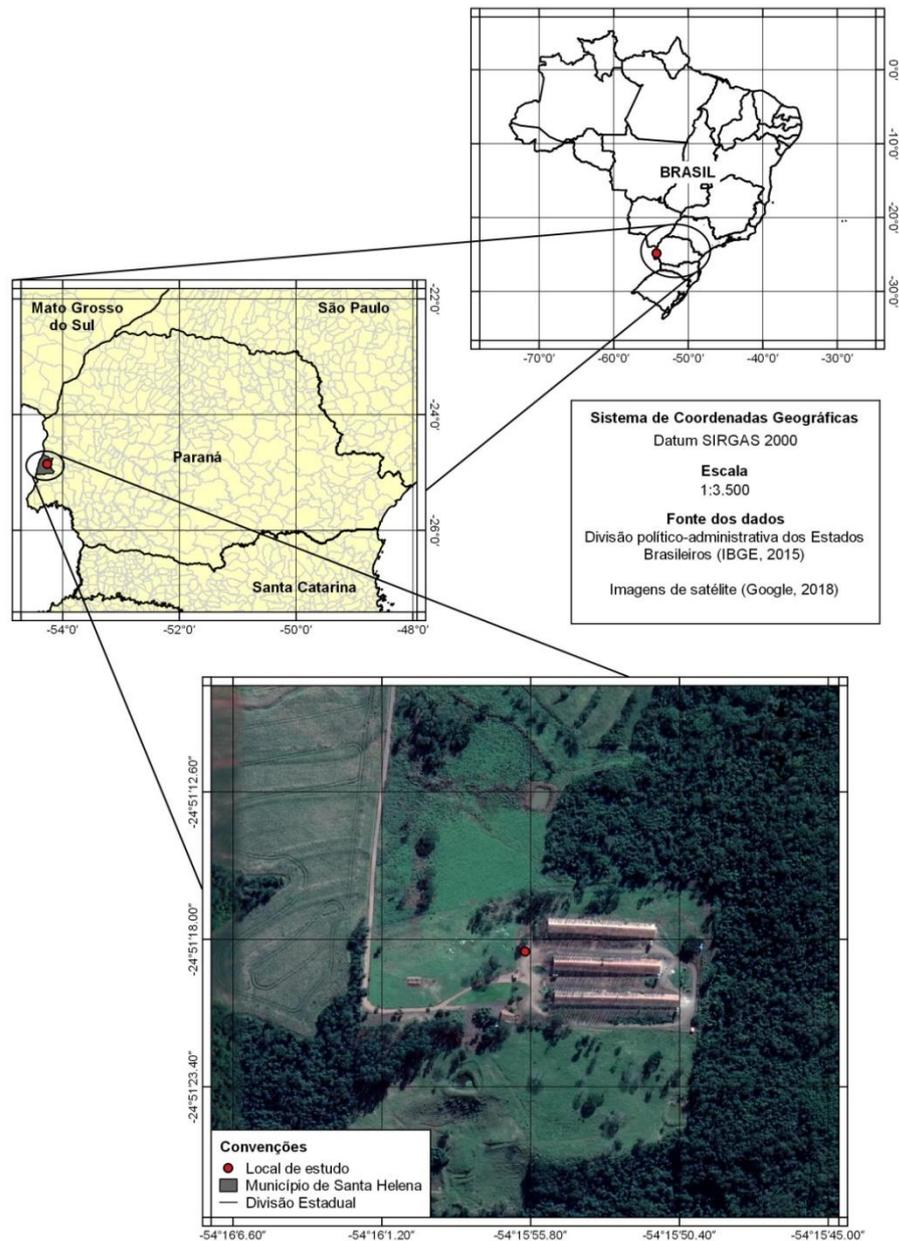
- a) Monitorar os parâmetros físicos (temperatura e umidade);
- b) Realizar caracterização química de pH, carbono orgânico total, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês, antes (*in natura*) e mês a mês durante o processo de compostagem até 180 dias de compostagem;
- c) Analisar a fitotoxicidade do composto *in natura* e oriundo da compostagem através de teste de germinação;
- d) Discutir a possibilidade de utilização desta cama como fertilizante de acordo com a legislação;
- e) Pesquisar método de precificação de cama de aviário para comercialização.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O processo de compostagem foi conduzido em uma área ao ar livre em uma propriedade rural do município de Santa Helena-PR, latitude $24^{\circ}51'18.47''\text{S}$ e longitude $54^{\circ}15'56.07''\text{O}$, conforme a figura 6.

Figura 5: Local de implementação do estudo em Santa Helena – PR



Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com a classificação climática de Köppen, Santa Helena possui clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida (IAPAR, 2014).

A cama de aviário utilizada no processo foi cedida pelo proprietário do local, que possui três aviários em operação. Sobre essa cama tinham sido criadas até o momento 6 lotes de frango, totalizando 12 meses de uso, com um vazio sanitário entre lotes de 15 dias em média. Por aviário são alojadas em média de 111.600 mil aves/ano, e, retiradas no momento da limpeza, em média de 120 t/ano de cama de aviário, que são comercializadas pelo proprietário por um valor de R\$70,00 por tonelada. Na figura 7 podemos observar a parte interior do aviário onde a cama de aviário foi coletada para montar as pilhas de compostagem.

Figura 6: Cama de aviário utilizada no processo de compostagem



Fonte: Autoria própria (2018).

A cama de aviário utilizada na compostagem é composta pelos dejetos das aves, maravalha e *staldren*. A maravalha usada como substrato absorvente de umidade é composta basicamente pela espécie *Pinus eliotti* e é obtida pelo processamento dessa madeira reflorestada, sem aditivo de químicos, esterilizada por processo térmico, livre de *salmonela*, fungos, enterobactérias e *aspergillus*. Essa maravalha é adquirida na Argentina e comercializada por uma empresa

localizada no município de São Miguel do Iguaçu. O *staldren* usado nos aviários é uma mistura de minerais e vegetais com características absorventes e substâncias desodorizantes e tem como finalidade neutralizar odores e reduzir a produção de amônia. O proprietário, no ano de 2018, pagou um valor de R\$0,60 por quilo de maravalha e R\$2,50 por quilo de Staldren. A tabela 8 indica as substâncias químicas encontradas no *staldren* e as quantidades de cada uma.

Tabela 8: Caracterização química do Staldren usado nos aviários

Substância	Quantidade (a cada 100 g)
Chloramine T	0,3 g
Óxido de ferro	0,8 g
Sal sódico de N-cloro tosilamida	1,0 g
Óleo de pinho	0,05 g
Rolovit cálcio	5,98 g
Carbonato de cálcio	91,87 g

Fonte: Jorenku A/S, 2018.

4.2 MONTAGEM DAS PILHAS

Próximo aos aviários foram montadas, sobre uma lona, quatro pilhas de compostagem, de aproximadamente 2,5 m³ cada e altura de aproximadamente 1 metro. Três pilhas receberam a incorporação de cama de aviário *in natura* misturada com cinzas oriundas da queima de lenha de angico, e serragem adquirida de uma serraria das proximidades do local de implantação da pesquisa, e uma pilha permaneceu apenas com a cama de aviário *in natura*.

A figura 8 mostra o local e a disposição das pilhas de compostagem em estudo, no primeiro mês de compostagem.

Figura 7: Pilhas 1, 2 e 3: Cama de aviário in natura+serragem+cinzas; Pilha 4: Cama de aviário in natura



Fonte: Autoria própria, 2018.

Para a relação C/N seguiram-se as recomendações de Kiehl (1985) e Oliveira, Aquino e Neto (2005). Utilizou-se 30 partes de carbono para cada 10 de nitrogênio. Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono (C) e a dos materiais ricos em nitrogênio (N). Para a fonte de carbono utilizada no processo de compostagem foi a serragem e para o material nitrogenado foi utilizada a cama de aviário.

Dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono que é utilizado pelos microrganismos para obter energia e o outro terço do carbono em conjunto com o nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas (CERRI, 2008).

A tabela 9 descreve os tratamentos empregados à compostagem desta pesquisa.

Tabela 9: Tratamentos e proporções empregadas à compostagem.

Tratamentos	Substrato utilizado	Proporções
T1	50 kg cama de aviário + 5 kg cinzas + 80 kg serragem	37,05% cama de aviário 3,70% cinzas 59,25 % serragem
T2	135 kg cama de aviário (testemunha)	100% cama de aviário

Fonte: Autoria própria (2019).

O período experimental do processo de compostagem da cama de aviário iniciou-se no dia 21/04/2018, tendo duração de seis meses (180 dias), até

21/10/2018. Neste período foi realizado o monitoramento da temperatura e umidade e coletas de amostras para a análise, além da determinação de diferentes parâmetros físico-químicos (pH, umidade, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo disponível, potássio, cálcio, sódio, zinco, magnésio, ferro, cobre e manganês).

4.2.1 Coleta

A coleta de amostras destinada às análises orgânicas e inorgânicas foi realizada utilizando recipientes de vidro previamente descontaminados e colheres de plástico. Foram coletadas amostras em vários pontos aleatórios do interior da pilha e da mistura destas amostras obteve-se uma amostra homogênea. Após a coleta, as amostras foram mantidas sob refrigeração para posterior realização das análises físico-químicas.

4.3 MONITORAMENTO DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM

4.2.1 Temperatura

A temperatura foi monitorada com um termômetro digital modelo SKTE-01, em três pontos da pilha (topo, meio e base), e então foi realizada uma média destas temperaturas para cada pilha. A temperatura foi monitorada inicialmente num intervalo de 24 horas durante sete dias, após a temperatura foi monitorada num intervalo de 48 horas até atingir a temperatura ambiente (aproximadamente 26°C).

4.2.2 Controle de umidade e aeração

A primeira rega das pilhas foi realizada no primeiro dia de compostagem e, após, de 7 em 7 dias até o final do primeiro mês. Já no segundo e terceiro mês de compostagem, as pilhas foram regadas 1 vez a cada 15 dias. No

quarto, quinto e sexto mês de compostagem, as pilhas não foram regadas. O revolvimento das pilhas foi realizado paralelamente à rega das mesmas.

4.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

4.4.1 Preparo das amostras

As amostras de cama de aviário foram peneiradas utilizando uma peneira de análise granulométrica de inox malha 16 mm, a fim de retirar as partes mais grosseiras e deixar as amostras homogêneas (figura 9). Após o processo de peneiramento, as amostras foram armazenadas em refrigerador para evitar atividade microbiológica e assim, posteriormente, realizar as análises físico-químicas.

Figura 8: Preparo da amostra



Fonte: Autoria Própria, 2018.

4.4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As metodologias adotadas na caracterização físico-química do substrato de cama de aviário estão descritas na tabela 10.

Tabela 10: Métodos utilizados na caracterização do substrato de cama de aviário

Parâmetro	Método	Referência
Umidade	Secagem a 100 – 105°C com a amostra do composto <i>in natura</i> durante 24 horas.	Embrapa (2017)
pH	Leitura da quantidade de íons H ⁺ através de um potenciômetro por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão da amostra em água.	Donagema <i>et al.</i> (2012)
Matéria Orgânica	Calcinação da matéria orgânica em mufla a 550 °C durante uma hora.	Kiehl (1985)
Carbono Orgânico Total	Fator de “Van Bemmelen” 1,724	Kiehl (1985)
Nitrogênio Total	Método Kjeldahl, no qual o N foi convertido em sulfato de amônio através de oxidação com uma mistura de CuSO ₄ , H ₂ SO ₄ e Na ₂ SO ₄ . Determinação por acidimetria.	Embrapa (2017)
Fósforo Disponível	Solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L ⁻¹ e H ₂ SO ₄ 0,0125 mol L ⁻¹), redução por molibdato de amônio com ácido ascórbico e determinação por espectrofotometria em comprimento de onda de 660 nm.	Embrapa (2017)
Metais	Extração pseudo-total, do composto com H ₂ SO ₄ concentrado e aplicações de H ₂ O ₂ a 30% até sua completa digestão.	Tedesco (1995)
Fitotoxicidade	Teste de germinação com <i>Lactuca sativa L.</i>	Belo (2011)

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3.1 Umidade

Os cadinhos vazios foram colocados na mufla a 550 °C durante uma hora, esfriados em dessecador, identificados e pesados. Aproximadamente 5 gramas da amostra foram adicionadas aos cadinhos, pesados e colocados em estufa graduada para faixa de 100 – 105 °C, durante 24 horas. Após esse período, os cadinhos foram esfriados em dessecador e posteriormente pesados (figura 10). A determinação da umidade foi realizada em duplicata.

