

FLAVIA MARINA SOUZA DA COSTA

**COMPOSTAGEM E POTENCIAL DE USO COMO
FERTILIZANTE DO LODO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
DE INDÚSTRIA DE CARNE AVÍCOLA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cassol

**LAGES, SC
2016**

Costa, Flavia Marina Souza.

Compostagem e potencial de uso como fertilizante
do lodo de tratamento de efluente de indústria de
carne avícola. / Flavia Marina Souza da Costa. -
Lages, 2016.

69 p.; il.; 21 cm

Orientador: Paulo Cassol.

Bibliografia: p. 58-66

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2016

1. Composto. 2. Resíduo orgânico. 3.
Poluição. 4. Fertilizante orgânico. I Costa,
Flavia Marina Souza. II. Cassol, Paulo. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela aluna

FLAVIA MARINA SOUZA DA COSTA

**COMPOSTAGEM E POTENCIAL DE USO COMO
FERTILIZANTE DO LODO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CARNE AVÍCOLA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Banca examinadora

Orientador/presidente:

Dr. Paulo Cesar Cassol
(UDESC/Lages-SC)

Membro:

Dr. Marcelo Alves Moreira
(UDESC/Lages-SC)

Membro:

Dr. Murilo Dalla Costa
(EPAGRI/Lages-SC)

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Cassol, pela amizade, compreensão e orientação.

À UDESC pela formação profissional e a CAPES pela bolsa de estudos.

Aos professores do programa de Pós-graduação pelos ensinamentos e experiências transmitidas, e aos colegas da pós-graduação, que sempre auxiliaram de alguma forma, principalmente na parte laboratorial.

A amiga Luiza que participou e ajudou muito, tanto no trabalho como com uma grande amizade.

Aos meus pais Mister e Marlene, pelo apoio e carinho no decorrer desses anos.

Aos demais amigos que de alguma forma contribuíram em minha vida.

A minha grande amiga, Fernanda, que está sempre ao meu lado, disposta a me dar a mão independente da distância.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

"Se não houver frutos, valeu a beleza
das flores. Se não houver flores, valeu
a sombra das folhas. Se não houver
folhas, valeu a intenção da semente."

Henfil

RESUMO

COSTA, Flavia Marina Souza. **Compostagem e potencial de uso como fertilizante do lodo de tratamento de efluente de efluente de indústria de carne avícola.** 2016. 69 p. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, SC, 2016.

O lodo gerado em estação de tratamento de efluente (ETE) do processamento de carnes requer destinação adequada, para minimizar seus impactos ambientais negativos. Este trabalho objetivou avaliar a compostagem como alternativa para a neutralização e aproveitamento do lodo de ETE de uma indústria de carne avícola. A compostagem foi conduzida em compartimentos de 1,0 m³ mantidas sob telhado. Os tratamentos foram as seguintes combinações de lodo, serragem e aditivos: 40% lodo + 60% serragem; 35% lodo + 65% serragem; 30% lodo + 70% serragem; 30% lodo + 65% serragem + 5% cama de aviário; e 30% lodo + 60% serragem + 10% cinza da queima de biomassa florestal. Durante o tempo da compostagem o material foi revolvido e os parâmetros temperatura (T), umidade e pH das leiras foram determinados periodicamente. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B e Mn, e alguns atributos biológicos foram determinados no composto gerado. Todas as cinco combinações avaliadas possibilitaram a neutralização do lodo pela compostagem. Na fase de maior atividade do processo, as leiras apresentaram umidade entre 40 e 65% e T na faixa de 60 a 75 °C. Entretanto, a T e o pH variaram entre os tratamentos em função do teor de umidade das leiras. O composto apresentou potencial fertilizante, com teores totais médios de N, P, K, Ca e, Mg de 6,6, 1,11, 1,42, 1,1 e 6,6 g kg⁻¹ (base seca), respectivamente. Os teores de metais pesados e contaminantes no composto orgânico em geral se situaram dentro dos limites permitidos pela legislação.

Palavras-chave: Composto. Resíduo orgânico. Poluição. Fertilizante orgânico.

ABSTRACT

COSTA, Flavia Marina Souza. **Composting of wastewater sludge from poultry meat industry and its potential for use as fertilizer.** 2016. 69 p. Dissertation in Soil Science. Area: Fertility and Soil Chemistry. Santa Catarina State University - Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2016.