Figura 9: Cadinhos com as amostras do composto



Fonte: Autoria própria (2018).

4.3.2 pH

Utilizou-se 10 gramas da amostra e 25 ml de água destilada, agitadas com um bastão de vidro, permanecendo a mistura em repouso durante uma hora. Após, as amostras foram agitadas e procedeu-se a leitura da quantidade de íons H^+ através de um potenciômetro (Figura 11). Essas determinações foram realizadas em duplicata.

Figura 10: Potenciômetro utilizado na medição do pH



Fonte: Autoria própria (2018).

4.3.4 Matéria Orgânica

As amostras secas a 100 – 110 °C, utilizadas na determinação da umidade, foram transferidos para a mufla a 550 °C durante uma hora, resfriadas em dessecador e pesadas, o resultado do teor de matéria orgânica do composto se deu

pela diferença de peso entre a amostra inicial e após a mufla (Equação 3). Esta determinação foi efetuada em duplicata.

4.3.5 Carbono Orgânico Total

Através da determinação da matéria orgânica, foram calculadas a porcentagem de carbono total da amostra utilizando o fator de Van Bemmelen 1,724. (Equação 4), de acordo com Kiehl (1985).

4.3.6 Nitrogênio total

Para a análise do nitrogênio total, foi usado o método Kjeldahl, no qual o N foi convertido em sulfato de amônio através de oxidação com uma mistura de CuSO_4 , H_2SO_4 e Na_2SO_4 . Posteriormente em meio alcalino, o sulfato de amônio convertido da matéria orgânica liberou amônia que, em câmara de difusão, foi complexada em solução de ácido bórico contendo indicador misto, sendo finalmente determinado por acidimetria.

4.3.7 Fósforo disponível

Utilizou-se 0,5 g do composto, colocado em Erlenmeyer de 125 ml e adicionado 100 ml de solução extratora Mehlich-1, posteriormente, as amostras foram agitadas por 5 minutos manualmente e após decantaram por 24 horas.

Após o período de decantação, foi transferido 0,5 ml do extrato para um Erlenmeyer de 125 ml e adicionado 10 ml da solução de molibdato de amônio diluída e aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico em pó, agitou-se e permaneceu em repouso por uma hora. Após fez-se a leitura por espectrofotômetro UV-VIS em comprimento de onda de 660 nm. Esta determinação foi efetuada em triplicata.

A figura 12 indica as fases do processo de extração do fósforo assimilável e o equipamento utilizado para a leitura.

Figura 11: (a) e (b) Processo de determinação de fósforo disponível. (b) Espectrofotômetro UV-VIS usado na leitura das amostras.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.3.8 Metais

Para a extração pseudo-total de K, Ca, Mg, Fe, Na, Zn e Cu foi seguida a metodologia descrita por Tedesco (1995). Em um béquer e chapa de aquecimento, digeriu-se, a 95°C, 0,5 g do material com 2 ml de H₂SO₄ concentrado e com aplicações sucessivas de 0,2 ml de H₂O₂ a 30% até sua completa digestão (foram usados 2 ml).

Após a extração por processo de chapa de aquecimento, o extrato do composto obtido foi avolumado com água ultrapura para 25 ml e filtrado com o uso de um filtro de nylon 0,25 µm. As concentrações de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Na⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺ foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica *Flame Atomic Absorption Spectrometer* (FAAS) (Variam – spectra AA 220).

A tabela 11 indica as condições experimentais do Espectrofotômetro de Absorção Atômica (FAAS) usado na leitura de metais do composto.

Tabela 11: Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS.

Metais	λ (nm)	i lâmpada (mA)	Fenda (nm)	Chama
Potássio	766,5	10	0,2	Ar/C ₂ H ₂
Cálcio	422,7	10	0,5	Ar/C ₂ H ₂
Magnésio	285,2	4	0,5	Ar/C ₂ H ₂
Ferro	248,3	5	0,2	Ar/C ₂ H ₂
Sódio	589,0	10	0,5	Ar/C ₂ H ₂
Zinco	213,9	5	1,0	Ar/C ₂ H ₂
Cobre	324,8	4	0,5	Ar/C ₂ H ₂
Manganês	279,5	5	0,2	Ar/C ₂ H ₂

Fonte: A autoria própria, 2019.

4.4 ANÁLISE DE MATURAÇÃO DO COMPOSTO – TESTE DE FITOTOXICIDADE

Para o teste de fitotoxicidade do substrato foram utilizadas sementes de alface *simpson* semente preta (*Lactuca Sativa*), por ser uma planta sensível a substâncias tóxicas e de rápido crescimento, sendo assim, utilizada como um organismo teste tanto para monitorar quanto para avaliar diferentes contaminantes ambientais (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; DING *et al.*, 2010).

O teste de Índice de Germinação segundo Zucconi *et al.* (1988), e adaptado por Silva; Boas, (2007) teve como objetivo avaliar a fitotoxicidade dos substratos descritos no quadro 1:

Quadro 1: Substratos analisados nos testes de fitotoxicidade.

Análise	Substrato analisado
1	Cama de aviário <i>in natura</i>
2	Cama de aviário <i>in natura</i> com 90 dias de compostagem
3	Cama de aviário <i>in natura</i> com 180 dias de compostagem
4	Cama de aviário+serragem+cinzas início da compostagem
5	Cama de aviário+serragem+cinzas com 90 dias de compostagem
6	Cama de aviário+serragem+cinzas com 180 dias de compostagem

Fonte: A autoria própria (2019).

Antes de realizar o teste, as placas de Petri foram forradas com papel filtro de análise qualitativa, embaladas com papel Kraft e autoclavadas a 121 °C por 15 minutos, a fim de se evitar contaminação de microrganismos. O teste foi realizado em triplicata para cada um dos seis substratos, totalizando 18 placas de Petri, com 9 cm de diâmetro. Também foram feitas três placas de controle (branco), utilizando água destilada e a mesma quantidade de sementes das outras placas.

Para a obtenção do extrato dos compostos, foram utilizados 5 g de cada um, colocados em erlenmeyer e adicionado 50 ml de água destilada, então as amostras foram dispostas em agitador magnético por 30 minutos com auxílio de pequenas barras magnéticas a uma temperatura de 60 °C.

Posterior a agitação, as amostras foram filtradas em um funil contendo um pedaço de algodão ao fundo (figura 13-a). Essa filtração foi realizada duas vezes para obter um extrato mais clarificado. Após à filtragem com algodão, o extrato foi filtrado com papel filtro qualitativo com porosidade de 3 micras e 15 cm de diâmetro, obtendo um extrato parcialmente transparente (figura 13-b). Os passos para obtenção do extrato da cama de aviário para análise de fitotoxicidade do substrato estão demonstrados na figura 13.

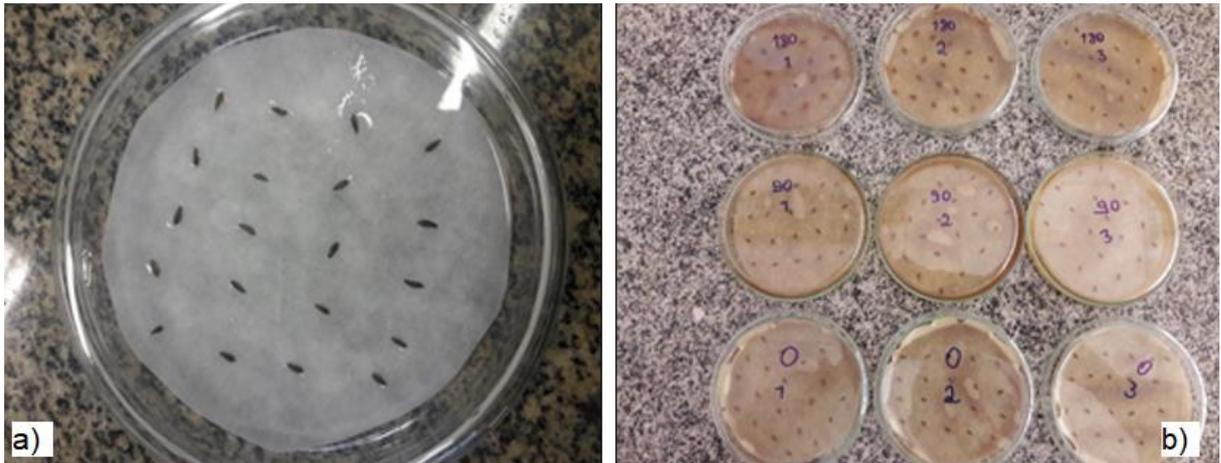
Figura 12: Processo de filtragem do extrato de cama de aviário



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Para o controle, foi feito um branco (triplicata) que foi umedecido com 3 ml de água destilada e adicionados 20 sementes de alface (figura 14-a). Após a obtenção do extrato, as placas foram umedecidas com 3 ml deste e em seguida com auxílio de uma pinça de laboratório 20 sementes nuas de alface foram inseridas em cada placa (figura 14-b) totalizando 360 sementes.

Figura 13: Sementes dispostas em placa de petri.



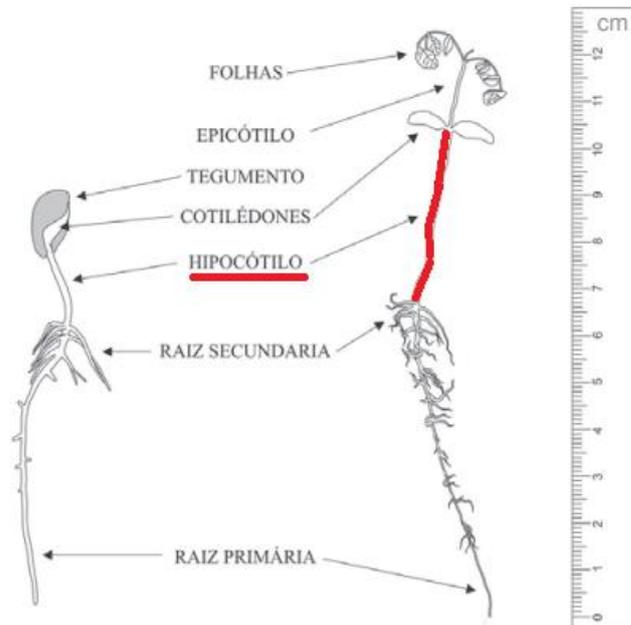
Fonte: Autoria própria, 2018.

As placas de petri foram colocadas na incubadora BOD (Biochemical Oxygen Demand), a 25 °C por 72 horas com um foto período de 12 horas, ou seja, por 12 horas a lâmpada da incubadora permanecia ligada e nas outras 12 horas permanecia desligada. Ao fim do período de 72 horas, as placas foram retiradas da BOD e realizou-se a contagem das sementes que germinaram e também a medição (aleatória) de cinco raízes que germinaram.

A medição do comprimento das raízes foi realizada utilizando uma régua graduada em centímetros, e as medidas foram feitas do ponto de transição entre o hipocótilo e a radícula, conforme o esquema da figura 15.

Também foi realizada a medição aleatória de cinco raízes do controle (branco) das sementes que germinaram.

Figura 14: Esquema hipocótilo/radicula da plântula.



Fonte: Oliveira *et al.* (2011).