The sludge from wastewater treatment plant (WWTP) of meat processing requires proper disposal, to reduce negative environmental impacts. This study aimed to test the composting process as an alternative to the neutralization and use of the sludge from WWTP of a poultry meat industry. Composting was carried out in 1.0 m³ composters kept under roof. The treatments were the following five combinations of sludge, sawdust and additives: 40% sludge + 60% sawdust; 35% sludge + 65% sawdust; 30% sludge + 70% sawdust; 30% sludge + 65% sawdust + 5% poultry litter; and 30% sludge + 60% sawdust + 10% ash from the combustion of forest biomass. During the composting time the material was turned over and the temperature (T), humidity and pH of the windrows were measured periodically. The content of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B and Mn, and some biological properties of the compost were determined. All the five combinations allowed the sludge neutralization by composting. During the most active phase of the process, the windrows had moisture

between 40 and 65% and T between 60-75 °C. However, the T and pH vary depending on the windrow moisture. The compound has potential fertilizer, with average of total N, P, K, Ca, and Mg of 6.6, 1.11, 1.42, 1.1 and 6.6 g kg⁻¹ (dry) respectively. The content of heavy metals and contaminants in the organic compound generally were within the limits allowed by law.

Key-words: Composting. Organic residue. Poultry. Organic fertilizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Ilustração das caixas de acondicionamento das composteiras pilotos, destacando-se a localização em local coberto.36
- Figura 2 – Ilustração do monitoramento de temperatura das pilhas de composto.....37
- Figura 3 - Temperatura média diária das pilhas de compostagem de lodo de ETE em função do tempo, em 5 diferentes misturas. Médias de três repetições.....42
- Figura 4 - Valores de pH médio diária das pilhas de compostagem de lodo de ETE em função do tempo, em 5 diferentes misturas. Médias de três repetições.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos tratamentos avaliados em ensaio de compostagem.....	34
Tabela 2 – Características dos resíduos e aditivos utilizados no processo de compostagem	35
Tabela 3 – Valores de pH e teores de carbono orgânico, nitrogênio total e relação C/N em composto obtido aos 108 dias após o inicio da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos	47
Tabela 4 – Teores totais P, K e Ca em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos	51
Tabela 5 – Teores totais metais pesados em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos.....	53
Tabela 6 – Atributos biológicos em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	AGROINDÚSTRIA DE CARNE AVÍCOLA	21
2.2	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	22
2.3	PROCESSO DE COMPOSTAGEM	24
2.4	QUALIDADE DO COMPOSTO	30
3	HIPÓTESES	32
4	OBJETIVOS	33
4.1	OBJETIVO GERAL	33
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
5	MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	34
5.2	MONITORAMENTO DA LEIRA	37
5.3	COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DO COMPOSTO	38
5.4	ATRIBUTOS QUÍMICOS	39
5.5	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS	39
5.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1	TEMPERATURA DURANTE A COMPOSTAGEM	41
6.2	ÍNDICE pH	45
6.3	CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO FINAL	47
6.3.1	pH, C e N	47
6.3.2	P, K, Ca e Mg	51
6.3.3	Metais pesados	53
6.3.4	Atributos biológicos	54
7	CONCLUSÕES	56
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERENCIAS.....	58
	APÊNDICES.....	67

1 INTRODUÇÃO

A carne de frango atualmente é o segundo tipo de carne mais consumida a nível mundial. No Brasil o setor avícola nacional teve uma acelerada expansão da produção, e consequentemente houve também um aumento na geração de efluentes provenientes do processamento das carnes de aves. Esses efluentes são denominados de água residuária e lodo de ETE, e se caracterizam por possuir alto teor de matéria orgânica biodegradável, suspensa e coloidal tais como gorduras e proteínas. Também apresentam alto risco da presença de microrganismos patogênicos, representando um material de alto poder poluente.

A implantação de normativas que visam o desenvolvimento limpo e sustentável das indústrias prevê tratamentos que reduzam a agressão ambiental acarretada por estes efluentes quando lançados no ambiente sem o prévio tratamento. Frente a esta situação, a produção de composto orgânico e o seu uso agronômico racional representam alternativa promissora para a solução do problema. Porém isso demanda a ampliação dos conhecimentos sobre os resíduos e suas respectivas formas de tratamento (PREZOTTO, 1992). Neste caso, a compostagem é uma técnica que se mostra viável, de baixo custo e sanitariamente eficiente para o tratamento de resíduos e reciclagem dos nutrientes contidos.

Na compostagem ocorre o desenvolvimento de atividade microbiana termofílica que geralmente atingem temperatura em torno de 55°C, podendo chegar a 65°C. O processo reflete o desenvolvimento de população microbiana diversificada, com alta taxa de decomposição da matéria orgânica e possibilitando a eliminação de microrganismos patogênicos e a quebra de vitalidade de sementes de ervas invasoras, ovos de parasitas e larvas de insetos (KIEHL, 2004). Os microrganismos aeróbios usam a matéria orgânica como substrato, gerando como subproduto o composto constituído de materiais mineralizados e substâncias húmidas as quais podem

ser manejadas, armazenadas e, ou aplicadas ao solo sem afetar adversamente o ambiente.

Para que o processo de compostagem se desenvolva de maneira satisfatória, é necessário que alguns parâmetros fisico-químicos sejam controlados permitindo que os microrganismos encontrem condições favoráveis para se desenvolverem e transformarem a matéria orgânica (FERNANDES et al., 1996). Em caso de perda excessiva da umidade, a água pode ser adicionada sobre o material em compostagem e em caso de excesso, materiais absorventes como palhas, camas e serragens devem ser incorporados em níveis suficientes para a adequação do teor de umidade. Quando o teor de umidade supera 75%, o processo de compostagem geralmente não atinge temperaturas adequadas (KIEHL, 2004; BOMBILIO, 2005).

Esse trabalho foi realizado como o objetivo de avaliar a produção de composto orgânico como alternativa para o tratamento e reciclagem do lodo de ETE de agroindústria avícola. Para isso, avaliou-se o desempenho do processo de compostagem e a composição do composto orgânico quanto os valores de coliformes totais e termotolerantes, e aos teores de nutrientes e metais pesados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AGROINDÚSTRIA DE CARNE AVÍCOLA

A agroindústria de frango de corte é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro. Esse fato decorre especialmente da importância que a carne de frango assumiu o consumo da população ao longo dos últimos 70 anos. Desde o seu surgimento, na região de Mogi das Cruzes nos anos 40, a avicultura brasileira obteve um crescimento vertiginoso, a ponto de assumir posição de destaque no cenário internacional (PINOTTI, 2005).

De acordo com dados da União Brasileira de Avicultura – UBABEF (2013) em 2012, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, produzindo um total de 12,6 milhões de toneladas de carne de frango, ficando atrás apenas dos EUA, que possui uma produção de 16,5 milhões de toneladas, e da China que produz 13,7 milhões de toneladas anuais.

A atividade avícola catarinense expandiu-se de forma simultânea ao processo de interação organizacional, que resultou na formação das competências empresariais para o desenvolvimento do modelo de contratos de integração. A estruturação do sistema de integração em contratos e as estratégias da produção e da comercialização de aves do Estado de Santa Catarina foram difundidas para as outras regiões brasileiras e também para outras cadeias agroindustriais (PINOTTI, 2006).

Paralelamente ao desenvolvimento acelerado do setor avícola houve uma maior produção de efluentes oriundos do processamento da carne de frangos. Esses efluentes são altamente poluentes, pois apresentam elevado conteúdo de matéria orgânica e carga microbiológica, que se dispostos de maneira inadequada no meio ambiente podem levar a sérios problemas ambientais. Entretanto, esses resíduos apresentam

capacidade de agregação de valor pela geração de biogás, biofertilizante e composto (SUNADA, 2011).

2.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

As agroindústrias processadoras de carne de frango em geral fazem uso do sistema de lodo ativado para o tratamento do efluente gerado durante o processo. O tratamento de efluente por processo biológico resulta em dois tipos de resíduos: o efluente líquido em condições de ser devolvido ao meio ambiente e o lodo que é um material pastoso com grande concentração de microorganismos, e materiais sólidos orgânicos e minerais (NUCCI et al., 1978).

Estima-se que a produção de lodo no Brasil está entre 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Considerando que apenas 30% da população urbana têm seu esgoto devidamente coletado e tratado, é de se esperar que a geração de lodo superaria 400 mil toneladas de lodo por ano caso os esgotos fossem totalmente tratados no país (SOARES, 2004).

A destinação deste lodo residual que é gerado nas ETEs representa um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas (PEDROZA et al, 2010).

Os lodos podem exibir características indesejáveis, como instabilidade biológica, possibilidade de transmissão de patógenos e grandes volumes. O principal objetivo do tratamento do lodo de esgoto é gerar um produto mais estável e com menor volume para facilitar seu manuseio e, consequentemente, reduzir os custos nos processos subsequentes. Esse tratamento se dá através de processos físicos, químicos e biológicos (PEDROZA et al, 2010).

O lançamento de lodos de esgotos no meio ambiente compromete os sistemas naturais e antrópicos, devido ao grande volume gerado, à instabilidade biológica e à alta carga de microrganismos patogênicos normalmente presentes nesses materiais (VAN HAANDEL; ALÉM SOBRINHO, 2006).

Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola.

A escolha mais comum para a disposição final do lodo produzido no Brasil são aterros sanitários. Apesar de esta disposição ser relativamente simples, pode acarretar problemas locais no solo, caso haja má impermeabilização, juntamente com a ausência de um sistema de drenagem dos líquidos percolados, que podem permear e entrar em contato com águas subterrâneas e solo, causando grande impacto ambiental (SILVA, 2011).

A reciclagem agrícola do lodo de esgoto destaca-se por reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais envolvida na produção de fertilizantes e os custos decorrentes dos insumos agrícolas nos sistemas produtivos. Além disso, diminui o impacto ambiental causado, na medida em que dispensa a adoção de outras opções de destino (NOGUEIRA et al., 2006).