Desta forma, após os dados levantados, foi realizado o cálculo de índice de germinação conforme a equação 6:

$$IG = \%G \cdot \frac{Lm}{Lc} \quad (6)$$

Em que:

IG = Índice de germinação

%G = Porcentagem de germinação em relação ao controle

Lm = Longitude média das raízes da amostra (cm)

Lc = Longitude média das raízes do controle (cm)

Os resultados obtidos foram comparados com a metodologia de Belo (2011), que indica a escala de classificação qualitativa de fitotoxicidade e maturação do substrato.

4.5 PRECIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

Considerando os estudos de Correa e Miele (2011), adaptou-se o estudo e resultados obtidos na pesquisa destes autores, realizando cálculo de precificação de acordo com as características NPK do composto obtido ao final do processo de compostagem desta pesquisa, e utilizou-se a cotação do dólar de julho de 2019 (U\$3,75), de acordo com dados da IBOVESPA (2019).

Foi realizada média dos nutrientes NPK da cama de aviário em estudo ao final de 180 dias de compostagem e realizados os cálculos de acordo com a fórmula TEOF proposta por Metzner (2014), com os preços levantados por meio da pesquisa de Correa e Miele (2011) e de acordo com a cotação do dólar de julho de 2019.

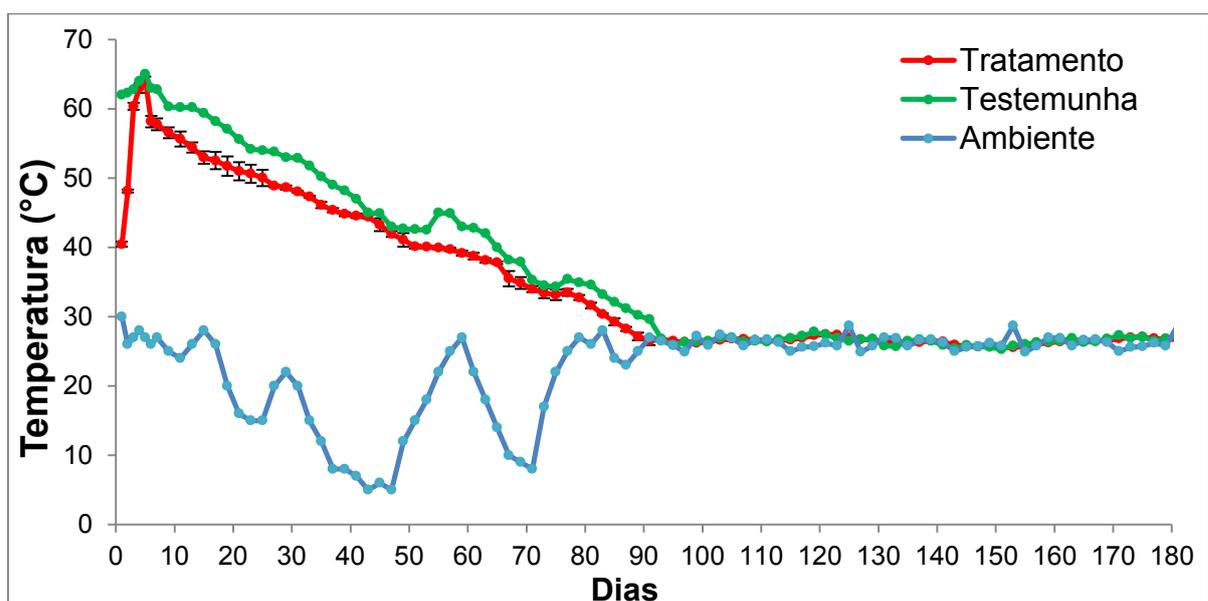
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS FÍSICOS

No monitoramento da temperatura das pilhas de compostagem, observou-se elevação da temperatura até em torno de 40 °C de todas as pilhas após 24 horas da montagem, indicando a fase mesofílica no qual há atividade microbiológica e consequente dissipação de calor no interior das pilhas. No tratamento T1, pico da temperatura foi identificado no quinto dia de compostagem, com 64,6 °C. Após este dia, a temperatura foi decaindo, até se manter na faixa de 55 °C até o final do primeiro mês e na faixa de 40 °C até aproximadamente 65 dias, contando o início do processo, indicando a fase termofílica da compostagem, no qual há atuação de fungos e bactérias termofílicas, que sobrevivem em ambientes com temperaturas mais elevadas. A partir de 65 dias, a temperatura foi decaindo até estabilizar em aproximadamente 26 °C, indicando a fase de resfriamento e maturação, no qual a atividade microbiana diminui, e a temperatura gradativamente vai se aproximando da temperatura ambiente.

Podemos observar o comportamento da temperatura no gráfico da figura 16.

Figura 15: Monitoramento da temperatura no processo de compostagem.



Fonte: Autoria própria (2019).

Nas pilhas 1, 2 e 3 (cama de aviário *in natura*+cinzas+serragem), a temperatura se manteve similar à pilha 4 (cama de aviário *in natura*), se mantendo um pouco mais elevada até estabilizar na temperatura ambiente. O pico da temperatura foi atingido no quinto dia, 65,9 °C.

Quando a temperatura ultrapassa 50 °C, demonstra que houve eficiência no processo de compostagem, pois indica que houve intenso processo de degradação da matéria orgânica (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2012). Desta forma, temperaturas da fase termofílica (acima de 40 °C), além de decompor a matéria orgânica, também podem eliminar microrganismos patogênicos (INÁCIO e MILLER, 2009).

Hahn (2004), em sua pesquisa com decomposição de cama de aviário, registrou temperaturas de até 58,32 °C nos primeiros dias de compostagem. O autor afirma que a grande dissipação de calor proveniente da respiração aeróbia com uma intensa decomposição da matéria orgânica deve ser a responsável pela rápida elevação da temperatura.

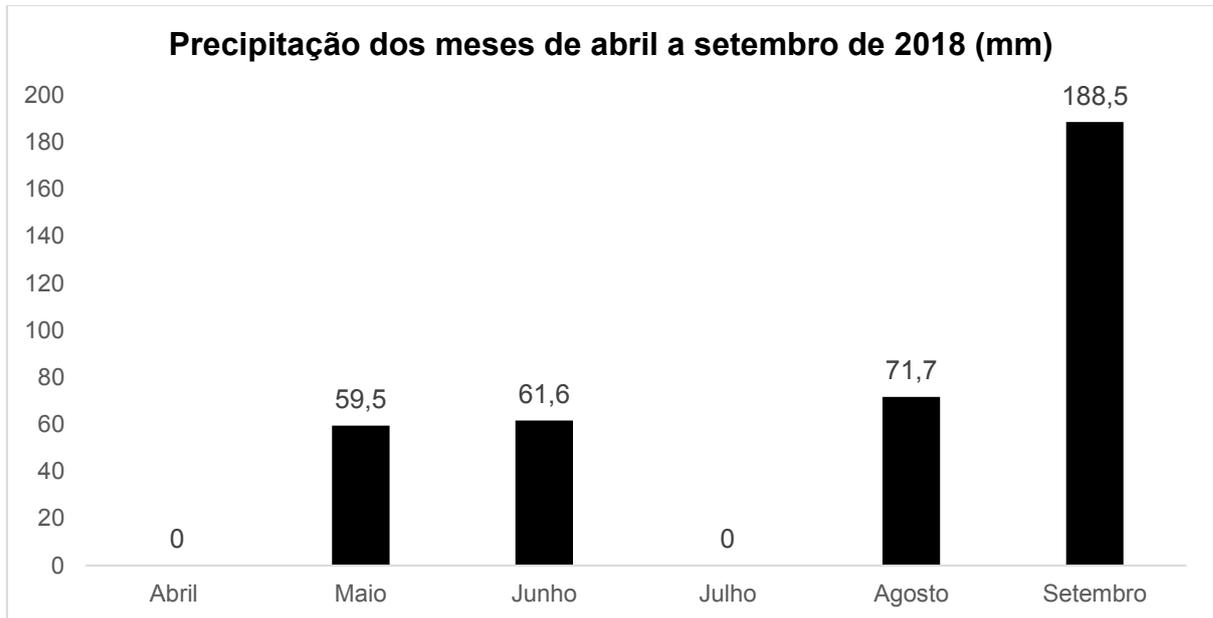
Após 65 dias de compostagem houve queda da temperatura, o que indica que o material passou para a fase mesofílica (abaixo de 40 °C). Nesta fase ocorre a degradação de substâncias orgânicas mais resistentes por microrganismos mesófilos, redução da atividade microbiana e conseqüentemente queda de temperatura da leira (INÁCIO e MILLER, 2009).

Então, ao final do terceiro mês de compostagem, passa-se para a fase de maturação do composto com formação de substâncias húmicas, baixa atividade biológica e perda da capacidade de auto aquecimento. A decomposição ocorre em taxas baixas que prosseguem quando o composto for aplicado ao solo, liberando os nutrientes (INÁCIO e MILLER, 2009).

As pilhas também não receberam influência de chuvas, nos períodos chuvosos elas foram cobertas com o uso de uma lona.

Na figura 17 podemos observar o gráfico da precipitação dos meses de abril a setembro de 2018, com base nos dados disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná (2019).

Figura 16: Gráfico da precipitação dos meses de abril a setembro de 2018 na estação meteorológica de São Clemente, Município de Santa Helena-PR.



Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2019.

Durante o período de compostagem, que iniciou em abril de 2018, e, de acordo com dados do Instituto das Águas do Paraná (2019), a temperatura mínima foi de 19°C e máxima de 28 °C para o mês de abril, mínima de 14 °C e máxima de 22 °C para o mês de maio, mínima de 14 °C e máxima de 22 °C para o mês de junho, mínima de 13 °C e máxima de 21 °C para o mês de julho, mínima de 15 °C e máxima de 25 °C para o mês de agosto e mínima de 16 °C e máxima de 26 °C para o mês de setembro.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Podemos observar na tabela 12 os valores encontrados na caracterização físico-química da cama de aviário *in natura* oriunda de 6 lotes de criação de frangos, utilizada no processo de compostagem.

Tabela 12: Caracterização físico-química da cama de aviário *in natura*.

Umidade (%)	pH	Matéria Org. (g kg ⁻¹)	Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹)	Nitrogênio (g kg ⁻¹)	Fósforo (g kg ⁻¹)	Relação COT/N _{Total}	
35	8,6	680,56	378,08	25,33	28,42	14,92	
Potássio (g kg ⁻¹)	Cálcio (g kg ⁻¹)	Magnésio (g kg ⁻¹)	Sódio (g kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)	Zinco (mg kg ⁻¹)	Cobre (mg kg ⁻¹)	Manganês (mg kg ⁻¹)
25,22	39,11	5,37	6,77	1728,92	250,77	51,36	487,33

Fonte: Autoria própria, 2019.

Foram determinados, no composto obtido em cada mês de compostagem, os valores médios para: umidade, pH, matéria orgânica, carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo assimilável, como indica a tabela 13.

As pilhas 1, 2 e 3 referem-se ao tratamento 1, composto por cama de aviário, serragem e cinzas, a pilha 4 refere-se ao tratamento 2, composto somente pela cama de aviário *in natura*.

Tabela 13: Resultados médios das análises físico-químicas do composto de acordo com o tempo de compostagem.