Devido a composição rica em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, o lodo de esgoto tem sido sugerido para a aplicação na agricultura como condicionador e fertilizante do solo. Os benefícios que podem ser obtidos com sua aplicação se tratam da reciclagem da matéria orgânica e o aporte de nutrientes no solo, os quais podem a vir melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas e a produtividade agrícola (SILVA, 2011).

Quando se utiliza o lodo de esgoto doméstico como condicionador ou fertilizante, o mesmo confere aos solos, uma maior capacidade de retenção de água e de nutrientes minerais, maior resistência à erosão, podendo auxiliar na melhoria das práticas agrícolas atualmente em uso no nosso país, além de oferecer ao resíduo gerado, um destino final ambientalmente adequado (DORES-SILVA et al., 2012).

Entretanto, o lodo de efluentes não pode ser aplicado diretamente nas áreas agrícolas ou florestais. Para isso, deve ser previamente submetido a tratamentos biológicos que reduzam sua carga orgânica e promovam a estabilização do material. A WEF (Water Environmental Federation), recomenda o uso do termo biossólido para designar o lodo que passa por processo de tratamento biológico e que apresenta potencial de uso benéfico em sistemas agro-florestais, sem apresentar riscos à saúde humana e animal. O lodo cru que não tenha recebido tratamento adequado para controle de poluentes e patógenos não é considerado biossólido (POGGIANI et al., 2000).

Resultados de pesquisas indicam que o lodo de ETE é rico em nitrogênio, fósforo e micronutrientes, apresenta teores de umidade variável e alta concentração de matéria orgânica. Um dos principais efeitos da matéria orgânica sobre os atributos físicos do solo, está associado ao aumento do grau de agregação, que consequentemente, diminui a densidade e aumenta a porosidade, aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2002).

2.3 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é o processo de decomposição e estabilização biológica dos substratos orgânicos sob condições que favorecem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas que resultam da produção biológica de calor. O processo se caracteriza pela oxidação biológica através do qual os microrganismos decompõem os compostos constituintes dos materiais liberando dióxido de carbono e vapor de água. Entretanto, a disponibilidade de oxigênio, a temperatura que afeta a velocidade das reações bioquímicas, e a água expressa em termos de umidade devem ser mantidos em faixas adequadas, sem as quais não se processam as atividades metabólicas características do processo (RUSSO, 2004).

As agroindústrias, por processarem diferentes produtos de origem animal e vegetal, geram os mais variados resíduos, os quais podem ser submetidos ao processo de compostagem. Esta prática vem sendo largamente utilizada por vários setores agroindustriais, comprovando a eficiência do processo (KIEHL, 2004; COSTA et al., 2005).

A compostagem é uma das técnicas mais antigas empregada no tratamento e reciclagem dos dejetos gerados na produção animal. É geralmente aplicada a resíduos sólidos, porém os resíduos líquidos também podem ser passíveis de compostagem, sendo que para isso se devem alterar as características físicas destes, através de materiais estruturantes e condicionadores como cama de aviário, palha de arroz, serragem e maravalha (VALENTE et al., 2009).

A compostagem aeróbia conjugada, segundo Silva (2007) consiste no tratamento simultâneo de dois ou mais tipos de resíduos sólidos orgânicos com características físico-químicas que se complementam.

Apesar de ser considerado pela maioria dos autores como um processo aeróbio, a compostagem é também referida como um processo biológico de decomposição aeróbia e anaeróbia, sendo realizada em sua quase totalidade por processos aeróbios (OLIVEIRA, 2008). Assim, a decomposição da matéria orgânica pode ocorrer por dois processos: na presença do oxigênio (aeróbio) e na sua ausência (aneróbio). Quando há disponibilidade de oxigênio livre, predominam microorganismos aeróbios, sendo os agentes mais destacados os fungos, bactérias e actinomicetos (BOMBILIO 2005).

Segundo Dores-Silva et al. (2013), a compostagem é um processo de transformação biológica de materiais orgânicos, tais como palha de arroz, café, papel etc., em fertilizantes orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações de natureza bioquímica, promovidas por milhões de microrganismos, presentes no próprio material

ou que nele são adicionados por meio de um pré-inóculo, que utilizam a matéria orgânica in natura como fonte de energia, nutrientes minerais e carbono, promovendo a mineralização de parte do material e a humificação de outra parte.

A metodologia da compostagem consiste em se criar condições e dispor, em local adequado, as matérias-primas ricas em nutrientes orgânicos e minerais, especialmente, que contenham relação C/N favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão, para que sejam digeridas (KIEHL, 2004).

Na construção de uma pilha de compostagem é frequente utilizar uma mistura de materiais ricos em carbono com outros ricos em nitrogênio. Os materiais ricos em carbono fornecem a matéria orgânica e a energia para a compostagem e os materiais nitrogenados aceleram o processo de compostagem, porque o nitrogênio é necessário para o crescimento dos microrganismos. Genericamente, quanto menor é a relação C/N mais rapidamente termina a compostagem. A relação C/N (massa em massa) ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30. Cerca de 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. Sabendo-se que o protoplasma microbiano tem uma relação C/N próxima de 10, mas, para efetuar a síntese de 10 carbonos com um nitrogênio, e assim constituir o seu protoplasma, os microrganismos necessitam de 20 carbonos, aproximadamente, para obter energia (OLIVEIRA, 2008).

Os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem carbono (C) e nitrogênio (N), sendo o tempo necessário para que ocorra a decomposição e a consequente mineralização, governado pela relação entre C e N da matéria-prima. O teor de N dos resíduos a serem decompostos deve ter teoricamente 1,7%, quando o conteúdo é

inferior a esse valor, o tempo de decomposição será maior (KIEHL, 1985).

A eficiência do processo de compostagem depende de fatores físicos, como a temperatura, aeração e umidade e de fatores químicos, como o pH. As condições ambientais são importantes para o desenvolvimento microbiológico durante o processo bem como as características nutricionais do resíduo (GOGARTI, 2001). A temperatura é considerada por muitos pesquisadores como o mais importante indicador da eficiência do processo de compostagem, estando intimamente relacionada com a atividade metabólica dos micro-organismos, a qual é diretamente afetada pela taxa de aeração (LI; ZHANG; PANG, 2008).

A temperatura da pilha é o reflexo da atividade microbiana e permite detectar alterações ocorridas durante o processo. (MEIRA; CAZZONATO e SOARES, 2009). O processo biológico de compostagem tem inicio à temperatura ambiente (situação mesófila), mas com passar do tempo e à medida que a ação microbiana se intensifica a temperatura se eleva, podendo atingir valores em torno de 60°C (situação termófila). Esta fase é importante para a eliminação dos microrganismos patogênicos. Depois que a temperatura atinge este pico inicia-se um processo de abaixamento da temperatura, quando ocorre a produção do composto, chegando a valores próximos de 30°C. (MEIRA; CAZZONATO e SOARES, 2009).

A elevação da temperatura é favorável à degradação dos materiais orgânicos e necessária para a eliminação de microrganismos patogênicos. Assim, a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação de temperatura até 65°C, porém, acima deste valor, o calor limita as populações aptas, havendo o decréscimo da atividade biológica (ANDREOLI, 2001).

Quando a temperatura é menor que a ótima, os processos metabólicos se desenvolvem mais lentamente,

particularmente a hidrólise do material particulado. Sem a hidrólise, o material particulado se acumula no lodo, o que é indesejável. Até certo ponto, pode-se influenciar a temperatura do sistema de tratamento mediante o uso da energia química do metano gerado (ANDREOLI, 2001).

Daí Prá (2006) afirma que a compostagem é um processo estritamente aeróbio. Na compostagem aeróbia ocorre a decomposição dos resíduos orgânicos na presença de oxigênio e por microrganismos aeróbios, sendo caracterizada pela alta temperatura desenvolvida na massa de compostagem, pelo menor tempo de degradação da matéria orgânica e pelas reações de oxigenação e oxidação, havendo a liberação de gás carbônico e água (KIEHL, 2004).

As leiras podem ser aeradas por meio de revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que as camadas externas se misturem as internas que estarão em um estágio de decomposição mais adiantado (KIEHL, 1985).

Na prática da compostagem, a aeração é o fator mais importante a ser considerado, sendo que quanto mais úmidas estiverem as matérias-primas mais deficientes será sua oxigenação, determinando que providências sejam tomadas para reduzir a umidade. No pátio de compostagem a aeração pode ser realizada por revolvimento das leiras, ou por insuflação ou aspiração do ar contido nos vazios da massa. Neste último caso, se o ar for simplesmente insuflado pela base, ao atingir a região superior da leira estará mais frio, causando condensação, diminuição de temperatura e aumento de umidade. Ao contrário, se o ar for aspirado pela parte inferior, a camada úmida e fria se localizará na base da leira (KIEHL, 2004).

Sem o arejamento da biomassa as condições tornam-se anaeróbias, predominando os microrganismos anaeróbios, originando uma acumulação de compostos como ácidos orgânicos voláteis, sulfuretos, etc., caracterizados por odor

agressivo e com elevada fitotoxicidade (CUNHA QUEDA, 1999).

Os fatores umidade e temperatura interagem na compostagem e condicionam a eficiência do processo de aeração. Revolvimentos mais frequentes, com a finalidade de reduzir a umidade, podem levar a uma queda de temperatura da leira a valores indesejáveis, sugerindo que leiras com baixas temperaturas não devem ser revolvidas até que recuperem o calor perdido (KIEHL, 2004).