Tempo (dias)	Pilhas	pH	Umidade (%)	Matéria Org. (g kg ⁻¹)	Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹)	Relação COT/N _{Total}	Nitrogênio Total (g kg ⁻¹)	Fósforo Disponível (g kg ⁻¹)
0	Pilha 1	9,08	30,25	399,23	221,79	21,85	10,15	13,70
	Pilha 2	9,01	31,26	368,93	204,96	16,10	12,73	16,71
	Pilha 3	8,76	28,95	399,51	221,95	14,65	15,15	18,62
	Pilha 4	8,59	22,44	680,56	378,08	14,92	25,33	25,42
30	Pilha 1	9,15	38,46	357,89	198,82	18,28	10,89	13,31
	Pilha 2	9,05	39,66	353,68	196,48	15,90	12,35	14,88
	Pilha 3	8,93	40,12	384,32	213,51	14,71	14,51	21,13
	Pilha 4	8,70	34,56	651,69	362,05	15,45	23,42	31,96
60	Pilha 1	9,16	39,49	346,13	192,29	19,44	9,89	24,36
	Pilha 2	9,32	40,35	341,78	189,87	15,70	12,09	22,01
	Pilha 3	9,22	42,69	388,45	215,80	16,15	13,36	27,39
	Pilha 4	8,76	35,69	628,76	349,31	18,05	19,35	36,48
90	Pilha 1	9,04	42,67	331,72	184,28	18,76	9,82	22,45
	Pilha 2	9,19	43,29	237,41	181,89	16,05	11,33	27,00
	Pilha 3	9,31	44,68	362,78	201,54	15,52	12,98	36,51
	Pilha 4	9,07	38,37	611,23	339,57	21,34	15,91	46,38
120	Pilha 1	8,83	40,68	311,56	173,08	17,77	9,74	25,95
	Pilha 2	8,93	41,23	310,29	172,38	15,61	11,04	27,73
	Pilha 3	8,92	42,81	351,29	195,16	15,67	12,45	31,52
	Pilha 4	8,63	37,65	587,26	326,25	21,10	15,46	55,08
150	Pilha 1	8,73	39,61	289,65	160,91	17,76	9,06	31,77
	Pilha 2	8,86	38,54	278,25	154,58	14,70	10,51	33,45
	Pilha 3	8,90	35,89	302,59	168,10	14,03	11,98	42,23
	Pilha 4	8,58	36,78	521,36	289,64	19,33	14,98	62,78
180	Pilha 1	8,64	38,96	285,25	158,47	17,64	8,98	39,83
	Pilha 2	8,86	39,28	272,48	151,37	15,42	10,42	43,81
	Pilha 3	8,83	39,67	299,74	166,52	14,41	11,55	70,13
	Pilha 4	8,63	36,21	487,29	270,71	18,61	14,54	92,20

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A umidade das pilhas no decorrer do processo se manteve, em média, na faixa de 30-45 % para o tratamento 1 e entre 20-40 % para o tratamento 2, como podemos observar na tabela 14.

Tabela 14: Média da umidade (%) nos tratamentos T1 e T2 em cada mês de compostagem.

Tratamentos	0 dias	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	150 dias	180 dias
T1	30,15%	39,41%	40,84%	43,54%	41,57%	38,01%	39,30%
T2	22,44%	34,56%	35,69%	38,37%	37,65%	36,78%	36,21%

Fonte: Autoria própria, 2019.

Pode-se observar que a taxa de umidade das pilhas do tratamento 1 se mantiveram superiores à taxa de umidade da pilha do tratamento 2. De acordo com Pereira Neto (1996), a maior velocidade de degradação ocorre quando a matéria orgânica é compostada com teores de umidade situados entre 40 e 60 %.

A faixa de pH permaneceu básica, entre 8 e 10, do início do processo até o final de 180 dias de compostagem, conforme tabela 15.

Tabela 15: Média dos valores de pH nos tratamentos T1 e T2 em cada mês de compostagem.

Tratamentos	0 dias	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	150 dias	180 dias
T1	8,95	9,04	9,23	9,18	8,89	8,83	8,77
T2	8,59	8,70	8,76	9,07	8,63	8,58	8,63

Fonte: Autoria própria, 2019.

O valor máximo de pH encontrado foi 9,3, no tratamento T1 no terceiro mês de compostagem. A partir de 120 dias do processo os valores de pH diminuiram, possivelmente indicando o início da mineralização do nitrogênio orgânico sob forma de nitrato. Valores semelhantes foram encontrados também por Silva (2016) em seu estudo com compostagem de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos, com de pH em torno de 8,9 aos 10 dias de compostagem.

Valores acima da neutralidade (8,6) favorecem a formação de amônia, acarretando maiores reduções no conteúdo de nitrogênio, que foi observado em quase todo o processo de compostagem.

Pode-se observar a redução do percentual de nitrogênio em todas as pilhas de compostagem, inicialmente possuía uma concentração de 10,15 g kg⁻¹ para a pilha 1, 12,73 g kg⁻¹ para a pilha 2, 15,15 g kg⁻¹ para a pilha 3 (tratamento 1) e

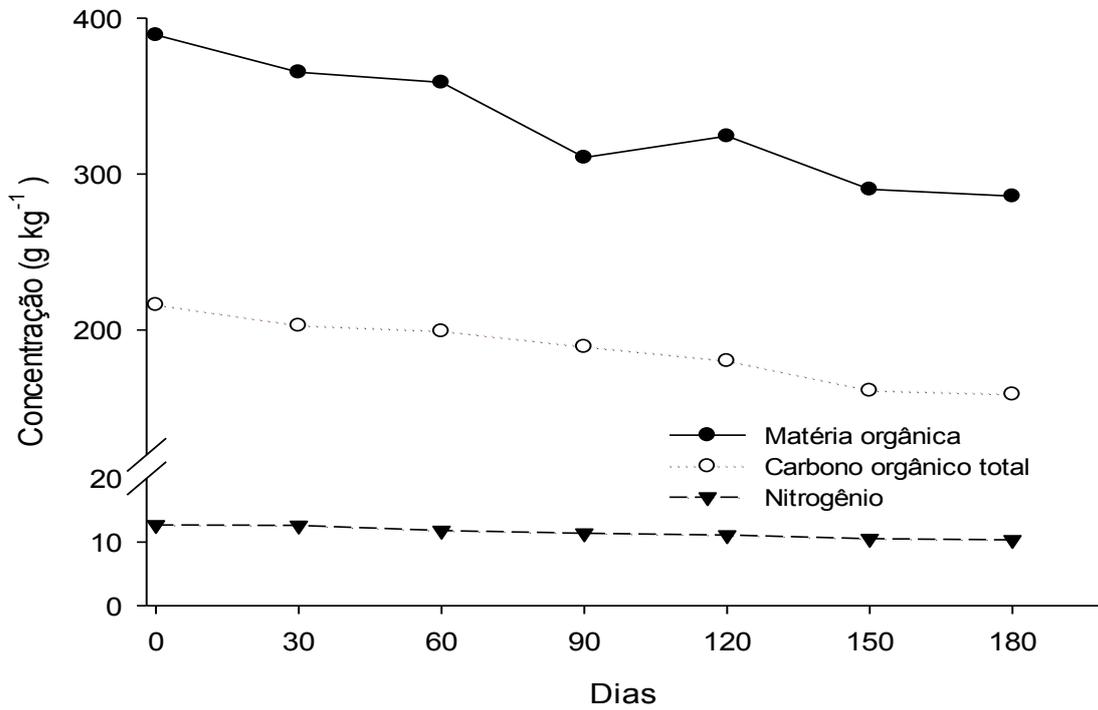
25,33 g kg⁻¹ para a pilha 4 (tratamento 2) e após 180 dias de compostagem teve perdas de 11,52 %, 18,14 %, 23,76 % respectivamente para as pilhas do tratamento 1 e 42,71 % para a pilha do tratamento 2. Acredita-se que por o pH estar acima da neutralidade na maior parte do processo de compostagem, este fator contribui para as perdas de nitrogênio nas pilhas.

O pH também 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 quando maturado. Porém, neste estudo, as faixas de valores encontradas para o pH já encontravam básicas antes do processo de compostagem. Santos (2008) relata que a cama de aviário caracteriza-se como uma exceção, pois, mesmo antes de ser compostado, apresenta um pH maior que 8.

De acordo com a Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, o pH deve ter um valor mínimo de 6 para fertilizante orgânico classe A, conforme os resultados obtidos ao final do processo de compostagem, o substrato obtido apresentou valores dentro do recomendado por esta norma, no qual, para o tratamento 1 o valor do pH determinado foi de 8,77 e para o tratamento 2, o valor de 8,63.

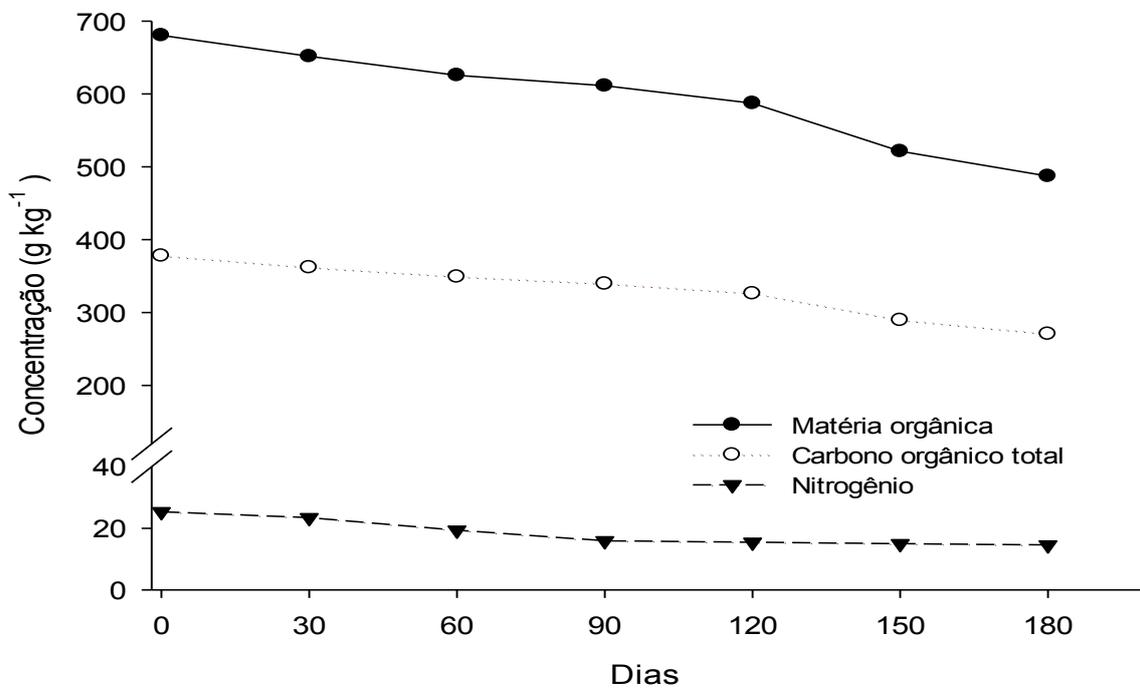
Em relação ao comportamento dos parâmetros matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio, nas figuras 18 e 19 podemos observar os gráficos que indicam a redução de matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio total do início ao longo da compostagem para o tratamento 1 (média das pilhas) e para o tratamento 2.

Figura 17: Redução das médias de concentração em g kg^{-1} de matéria orgânica, carbono e nitrogênio ao longo da compostagem para as pilhas do tratamento 1.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 18: Redução da concentração em g kg^{-1} de matéria orgânica, carbono e nitrogênio ao longo da compostagem para as pilhas do tratamento 2.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A concentração de matéria orgânica no início do processo de compostagem foi, respectivamente, para o tratamento 1: 399,23 g kg⁻¹, 368,93 g kg⁻¹ e 399,51 g kg⁻¹ e para o tratamento 2: 680,56 g kg⁻¹. O teor de MO diminuiu em todas as pilhas de ambos os tratamentos durante os meses de compostagem e, com 120 dias de compostagem, observou-se reduções para o tratamento 1 de: 21,95%, 15,89% e 12,06% para a pilha 1, 2 e 3 respectivamente e para o tratamento 2, a pilha 4 apresentou um total de 13,70% de redução da matéria orgânica. Ao final de 180 dias os valores de redução foram de: 28,54 %, 25,05 % e 24,97 % para o tratamento 1 e 28,39 % para o tratamento 2

Também houve redução do percentual de carbono orgânico total que, diminuíram em ambos os tratamentos ao final de 180 dias de compostagem, em relação ao período inicial, atingindo valores de redução proporcionais ao da matéria orgânica.