O teor ótimo de umidade para a compostagem, de modo geral, situa-se entre 50 e 60%. O ajuste da umidade pode ser feito pela criteriosa mistura de componentes ou pela adição de água. Na prática se verifica que o teor de umidade depende também da eficácia da aeração, das características físicas dos resíduos (estrutura, porosidade) (PEREIRA NETO, 1988).

O excesso de umidade diminui a penetração de oxigênio na leira, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas, saturando os seus micro e macroporos (ECOCHEM, 2004). Quando a umidade é excessiva a água ocupe os espaços vazios da massa de compostagem impedindo a passagem do oxigênio, o que poderá causar anaerobiose do meio. Porém, teores de umidade baixos, menores do que 40%, inibem a atividade microbiológica, diminuindo a taxa de estabilização (PEREIRA NETO, 1988).

O processo de compostagem é relativamente pouco sensível ao pH dos substratos de partida. Kiehl (2004) assegura que o pH da massa de compostagem não é, usualmente, um fator crítico no processo, pois se verifica a existência de um fenômeno de autorregulação do pH, efetuado pelos micro-organismos no decorrer do processo. A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa de pH (RODRIGUES et al., 2006).

Na fase inicial do processo o pH geralmente apresenta valor ácido (próximo a 5,0), devido a formação de ácidos orgânicos ou acumulo de ácidos intermediários. O pH ácido na leira de compostagem, também pode indicar a falta de maturação no processo ou ocorrência de anaerobiose no interior da pilha. Após certo período, este se eleva, à medida que os ácidos são metabolizados, tendendo à alcalinidade (7,5 a 9,0) ao fim do processo (TAVARES , 2013).

Segundo Kiehl (2004), a maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus. Esse produto final da decomposição (húmus) é comumente utilizado para fins agrícolas, devendo deter de características físicas e químicas que facilitem o seu uso como fertilizante e/ou condicionador de solos, não podendo conter contaminação com metais pesados ou patógenos, uma vez que, havendo tais contaminantes, somente poderá ser empregado na adubação de plantas ornamentais e flores.

2.4 QUALIDADE DO COMPOSTO

Segundo Kiehl (1985), composto orgânico é definido como todo produto de origem vegetal ou animal que, aplicado ao solo em determinadas quantidades, em épocas e formas adequadas, proporciona melhorias de suas qualidades físicas, químicas e biológicas, podendo atuar como um corretivo da acidez, um complexante de elementos tóxicos e uma fonte de nutrientes as plantas, garantindo a produção de colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ambiente.

As características dos materiais comercializados como fertilizantes devem obedecer às especificações existentes, que dispõem sobre a inspeção e a fiscalização da produção e comércio de fertilizantes e corretivos agrícolas e aprovam normas sobre especificações, garantias e tolerâncias.

De acordo com a legislação brasileira, Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009), o composto final, para estar apto à comercialização de forma legal, deve possuir as seguintes especificações: mínimo de 25,86 % de matéria orgânica total; pH de no mínimo 6,0; mínimo de 0,5 % de nitrogênio total; e mínimo de 1% para os teores de enxofre, cálcio e magnésio. A relação C/N deverá ter valor máximo de 20/1.

Com relação a contaminantes, devem ser utilizados como referência, os valores de limites máximos de contaminantes disponíveis na Instrução Normativa Nº 46, de 6 de outubro de 2011, fornecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

3 HIPÓTESES

1. A compostagem do lodo residual do processamento industrial de carne avícola desenvolve-se plenamente quando a proporção desse resíduo em relação à serragem é mantida entre 35 e 40%.
2. A adição de cama de aviário ou de cinza da queima de biomassa madeireira acelera o processo de compostagem e resulta em composto orgânico de melhor qualidade para fins de adubação.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Determinar combinações adequadas de mistura do lodo de ETE, da indústria de carne avícola, com aditivos condicionadores, como serragem produzida por indústrias madeireiras e cama de aviário, visando a compostagem para neutralização do resíduo e produção de composto orgânico.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 Avaliar a neutralização do lodo de ETE por meio de compostagem com serragem produzida por indústrias madeireiras adicionada de cama de frango e cinzas da queima de biomassa florestal;

2 Caracterizar os compostos produzidos, determinando-se propriedades físicas e químicas e biológicas relacionadas ao uso como fertilizante.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho compreendeu a avaliação, em escala piloto, da compostagem para produção de compostos orgânicos a partir da mistura de lodo residual de ETE, serragem e aditivos em diferentes concentrações. O experimento foi implantado e executado em área da indústria alimentícia Vossko do Brasil, em Lages, SC, durante o período de novembro de 2014 a janeiro de 2015.

Avaliou-se o desempenho de cinco diferentes tratamentos constituídos de combinações (misturas) do lodo residual de ETE, serragem, cama de aves e cinzas, conforme detalhado na Tabela 1, em um ciclo de compostagem. Os tratamentos foram aplicados em três repetições, perfazendo um total de 15 unidades experimentais. .

Tabela 1 –Caracterização dos tratamentos avaliados em ensaio de compostagem

TRATAMENTOS	MISTURAS
L40 / S60	40% lodo + 60% serragem
L35 / S65	35% lodo + 65% serragem
L30 / S70	30% lodo + 70% serragem
L30/S65/CA5	30% lodo + 65% serragem + 5% cama de aves
L30/S60/CZ10	30% lodo + 60% serragem + 10% cinza de caldeira

Fonte: produção do próprio autor (2016).

O lodo empregado foi coletado da saída do decantador da estação de tratamento de efluentes (ETE) da indústria alimentícia Vossko do Brasil S.A. e continha em torno de 90% de umidade. Não foram realizados procedimentos de drenagem

ou secagem do lodo. As características do lodo, da serragem e dos aditivos empregados constam na Tabela 2.

Tabela 2 –Características dos resíduos e aditivos utilizados no processo de compostagem

Resíduo	pH	%H ₂ O	C	N	C/N
---g kg ⁻¹ ---					
Lodo	5,9	89	506	59,1	5,56
Serragem	8,5	40	532	0,8	665
Cama de aviário	7,6	33	232	34,25	6,73
Cinza de caldeira	8,3	19,5	178	3,4	52,4

Fonte: produção do próprio autor (2016)

A serragem utilizada no experimento foi proveniente de madeiras não tratadas da região serrana. A cama de aviário foi proveniente de aviário localizado em Ponte Alta-SC. A cinza foi proveniente da usina termoelétrica de biomassa localizada em Lages.

As unidades experimentais caracterizaram-se por pilhas de misturas de lodo de ETE, serragem e aditivos acondicionadas em composteiras pilotos, dispostas em local coberto. As composteiras foram confeccionadas com painéis isolantes pré-fabricados conforme ilustrado na Figura 01. As dimensões utilizadas para cada composteira foram de 0,904m de largura, 1,0 m de altura e 1,2 m de comprimento, com volume total de aproximadamente 1,0 m³ de mistura inicial depositada dentro de cada composteira.

Figura 1 – Ilustração das caixas de acondicionamento das composteiras pilotos, destacando-se a localização em local coberto



Fonte: produção do próprio autor (2016).

O método de compostagem empregado consistiu na montagem inicial das leiras em camadas sobrepostas de maneira alternada, de lodo de ETE, serragem e aditivo, até obter-se o volume desejado, dentro das composteiras. Posteriormente realizou-se o revolvimento periódico para aeração, realizado com perfuratriz motorizada, com operação manual.

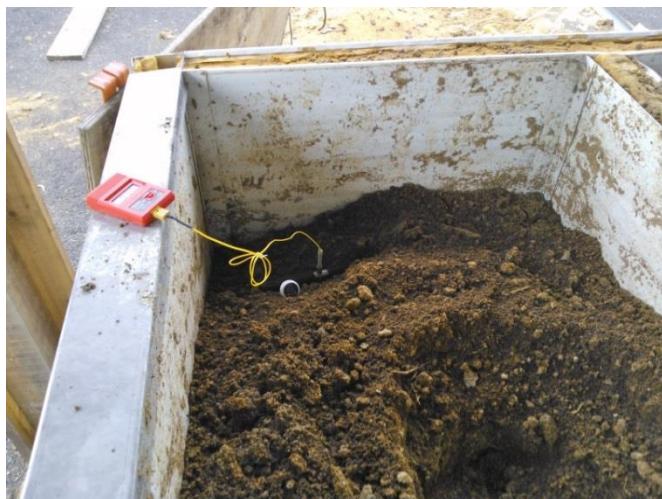
No período inicial da compostagem o revolvimento ocorreu a cada 2 dias, com o decaimento da temperatura passou a ser a cada 4 dias.

5.2 MONITORAMENTO DA LEIRA

Durante a compostagem as leiras receberam um esquema de monitoramento, o qual consistia na determinação periódica da earação, temperatura, umidade e pH.

Na fase termófila, as leiras foram revolvidas três vezes por semana. Posteriormente, com o decaimento da temperatura, na fase mesófila, passaram a ser revolvidas duas vezes por semana. Nas mesmas datas de revolvimento foram realizadas as medições de temperatura, com auxílio de um termômetro eletrônico digital, tendo sido inserida a haste do sensor, de aproximadamente 50 cm de comprimento, na parte central da pilha conforme ilustrado na Figura 02.

Figura 2 - Ilustração do monitoramento de temperatura das pilhas de composto



Fonte: produção do próprio autor (2016).