De acordo com Kiehl (1985), os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem C e N, e o tempo necessário para a maturação do composto é relativa à relação entre C e N da matéria-prima. Dias *et al.* (2010), afirma que, com o aumento do tempo de compostagem, ocorre diminuição do teor de matéria orgânica do composto. De acordo com Kiehl (1985), quando o teor de nitrogênio é inferior a 1,7 %, o tempo de decomposição será maior. Moser *et al.* (2018), em seu estudo com compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores na presença de dois biopolímeros a base de amido, observou reduções de até 40 % de carbono e nitrogênio das pilhas. Hancke (2018), em seu estudo com compostagem de cama de aviário, observou redução de 38,9 % do teor de nitrogênio.

A diminuição dos teores de nitrogênio também está relacionada ao processo de mineralização, que é descrita como um processo constituído pela amonificação e pela nitrificação, ou seja, transformação do nitrogênio orgânico em formas amoniacais: amônio (NH₄⁺) e amônia (NH₃). Ressalta-se que é um processo que ocorre sem a presença de microrganismos específicos. Muitos organismos quimiorganotróficos são capazes de efetuar esta transformação, tanto em condições anaeróbias quanto aeróbias. Já a transformação do nitrogênio amoniacal para nitrato (NO₃⁻), chamado de nitrificação, é um processo estritamente aeróbio. (HAHN, 2004).

De acordo com Kelleher *et al.*, (2002), cerca de 60 a 80% do nitrogênio eliminado pelas fezes do frango encontra-se tipicamente em formas orgânicas, como

proteína e ácido úrico, e dependendo das condições de temperatura, umidade, pH e ventilação às quais a cama é submetida dentro do aviário, boa parte deste nitrogênio orgânico já começa a ser mineralizado. Portanto o tempo em que a cama de aviário em estudo permaneceu dentro do aviário servindo de leito às aves por aproximadamente 18 meses, já poderia estar sendo mineralizada.

De acordo com a Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 25/2009, que estabelece especificações sobre a comercialização de fertilizantes orgânicos, o teor mínimo de nitrogênio deve ser de 1 %. Os valores encontrados para este parâmetro enquadram-se nesta normativa, para ambos os tratamentos.

Observou-se uma redução superior do carbono em relação ao nitrogênio, o que, de acordo com Kiehl (1985), indica que a relação C/N está alta, ou seja, há mais partes de carbono em relação ao nitrogênio e isso também foi possível observar nos resultados da tabela 13. Ainda, de acordo com a Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, a mesma estabelece um limite para a relação C/N de no máximo 20/1. As características do composto oriundo ao final de 180 dias de compostagem se enquadram na recomendação da norma, sendo os valores encontrados para o tratamento 1 de: 17:1 para a pilha 1, 15:1 para a pilha 2 e 14:1 para a pilha 3 e para o tratamento 2: 14:1 para a pilha 4.

Com base nos resultados encontrados para o fósforo, foi possível observar a sua mineralização, pois, ao final de 180 dias de compostagem apresentou-se em uma concentração mais disponível em relação ao início do processo. No início do processo os valores encontrados para o tratamento 1 foram de: pilha 1: 13,70 g kg⁻¹, pilha 2: 16,71 g kg⁻¹, e pilha 3: 18,62 g kg⁻¹, já ao final de 180 dias de compostagem, os valores determinados para o fósforo disponível foram de: pilha 1: 39,83 g kg⁻¹, pilha 2: 43,81 g kg⁻¹, e pilha 3: 70,13 g kg⁻¹, e para o tratamento 2: pilha 4: 92,20 g kg⁻¹.

De acordo com pesquisa realizada sobre compostagem de cama de aviário e carcaça de aves, Orrico Júnior *et al.* (2010), também constataram um aumento na disponibilidade de fósforo durante e ao final da compostagem. O autor relata que durante a compostagem ocorre o processo de mineralização, no qual há redução dos sólidos totais, o que faz concentração dos nutrientes no composto final presente-se de uma forma mais disponível, devido à redução de sólidos totais.

Segundo Aquino (2005), a compostagem, quando realizada em condições adequadas de umidade, aeração e microrganismos (bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas e insetos), ocorre e digestão da matéria orgânica por esses organismos e há a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio se transformando em nutrientes minerais. Ou seja, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização.

O composto obtido após a compostagem, apresentou cor escura e cheiro característicos de terra, homogêneo e com temperatura semelhante a temperatura ambiente, indicando, organolépticamente, que o processo estava finalizado (COOPER et al., 2010;).

De acordo com a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o composto final obtido nesta pesquisa se enquadra como fertilizante orgânico composto, de classe A, pois apresenta conformidade para aplicação ao solo, apresentando pH mínimo de 6,0 e o N total mínimo de 0,5.

Os valores de redução em % estão descritos na tabela 16.

Tabela 16: Redução em % da matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio.

Período	Pilhas	Matéria Orgânica g kg ⁻¹	Carbono g kg ⁻¹	Nitrogênio g kg ⁻¹
Inicial	1	399,23	221,79	10,15
	2	368,93	204,96	12,73
	3	399,51	221,95	15,15
	4	680,56	378,08	25,33
120 dias	1	311,56	173,08	9,74
	2	310,29	172,38	11,04
	3	351,29	195,16	12,45
	4	587,26	326,25	15,46
Redução (%)	1	21,95%	21,95%	4,03%
	2	15,89%	15,89%	13,27%
	3	12,06%	12,06%	17,82%
	4	13,70%	13,70%	38,96%
180 dias	1	285,25	158,47	8,98
	2	272,48	151,37	10,42
	3	299,74	166,52	11,55
	4	487,29	270,71	14,51
Redução (%)	1	28,54%	28,54%	11,52%
	2	25,05%	25,05%	18,14%
	3	24,97%	24,97%	23,76%
	4	28,39%	28,39%	42,71%

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS

Foram determinados, no composto amostrado nas quatro pilhas os valores médios e o desvio padrão para os metais: potássio, cálcio, magnésio, sódio, ferro, zinco, cobre e manganês, conforme mostra a tabela 17.

Tabela 17: Concentração de metais nas amostras do composto.

Resultado médio das análises de metais									
Tempo (dias)	Pilha	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
		Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio	Ferro	Zinco	Cobre	Manganês
0	Pilha 1*	14,85	19,82	22,90	4,92	1965,60	146,28	31,73	245,14
	Pilha 2*	17,29	26,14	34,65	5,05	2000,74	193,79	39,55	359,98
	Pilha 3*	15,39	26,46	29,32	4,30	2152,36	173,30	34,94	320,96
	Pilha 4*	25,22	39,11	53,71	6,77	2728,92	220,77	51,36	487,33
30	Pilha 1	13,02	20,14	38,52	5,02	1935,28	177,68	34,17	309,92
	Pilha 2	14,72	20,01	26,41	3,45	1932,66	175,23	32,54	270,53
	Pilha 3	16,77	22,81	34,02	2,78	2296,37	209,08	39,12	416,29
	Pilha 4	16,07	24,87	54,29	4,46	2872,17	246,28	49,10	409,30
60	Pilha 1	16,61	24,65	23,68	4,02	2285,50	179,51	41,37	357,77
	Pilha 2	16,45	23,12	34,98	3,88	2143,56	170,24	39,69	350,41
	Pilha 3	17,98	37,41	30,14	5,88	2348,37	214,58	41,60	404,15
	Pilha 4	21,22	36,23	55,03	5,95	2884,09	240,88	50,11	554,32
90	Pilha 1	14,17	22,14	24,03	3,48	2290,75	179,02	29,13	268,69
	Pilha 2	15,95	21,67	35,45	4,34	2276,88	169,59	33,12	303,66
	Pilha 3	17,98	35,51	31,19	4,96	2437,94	215,53	45,65	414,45
	Pilha 4	28,06	45,38	53,62	7,52	3015,90	250,53	52,27	566,22
120	Pilha 1	19,38	17,85	26,35	4,02	2272,17	209,39	54,21	349,18
	Pilha 2	20,45	17,87	38,40	4,56	2339,11	210,91	50,95	304,65
	Pilha 3	17,96	27,81	35,55	5,02	2440,05	216,31	60,36	440,47
	Pilha 4	34,94	33,95	55,51	7,89	3031,25	260,25	76,90	543,58
180	Pilha 1	19,01	20,12	28,68	4,16	2520,34	211,91	57,46	371,60
	Pilha 2	19,85	27,48	39,97	4,71	2397,04	215,31	38,06	387,99
	Pilha 3	23,42	29,76	36,53	5,16	2495,34	220,40	68,28	484,84
	Pilha 4	36,07	42,10	56,58	7,92	3142,82	275,87	74,24	588,80

*Pilhas 1,2 e 3 : cama de aviário + cinzas + serragem.

*Pilha 4: cama de aviário oriundo de 6 lotes de produção.

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme os resultados apresentados na tabela 17, observou-se que as concentrações de metais (potássio, cálcio, magnésio, sódio, ferro, zinco, cobre e manganês) no composto final foram superiores em relação ao composto inicial. Estas concentrações não indicam ganhos durante o processo de compostagem e sim, deve-se levar em consideração que ocorreram reduções nos sólidos totais, o que faz com que a concentração dos nutrientes no composto final apresente-se de uma forma mais disponível (processo de mineralização) (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2010).

A Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 25/2009 estabelece teores mínimos dos nutrientes: cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco, para a comercialização de fertilizante orgânico conforme podemos observar na tabela 18.

Tabela 18: Teores mínimos de nutrientes para a comercialização de fertilizante orgânico de acordo com a Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 25/2009.

	Nutrientes					
	Cálcio	Magnésio	Ferro	Cobre	Manganês	Zinco
Teores (%)	1	1	0,05	0,2	0,05	0,01

Fonte: Autoria própria (2019).

Desta forma, foi determinado uma média das pilhas do tratamento 1 para estes teores de nutrientes na cama de aviário, antes da compostagem e após 180 dias de compostagem, como indica a tabela 19.

Tabela 19: Teores de nutrientes determinados na cama de aviário no estudo em %.

Tratamentos	Nutrientes					
	Cálcio	Magnésio	Ferro	Cobre	Manganês	Zinco
T1 início	2,41	2,89	0,20	0,03	0,03	0,02
T1 final	2,57	3,50	0,24	0,05	0,04	0,03
T2 início	3,91	5,37	0,27	0,05	0,05	0,02
T2 final	4,21	5,65	0,31	0,07	0,06	0,03

Fonte: Autoria própria (2019).

Observando os resultados obtidos e comparando com os teores estabelecidos pela Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento nº 25/2009, é possível verificar que, os valores encontrados no composto obtido ao final de 180 dias de compostagem, estão em conformidade com esta resolução.

É importante salientar que a mesma Instrução Normativa não estabelece um valor máximo para estes parâmetros, portanto não se sabe até que ponto a aplicação da cama de aviário está potencializando a produção ou saturando o solo, portanto é indispensável realizar análise de macro e micronutrientes do solo antes de incorporar a cama de aviário, para verificar quais são as necessidades nutricionais deste.

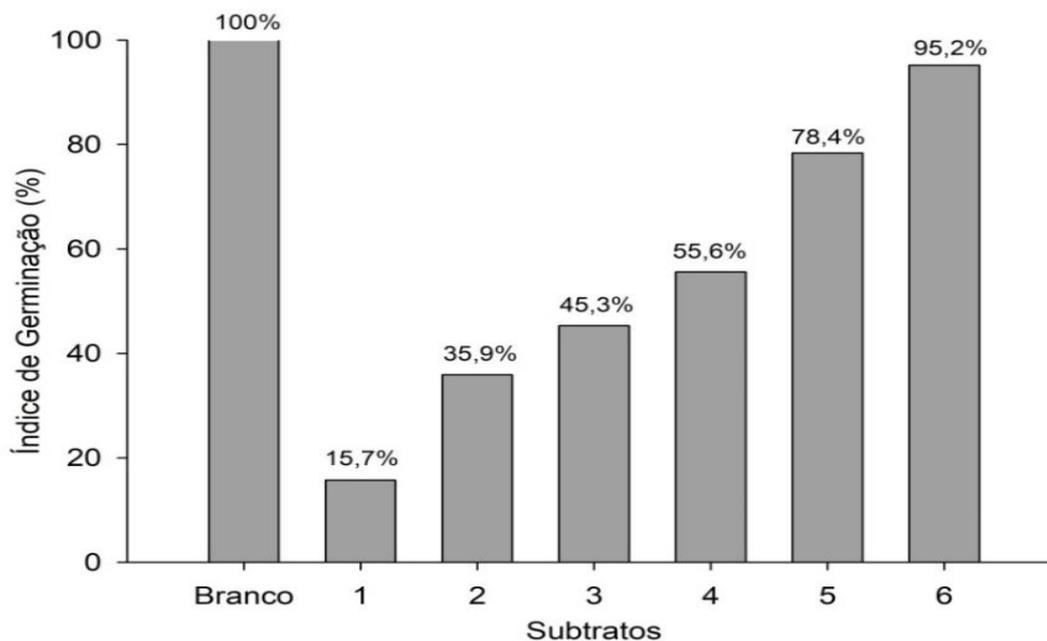
O processo de compostagem pode ser considerado eficiente em ambos os tratamentos, ocasionando a mineralização de nutrientes e diminuição de sólidos totais. Foi identificada uma concentração maior de cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco no tratamento 2, o que pode ser explicado por a mesma ter sido constituída por uma proporção maior de dejetos das aves.

5.4 ANÁLISES DE FITOTOXICIDADE

Para classificar qualitativamente o nível de fitotoxicidade, foi calculado o índice de germinação (GI), que, segundo alguns autores, pode ser usado como indicador de maturação do composto (GAO, *ET AL.*, 2010; GÓMEZ-BRANDÓN, *ET AL.*, 2008).

Os resultados obtidos no teste de germinação estão representados na figura 20.

Figura 19: Resultado do Índice de Germinação dos substratos.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Desta forma, de acordo com as medições do hipocótilo das sementes germinadas e os cálculos de acordo com a equação proposta por Belo (2011), os tratamentos foram classificados quanto à fitotoxicidade de acordo com o quadro 2.

Quadro 2: Classificação qualitativa de fitotoxicidade

% G	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL EM ANÁLISE
> 100	O material potencializa a germinação e o crescimento da raiz das plantas
80-100	Não fitotóxico; composto maturado
60-80	Moderadamente fitotóxico
30-60	Fitotóxico
< 30	Muito fitotóxico

Fonte: Belo, 2011.

Assim, de acordo com a classificação qualitativa de fitotoxicidade (Belo, 2011), considera-se:

Tratamento 1 - Cama de aviário *in natura*: muito fitotóxico

Tratamento 2 - Cama de aviário *in natura* com 90 dias de compostagem: fitotóxico

Tratamento 3 - Cama de aviário *in natura* com 180 dias de compostagem: fitotóxico

Tratamento 4 - Cama de aviário+serragem+cinzas início da compostagem: fitotóxico

Tratamento 5 - Cama de aviário+serragem+cinzas com 90 dias de compostagem: moderadamente fitotóxico.

Tratamento 6 - Cama de aviário+serragem+cinzas com 180 dias de compostagem: não fitotóxico; composto maturado;

Pode-se observar que, as amostras do composto de cama de aviário 1, 2, 3 e 4 em ambos os tratamentos, no início da compostagem e com 90 dias de compostagem, apresentaram fitotoxicidade. Com 90 dias de compostagem, a amostra 5 do tratamento 1, teve uma tendência a maturação, pois o valor determinado de 78,4 % estava próximo a 80 %, que é a faixa onde os resultados obtidos no teste de germinação demonstram a maturação do composto. A amostra do tratamento 3 (cama de aviário *in natura* com 180 dias de compostagem), mesmo ao final do período 180 dias de compostagem, apresentou fitotoxicidade.

A única amostra que, pelo teste de germinação, indica estar maturada, foi a amostra 6 do tratamento 1 (Cama de aviário+serragem+cinzas), com 180 dias de compostagem. De acordo com Young *et al.*, (2016), a compostagem minimiza a concentração de substâncias fitotóxicas e controla a proliferação de patógenos no composto.

Dessa forma, para o tratamento 6, a utilização do composto como substrato, não implicará na presença de substâncias fitotóxicas. Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 se mostraram fitotóxicos, ou seja, não indicados para uso em produção de mudas ou aplicação em solo.

De acordo com Mendes *et al.* (2016), ainda que o composto possa ter um valor agrônomico aparentemente alto, a resposta germinativa para o teste de fitotoxicidade indica se o composto pode ou não ser recomendado como fertilizante orgânico para uso na agricultura.

Tang *et al.*, 2006, afirma, entretanto, que, resultados obtidos utilizando o índice de germinação como parâmetro para avaliar fitotoxicidade de compostos orgânicos devem ser interpretados de maneira cuidadosa, visto que o mesmo é afetado também pelo tipo de semente usada e taxas de extração utilizadas.

5.5 PRECIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

Por meio da pesquisa de Correa e Miele (2011), realizou-se cálculo de precificação de acordo com os valores obtidos para os parâmetros nitrogênio, fósforo e potássio do composto obtido ao final do processo de compostagem desta pesquisa. Portanto, multiplicaram-se os valores propostos por Correa e Miele (2011) pela cotação do dólar em julho de 2019 (U\$3,75) e chegaram-se aos valores de R\$321,37 para a cama aviária com baixa concentração de NPK, e R\$525,67 para a cama aviária com alta concentração de NPK, conforme tabela 20.

Tabela 20: Precificação da cama de aviário

Composição da cama de aviário	Cotação U\$ jul/2019	Cama em U\$/ton	Cama em R\$/ton
Baixa concentração	3,75	85,70	321,37
Alta concentração	3,75	140,18	525,67

Fonte: Adaptado de Correa e Miele (2011).

Foi realizada uma média dos nutrientes NPK da cama de aviário em estudo ao final de 180 dias de compostagem, e podemos observar os resultados na tabela 21.

Tabela 21: Média da concentração de NPK em g kg⁻¹ da cama de aviário em estudo após 180 dias de compostagem nos tratamentos 1 e 2.

Nutrientes	T 1	T 2	Baixa Concentração	Alta Concentração	Valor fertilizante R\$/ton Baixo	Valor fertilizante R\$/ton Alto
Nitrogênio	10,31	14,54	25	35	54,00	76,00
Fósforo	51,25	92,20	19	40	50,00	106,00
Potássio	20,76	36,07	22	30	40,00	54,00
Total					144,00	236,00

Fonte: Autoria própria, 2019.

Desta forma, pode-se observar que o valor do nitrogênio em ambos os tratamentos, ao final do processo de compostagem, em relação ao cálculo de precificação sugerido por Metzner (2011), encontra-se numa concentração baixa (10,31 e 14,54 g kg⁻¹). O potássio no tratamento 1 encontra-se em baixa concentração (20,76 g kg⁻¹) e no tratamento 2 em alta concentração (36,07 g kg⁻¹) e

o fósforo encontra-se em alta concentração em ambos os tratamentos (51,25 e 9,20 g kg⁻¹).

Assim, percebe-se que o cálculo de precificação sugerido por Metzner (2011), é relativo à concentração de nutrientes da cama de aviário, no qual alguns nutrientes podem estar disponíveis em maiores concentrações do que outros, como foi o caso desta pesquisa, no qual as concentrações de fósforo e potássio enquadra-se em alto teor e os teores de nitrogênio enquadram-se em baixo teor. Calculando o preço em relação ao teor de nutrientes, chega-se a um valor de R\$200,00 para a cama de aviário em estudo no tratamento 1, após 180 dias de compostagem, e para o tratamento 2 um valor de R\$214,00.

Ressalta-se que os valores encontrados através do cálculo de precificação sugerido por Metzner (2014) e Corrêa e Miele (2011), são superiores ao valor que o proprietário dos aviários em estudo comercializa a cama de aviário *in natura* no ano de 2018 (R\$70,00).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem demonstrou ser um método eficiente para o tratamento de cama de aviário em relação à redução de sólidos totais e na mineralização de nutrientes. As pilhas de compostagem atingiram temperaturas satisfatórias esperadas dentro de cada fase. O resíduo de cama de aviário é rico em nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, e, por estarem disponíveis a um baixo custo, podem ser viabilizados para a adubação de culturas, porém é muito importante observar as necessidades nutricionais do solo antes da sua aplicação e a fitotoxicidade deste composto.

Através das análises físico-químicas, observou-se que o resíduo de cama de aviário possui concentração de nutrientes mínimo ou superior exigido pela legislação aplicável, porém, de acordo com os testes de fitotoxicidade, apenas o composto obtido após 180 dias de compostagem indicou maturação, ou seja, livre de substâncias tóxicas, assim, podendo ser usado como fertilizante de solos ou na produção de mudas.

Observou-se que mesmo em condições controladas, com a impermeabilização com lona na base das pilhas e a não exposição a chuvas, houve perdas de nitrogênio, o que indica que em condições onde as pilhas ficam em contato com o solo e expostas a chuva, pode haver perdas ainda maiores deste nutriente.

A compostagem é um método de fácil implementação e baixo custo, o que pode contribuir com os avicultores para produzir um composto de melhor qualidade e destinar esse resíduo adequadamente, sem causar impactos ambientais, e até mesmo comercializá-lo.

É possível realizar a comercialização de cama de aviário desde que sejam seguidas as técnicas de métodos e análises oficiais descritas no manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos do MAPA (2017), de acordo com o Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 e atualizações do Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013 e as características nutricionais determinadas estejam de acordo com o descrito na Instrução Normativa SDA/MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 25/2009 e também devem ser seguidas.

Não existe um método oficial de calcular o preço da cama de aviário, porém, conforme cálculo de precificação sugerido em uma pesquisa, foi possível observar e comparar que o valor comercializado pelo proprietários dos aviários em estudo são inferiores ao proposto pela equação de Metzner (2011), o que indica a importância de se realizar a caracterização nutricional da cama (NPK) antes de comercializá-la e compará-la com os valores de fertilizantes minerais, afim de identificar um preço mais justo para o produtor rural.

Orienta-se, para trabalhos futuros com compostagem de cama de aviário, realizar a caracterização do nitrogênio amoniacal para verificar o seu comportamento no decorrer do processo, pois os processos de volatilização da amônia e de desnitrificação são responsáveis pelas maiores perdas de N durante a compostagem. Também, indica-se analisar parâmetros microbiológicos como *Salmonella spp* e *Escherichia Coli (E. coli)*, pois estão entre as bactérias potencialmente patogênicas encontradas nas camas aviárias e que podem infectar, além das aves, os humanos, insetos, peixes, répteis e mamíferos em geral. Desta forma, estas análises permitem avaliar a qualidade do composto em relação à sanidade para ser usado como fertilizante agrícola e também uma melhor discussão em relação à recomendação proposta na legislação para uso como fertilizante de solos.

REFERÊNCIAS

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/frango_de_corte/arvore/CONT000fy1j9mkm02wx5ok0pvo4k3wtriw3t.html> Acesso em: 08 ago 2018.

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

AKINBILE, Christopher O. *et al.* **Environmental implications of animal wastes pollution on agricultural soil and water quality**. Soil and Water Research, v. 11, n. 3, p. 172-180, 2016.

ALMEIDA, Natividad *et al.* **The importance of aeration mode and flowrate in the determination of the biological activity and stability of organic wastes by respiration indices**. Bioresource technology, v. 196, p. 256-262, 2015.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final/** Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). – Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 282p.: il. Projeto PROSAB, 2001.

ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa. PEREIRA, Ivan dos Santos. PICOLOTTO, Luciano. VIGNOLO, Gerson K. GONÇALVES, Michél A. **Importância do potássio na qualidade da produção de morango**. Revista Cultivar. Ano XI nº8. Agosto/Setembro, 2013.

AQUINO, A. M. **Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos**. EMBRAPA. Circular Técnica. n. 12. 2005.

ARRUDA, Guilherme Mendes Machado Franco de. **Produtividade de massa seca e proteína bruta do capim elefante cv. Napier em função da adubação orgânica e mineral**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Botucatu-SP, 2012.

ÁVILA, V. S. de; KUNZ, A.; BELLAVER, C.; PAIVA, D. P. de; JAENISCH, F. R.; MAZZUCO, H.; TREVISOL, I.M.; PALHARES, J. C. P.; ABREU, P. G. de, ROSA, P. S. **Boas práticas de produção de frangos de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 28p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 51).

AVILA, V. S. de; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. de. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante.** Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPASA, 1992. 38p. (EMBRAPA-CNPASA. Circular Técnica, 16).

AVILA, Valdir S.; ABREU, Valéria M.N.; FIGUEIREDO, Élsio A.P.; *et al.* **Valor Agrônômico da cama de frango após reutilização por vários lotes consecutivos.** Embrapa Aves e Suínos. Comunicado Técnico 466, ISSN 0100-8862 Versão Eletrônica – 1ª edição. Concórdia, dez. 2008.

BAKSHI, M.P.S. and Fontenot, J.P. 1998. **Processing and nutritive evaluation of broiler litter as livestock feed.** Anim Feed Sci Tech, 74: 337-345.

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

BARREIRA, Luciana Pranzetti; JUNIOR, Arlindo Philippi; RODRIGUES, Mario Sergio. **Usinas de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção.** Revista Brasileira de Engenharia Sanitária. v. 11, n. 4, p. 385-393, out/dez. 2006.

BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. **Compostagem: Utilização de compostos em horticultura.** Universidade dos Açores - Centro de Investigação e Tecnologias Agrárias dos Açores, 2007.

BELO, Sara Rodrigues Santos. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem.** 2011. 79 f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. **Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil.** Agriculture Ecosystems & Environment, v. 69, p. 175-189, 1998.

BERNAL, M., Albuquerque, J., MORAL, R., 2009. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment.** A review. Bioresource Technology. 100, 5444-5453.

BERNARDI, Francieli Helena. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial**. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Centro De Ciências Exatas E Tecnológicas da Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná. Cascavel, 2011. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede//tde_arquivos/1/TDE20120130T133937Z667/Publico/Francieli_Helena_Bernardi.pdf>. Acesso em 01 nov 2018.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandy. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos** / Francisco Ricardo Andrade Bidone, Jurandy Povinelli. - São Carlos, São Paulo: EESC/USP, 1999.

BORDIGNON, Leonardo. FIALKOWSKI, André. **Efeitos de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango** / Leonardo Bordignon e André Fialkowski – Dois Vizinhos : [s.n.], 2013.

BORTOLON, Leandro. GIANELLO, Clesio. **Fósforo extraído pela solução de mehlich-1 determinado por colorimetria e icp em solos do sul do brasil**. R. Bras. Ci. Solo, 34:263-268, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n1/a27v34n1.pdf>> Acesso em 20 ago 2018.

BRAGA, Gastão Ney Monte. **As Funções do Fósforo para as Plantas**. Disponível em: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2010/04/as-funcoes-do-fosforo-para-as-plantas.html>> Acesso em 15 jun 2019.

BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 007, de 17/05/1999. **Dispõe sobre normas para a produção de produtos orgânicos vegetais e animais**. Disponível em: <<http://planetaorganico.com.br/site/?p=2999&preview=true>>. Acesso em: 08 ago 2018.

BRASIL. Instrução normativa MAPA / SDA n o 25, de 23 de julho de 2009. **Anexo III - Especificações para fertilizantes orgânicos mistos e compostos**. Brasília, DF, 23 jul. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**; e dá outras providências. Congresso Nacional, Casa civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº. 62, de 26 de Agosto de 2003**.

Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** p. 399. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005.** Brasília, DF, 2005.

BRASIL, Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "**Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.**" - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89.

BRUNI, Vinicio Costa. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados.** 114f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BUDZIAK, C. R., MAIA, C. M. B. F. & MANGRICH, A. S. **Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira.** Quím. Nova.. maio/jun. 2004, vol.27, no.3. p.399-403. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em 12 de julho de 2018.

BULEGON, L. G. CASTAGNARA, D. D. ZOZ, T. OLIVEIRA, P. S. R. SOUZA, F. H. **Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral.** Ensaios e Ciência. Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde. Vol. 16, Nº2, 2012.

CERRI, Carlos Eduardo P. **Compostagem** – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade de São Paulo, 2008.

CONCEIÇÃO, Otávio Prates. **Práticas para a redução de perdas de N na compostagem do esterco de galinha** / Otávio Prates Conceição. - 2018.

CORRÊA JC, MIELE, MA. **A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos.** In: Manejo ambiental na avicultura. In: Palhares JCP, Kunz, A, editores. Manejo ambiental na avicultura. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152. (Documentos/Embrapa Suínos e Aves, 149).

COSTA, Adriana Monteiro. BORGES, Elias Nascentes. SILVA, Adriane de Andrade. NOLLA, Antônio Nolla. GUIMARÃES, Ednaldo Carvalho. **Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango** - Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1991-1998, 2009. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33nspe/50.pdf>> Acesso em 18 set 2018.

COSTA, Mônica S. S. de M., COSTA, Luiz A. de M., OLIBONE, Dácio. RÖDER, Cinthia. BURIN, ALCIONE. KAUFMANN, Anderson V., ORTOLAN, Mara L. **Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.549-556, maio/ago. 2005.

COTTA, J. A. DE O.; CARVALHO, N.L.C., BRUM, T. DA S. e Rezende, M.O de O. **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem**. Engenharia Sanitária Ambiental, vol.20: pag:65-78, 2015.

D'ALMEIDA, M. L. O., VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

DE SOUSA, Aline Isabel *et al.* Compostagem como ferramenta de educação no campo. **Revista Intertox de Toxicologia**, Risco Ambiental e Sociedade, v. 10, n. 1, 2017.

DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; HIGASHIKAWA, F.S.; ROIG, A. & SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. **Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification**. Biores. Technol., 101:1239-1246, 2010.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA). **Estatística Suínos e Frangos de Corte 2018**. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>> Acesso em 14 ago 2018.

Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA). **Manual de Métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2017.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FERREIRA, Andressa G. *et al.* Uso de extratos aquosos (nim, eucalipto e fumo) no controle do cascudinho (*Alphitobius diaperinus*). **Agrarian Academy**, v.5, n. 9, 2018.

FERREIRA, M.M.M. **Sintomas da deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010**. Revista Agro@ambiente On-line, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

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.

FILHO, José U. Peixoto, FREIRE, Maria B. G. dos S., FREIRE, Fernando J., MIRANDA, Márcio F. A., PESSOA, Luiz G. M., KAMIMURA, Karina M. **Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.17, n.4, p.419–424, 2013 Campina Grande, PB.

FIORENTIN, L. **Implicações da reutilização da cama de aviário para a saúde pública e animal**. IV Seminário Internacional de Aves e Suínos - Avesui, 2005.

FIORESE, Caio Henrique Ungarato *et al.* **Análise de macronutrientes de resíduos sólidos provenientes da avicultura para possíveis aplicações como fertilizante de plantas**. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 1, p. 664-678, 2018.

FISCHER, D.; GLASER, B. **Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration** In: Management of Organic Waste. Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Soil Biogeochemistry, Halle. Germany, 2012.

FLAUZINO, Renato. **Geração de resíduos sólidos**. Medianeira, 2011.

FRANÇA, L. R. ; KREUZ, R. ; MENEZES, J. F. S. LACERDA, M. J. R. **Simulation of broiler litter use in the own property**. Archivos de Zootecnia (Universidad de Córdoba), v. 58, p. 137-139, 2009.

FRANÇA, L. R. **A reestruturação produtiva da avicultura de corte**: Rio Verde (GO) e Videira (SC). 2006. 152 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

FRANÇA, L. R. **O paradigma da cama de frango**. Texto para discussão, 2001c. 3 p. 60. 1995.

FREITAS, Luiz Antônio R. de & BERTOGLIO, Oscar. **A evolução da avicultura de corte brasileira após 1980**. Revista Economia e Desenvolvimento, n. 13, BrasíliaDF, RBA Editora, agosto, 2001.

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

GAJALAKSHMI, S., ABBASI, A., 2008. **Solid Waste Management by Composting: State of the Art**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 38, 311-400.

GARCIA, Rodrigo Garófallo; PAZ, I. C. L. A.; CALDARA, Fabiana Ribeiro. **Papel da cama na produção e bem-estar de frangos de corte**. Revista Avisite, v. 47, p. 46-50, 2011.

GATIBONI, Luciano Colpo. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. /Luciano Colpo Gatiboni ... [et al.] – Lages: UDESC/CAV, 2014. 38 p. : il. color.

GEBLER, L.; LOUZADAS, J. A. S.; BERTOL, I.; RAMOS, R. R.; MIQUELLUTI, D. J.; SCHRAMMELS, B. M. **Adaptação metodológica no cálculo de cargas contaminantes de P em bacias hidrográficas gaúchas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, n.7, p.769–776, 2012.

GUIMARÃES, Geicimara; LANA, Rogério de Paula; REI, Renata de Souza; VELOSO, Cristina Mattos; SOUSA, Maria Regina de Miranda; RODRIGUES, Rosane Cláudia; CAMPOS, Silvane de Almeida. **Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango**. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., Salvador, v.17, n.4, p.617-625 out./dez.,2016.

GONZALES, E.; CAFÉ, M. B.; LEANDRO, N. S. M. **Boas práticas no uso de medicamentos pela indústria avícola**. In: PALERMO NETO, J.; SPINOSA, H. S.; GÓRNIK, S. L. Farmacologia aplicada à avicultura. São Paulo: Roca, 2005. v. 1, Cap. 18, p. 265-285.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. Dissertação de Mestrado. 131p. 2004. Curso de Pós-graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

HANCKE, Aloma. **Avaliação da cama de aviário in natura e compostada na produção de cenoura (*Daucus carota* L.)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. Francisco Beltrão, 2018.

HUANG, G.F.A., J.W.C. WONG, Q.T. Wu and B.B. Nagar. 2004. **Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust**. Waste Manage., 24: 805-813.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 20 ago de 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Estatística da Produção Pecuária**, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2018_1tri.pdf> Acesso em 5 ago 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Estatística da Produção Pecuária**, 2018. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/.../abate-leite-couro-ovos_201802caderno.pdf>. Acesso em: 26 mar 2019.

IBOVESPA. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/ibovespa>> Acesso em 10 ago 2019.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Sistemas de hidrologia. Disponível em: <<http://www.sihweb.aguasparana.pr.gov.br/sihweb/gerarRelatorioTotaisMensaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelNicial>> Acesso em 10 ago 2019.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Fatores Externos (ambientais) que Influenciam na Germinação de Sementes**. Piracicaba, abril 1998. Disponível em: Acesso em: 19 mar. 2019.

JONES, R.; H. OUGHAM; H. THOMAS e S. WAALAND (2013) – **“The Molecular Life of Plants”** – American Society of Plant Biologists, Wiley-Blackwell, UK.

JORENKU A/S, Disponível em: < <https://www.jorenku.com/da/om-j-n-jorenku>> Acesso em 30 set 2018.

JUNIOR, Orrico *et al.* **Crude glycerin in co-composting with laying hen manure reduces N losses.** Scientia Agricola, v. 75, n. 5, p. 361-367, 2018.

JURADO, M. M.; *et al.* Enhanced turnover of organic matter fractions by microbial stimulation during lignocellulosic waste composting. **Bioresource Technology**, v. 186, n.15, 2015.

KAMIMURA, Carolina Toshie *et al.* Avaliação da atividade antimicrobiana de extratos de Helianthus tuberosus L. e Smallanthus sonchifolius em cama de frangos. **Atas de Saúde Ambiental-ASA**, v. 6, p. 34-45, 2018.

KAPANEN, A.; ITAVAARA, M. **Ecotoxicity tests for compost applications.** Ecotoxicology Environmental Safety. 49:1-16 (2001)

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: [s. n.], 2002. 171p

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres" Ltda., 1985. 492 p.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto.** Piracicaba, 1998.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos.** Piracicaba, 2010.

KLEIN, Cláudia. AGNE, Sandra Aparecida Antonini. **Fósforo: De nutriente à poluente!** Rev. Elet. Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/6430>> Acesso em 18 set 2018.

LABRE, J. C. C.; SILVA J. M. A.; MILLIOLI V. S.; CARVALHO D. D. **Testes ecotoxicológicos baseados na exposição de anelídeos e sementes de alface através da adição de diferentes concentrações de surfactantes ao solo.** III Workshop de Ecotoxicologia, Rio Claro, suplemento 1, v. 8, n. 2, 2008.

LIMA, J. S., MENK, J. R. F., LICHTIG, J., OLIVEIRA, E. **Influência do Composto Orgânico no Teor de Metais Pesados de Solos Agrícolas**. Bio Engenharia Sanitária e Ambiental, ano IV, n. 3, p. 56-

LOPES, Thiara Reis. PLETSCHE, Adelmo Lowe. PERIOTTO, Fernando. **Manual de Análises Laboratoriais para Lodos e Sedimentos**. PPGTAMB – Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Medianeira PR, 2015.

LUENGO, Rita de Fátima Alves. BUTRUILLE Nicole-Marie dos Santos, MELO, Raphael Augusto de Castro. SILVA, Juscimar da. MALDONADE, Iriani Rodrigues. JUNIOR, Antônio Dantas Costa. **Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília**. Braz. J. Food Technol., Campinas, v. 21, e2017141, 2018.

TEIXEIRA, Paulo César. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / Instrução Normativa 25 de 21/12/2012 - **Comercialização das substâncias sujeitas a controle especial**.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Compostagem: nada se cria, nada se perde; tudo se transforma**/ Luciana Miyoko Massukado. _ Brasília : Editora IFB, 2016. 86 p.

MDIC - Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2015. Disponível em:<
<http://www.guiamedianeira.com.br/noticia/10966/Regiao+Oeste+e+a+maior+produtor+a+de+frango+do+Brasil+em+2015>> Acesso em 28 ago 2018.

MENDES, Angélica S. **Materiais alternativos para substrato de cama de frango de sorte e sua utilização como fertilizante**. UTFPR Dois Vizinhos, 2008.

MENDES, P. M.; BECKER, R.; CORRÊA, L. B.; BIANCHI, I.; DAI PRÁ, M. A.; LUCIA Jr, T.; CORRÊA, E. K. **Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues**. Journal of Environmental Production, v. 167, p. 156-159. 2016.

MIELE, ALBERTO. MILAN, PAULO ANIIO. **Composição mineral de cama de aviário de frangos de corte e sua utilização na adubação de vinhedos.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 18(7):729-733,jul. 1983.

MENG, L.; WEIGUANG, L.; ZHANG, S.; WU, C.; LU, L.; Feasibility of co-composting of sewage sludge, spent mushroom substrate and wheat straw. Bioresource Technology. 2016.

MOSER, Rafaela Gasparotto, DAL BOSCO, Tatiane Cristina, MICHELS, Roger Nabeyama, CHIES, Leonardo Galice, HASHIMOTO, Elizabeth Mie. **Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores na presença de dois biopolímeros a base de amido.** CONRESOL – 1º Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado – RS, 2018.

NETO, João Tinoco Pereira. **Manual de Compostagem.** Processo de Baixo Custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

NOCE, Marco Aurélio. OLIVEIRA, Antônio Carlos. CARVALHO, Diego De Oliveira. CHAVES, Fredson Ferreira. **Fertilização do milho silagem utilizando cama de frango em doses e sistemas de aplicação distintos.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.2, p. 232-239, 2014.

NOVAKOWISKI, Jaqueline Huzar. SANDINI, Itacir Eloi; FALBO, Margarete Kimie. MORAES, Anibal de. NOVAKOWISKI, Jackson Huzar. **Adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária.** Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1663-1672, jul./ago. 2013.

OLIVEIRA, Marcia Terezinha Ramos de Oliveira., BERBERT, Pedro Amorim., PEREIRA, Rozimar de Campos., VIEIRA, Henrique Duarte., CARLESSO, Vinicius Oliveira. **Características biométricas e físico-químicas do fruto, morfologia da semente e da plântula de *averrhoa carambola I. (oxalidaceae)*.** Revista Brasileira de Sementes, vol. 33, nº 2 p. 251 - 260, 2011

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; AQUINO, Adriana Maria de; NETO, Manoel Teixeira de Castro; **Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico.** Circular Técnica Embrapa, Cruz das Almas-BA, 2005. Disponível em:<https://www2.dti.ufv.br/noticia/files/anexos/phpk6sIUt_4827.pdf> Acesso em 12 ago de 2018.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de; SARTORI, Raul Henrique; GARCEZ, Tiago B., 2008. **Compostagem.** 2008.19 f. Disciplina: Matéria Orgânica do Solo (LSO897).

Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; JÚNIOR, Jorge de Lucas; **Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves - Revista Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.538-545, maio/jun. 2010.

OVIEDO-RONDÓN, Edgar O. **Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte.** Revista Brasileira de Zootecnia, vol.37, p.239- 252, 2008.

PACHECO NETO, Gelso *et al.* **Avaliação dos impactos ambientais de atividade avicultora em Pinhal da Serra, Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, n. 9, p. 41-48, 2017.

PAGANINI, F. J. **Produção de frangos de corte: manejo de cama.** Campinas: FACTA, p. 356, 2004.

PASSOS, Alexandre Martins Abdão dos. REZENDE, Pedro Milanez de. CARVALHO, Everson Reis. **Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão no estado nutricional da soja** - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/cama%20de%20frango.pdf>> Acesso em 18 set 2018.

PELEGRINI, N.N.B.; Paterniani, J.E.S.; Carniato, J.G.; Silva, N.B. e Pelegrini, R.T. **Estudo da sensibilidade de sementes de Eruca sativa (rúcula) utilizando substâncias tóxicas para agricultura.** XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA) João Pessoa - PB, 2006.

PEREIRA NETO, J. T., 1987: “**On the Tratment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**”.University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845.

PEREIRA NETO, João Tinoco. LELIS, Marcelo de Paula Neves. **Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Viçosa – MG, 1999.

PIRES, P. G. da S.; RICCI, G. D.; MENDES, J. V. **Características de Cama de Aviário e sua Reutilização.** In: SIMPÓSIO DE SUSTENTAABILIDADE E CIÊNCIA ANIMAL, 3., Pirassununga, 2013. **Anais...** Pirassununga: SP, 2013.

PLANALTO – Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2009. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 13 Jan.2014.

RAMASWAMY, J., PRASHER, S.O., PATEL, R.M., HUSSAIN, S.A. and BARRINGTON, S.F. 2010. **The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical.** Bioresource Technol, 101: 2294-2299

REGITANO, J. B.; LEAL, R. M. P. **Comportamento e impacto ambiental de antibióticos usados na produção animal brasileira.** Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), Viçosa, v. 34, p. 601-616, 2010.

RICHART, Alfredo; GIBBERT, Rafael Marlon; MÜLLER, Elton José. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia da cama de frango em função do manejo de aplicação em argissolo vermelho.** Synergismus scyentific a UTFPR , Pato Branco, 09 (1) . 2014.

RICHETTI, A. GUIDUCCI, R. C. N. Viabilidade econômica do sistema de produção soja-milho safrinha consorciado com braquiária. Cap. 9 Livro: Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários. Metodologias e Estudos de Casos, 1ª ed., Embrapa-DF, 2012.

ROPPA, Alex. ROSA, Genesio Mario da. GABRIEL, Márcia. WASTOWSKI, Arci Dirceu. ZENI, Juliano César da Silva. **Análise dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio em camas de aviário para adubação orgânica.** Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais/Centro de Educação Superior Norte-RS-CESNORS - Campus de Frederico Westphalen/Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, 2012.

SANTOS, Danilo Rheinheimer dos; GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João. **Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto.** Ciência Rural, v.38, n.2, mar-abr, 2008. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008.

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. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS – 2008.

SCHOENHALS, Marlise; FIORI, Marciane Gorete Silvestro; FOLLADOR, Franciele Aní Caovilla. **Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de**

resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p.178-191, set/dez 2008.

SEGANFREDO, M. A.; BITTANCOURT, E. **Cama de frango: como usar corretamente.** Disponível em: <<http://www.zoonews.com.br>> Acesso em 28 set 2018. **sem separação das frações sólida e líquida.** 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

SILVA, C.A. **Uso de resíduos orgânicos na agricultura.** In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2ª ed. Porto Alegre, 2008. p.597-624.

SILVA, Alice Sabrina Ferreira da. **Avaliação do processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos.** / Alice Sabrina Ferreira da Silva. - Recife, 2016.

SILVA, Francisca A. de M.; BOAS, Roberto L. V.; SILVA, Reginaldo B. da. **Parâmetros de maturação para diferentes compostos orgânicos.** Revista Brasileira de Agroecologia. v. 4, n. 1, p. 67-78, 2009.

SINDIAVIPAR - Sindicato das Indústrias de Produção Avícolas do Estado do Paraná, 2017. Disponível em:<<http://avinutri.com/confira-o-desempenho-da-exportacao-avicola-no-parana-em-2017/>> Acesso em: 26 mar 2019.

SOARES, A. MOZETO, A. A. **Water quality in the Tietê River Reservoirs (Billings, Barra Bonita, Bariri and Promissão, SP - Brazil) and nutriente fluxes across the sediment-water interface (Barra Bonita).** Acta LimnologicaBrasiliensia, v. 18, n.3, p. 247-266, 2006.

TANG, J. C.; MAIE, N.; TADA, Y.; KATAYAMA, A. **Characterization of the maturing process of cattle manure compost.** Process Biochemistry, v. 41, n. 2, p. 380-389. 2006.

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

TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; HANASIRO, J. **Aducação de Hortaliças e frutíferas**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas -SP, 2013.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. **Compost Microorganisms**. In: CORNELL Composting, Science & Engineering. Disponível em: <<http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>> Acesso em: 2 set 2018.

USDA- United States Department of Agriculture. Production, Supply and Distribution. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>> Acesso em 9 ago 2019.

USEPA – United States Environmental Protection Agency - **Final Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria For Ammonia-Freshwater** 2013. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-08-22/html/2013-20307.htm>> Acesso em 01 nov 2018.

VALADÃO, F. C. A., MAAS, K. D. B., WEBER, O. L. S., VALADÃO, D. D. J., SILVA, T. J. **Variação nos Atributos do Solo em Sistemas de Manejo com Adição de Cama de Frango**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 6, 2011, pp. 2073-2082, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasil.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JUNIOR, 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.

VALENTE, Beatriz Simões *et al.* **Compostagem e vermicompostagem de dejetos líquidos de bovinos leiteiros e cama aviária**. Archivos de zootecnia, v. 65, n. 249, p. 79-87, 2016.

VIRTUOSO, M. C. da S., DIAS, L. N. de S., FAGUNDES, P. S. de F., LEITE, P. R. de S. da C. **Reutilização da cama de frango**. Revista eletrônica Nutritime – ISSN 1983-9006 - Artigo 296 Volume 12 - Número 02– p. 3964– 3979- Março/Abril 2015

WOLF, J.; POTRICH, M.; LOZANO, E. R.; GOUVÊA, A.; PEGORINI, C. S. **Métodos físicos e químicos combinados para controlar pequenos besouros de larvas de farinha em condições de laboratório**. Poultry Science, v, 94, n. 6, p. 1145- 1149, 2015.

YOUNG, B. J.; RIZZO, P. F.; RIERA, N. I.; TORRE, V. D.; LÓPEZ, V. A.; MOLINA, C. D.; FERNÁNDEZ, F. E.; CRESPO, D. C.; BARRENA, R.; KOMILIS, D. **Development of phytotoxicity indexes and their correlation with ecotoxicological, stability and physicochemical parameters during passive composting of poultry manure.** *Waste Management*, v. 54, p. 101-109. 2016.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 9, n.13, 2007.

ZUCCONI, F. *et al.* **Evaluating toxicity in immature compost.** *Biocycle*, Emmaus, v. 22, p.54-57, 1988.