A umidade foi verificada pelo método visual no local e também através de análise laboratorial. O método visual consiste em constatar se a massa da leira apresenta um aspecto

úmido ou seco, ou se odor desagradável aparente. Esta observação é realizada pegando-se uma pequena porção nas mãos e observando se escorria líquido. Além deste método, semanalmente foi coletado uma amostra de cada caixa e verificada sua umidade em laboratório mediante a secagem em estufa a 105-110 °C até massa constante. Quando necessário foi adicionado água, no momento do revolvimento, com auxílio de mangueira.

O método de compostagem empregado consistiu na montagem inicial das leiras em camadas sobrepostas de maneira alternada, de lodo de ETE, serragem e aditivo, até obter-se o volume desejado, dos dentro das composteiras. Posteriormente realizou-se o revolvimento para aeração periódica, realizada com perfuratriz motorizada, manipulada manualmente.

5.3 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DO COMPOSTO

As amostras para a caracterização do composto foram coletadas no final do experimento, aos 108 dias após a instalação, retirando-se porções de aproximadamente 100g do composto, de cada unidade experimental, mediante quarteações sucessivas do material estabilizado. O material foi então desestruturado e peneirado em peneiras de 2 mm, acondicionado em sacos de polietileno, fechados e identificados, e posteriormente armazenados em câmara fria.

5.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS

No composto obtido após 108 dias da instalação do experimento, foram determinados o pH em água e os teores C orgânico, N, P, K, Ca e também de Fe, Zn, Mn, Cu, As, Cu, Cd, Pb, Cr hexavalente, Cr total, Hg e Ni. O pH foi determinado em potenciômetro, numa suspensão contendo o composto de lodo residual de ETE e água destilada em relação 1:5, respectivamente.

O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkey-Black. Os elementos N, P, K, Ca foram determinados após digestão úmida, com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em bloco digestor, à temperatura de aproximadamente 350° C. O Nitrogênio foi determinado por destilação de amônia em vapor pelo método semi-micro-Kjeldahl. O Fósforo foi determinado por fotometria de chama e o Calcio por espectrofotometria de absorção atômica. Os procedimentos destas análises foram descritos em detalhes por Tedesco et al (1995).

Os elementos Fe, Zn e Mn e os metais pesados: As, Cu, Cd, Pb, Cr hexavalente, Cr total, Hg e Ni foram analisados pelo Laboratório de análises ambientais Freitag, segundo a metodologia PR-Tb-072, Plano de amostragem conforme FP-Tb-129, rev01.

5.5 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

A determinação dos Ovos Viáveis de Helmintos, a Contagem de Coliformes Termotolerantes e a Pesquisa de *Salmonella* spp foram realizadas pelo Laboratório de Análises Ambientais Freitag Ltda. A primeira determinação foi realizada seguindo o método PR-Tb-MB 025 e a segunda, o procedimento do número mais provável foi realizado através do método IN 62 de 26/08/03 – MAPA.

5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos a uma análise estatística de comparação de médias pelo método de Tukey, baseado na amplitude total “estudentizada”, com nível mínimo de significância a 5%.

Os ajustes foram efetuados com o uso do software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011).

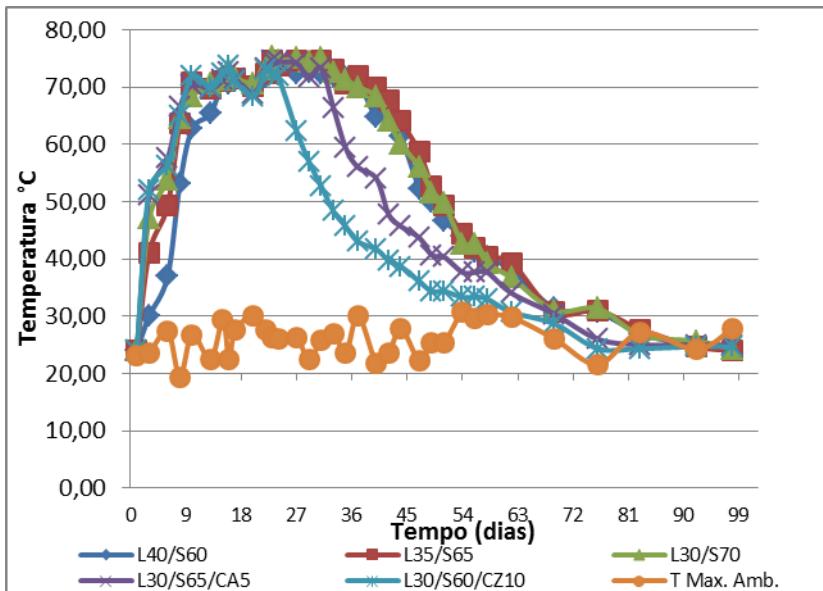
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TEMPERATURA DURANTE A COMPOSTAGEM

Nos dias em que se sucederam a instalação do experimento, a temperatura (T) passou a subir (Figura 3), indicando que a combinação de materiais foi bem sucedida para desenvolver o processo de compostagem.

Na combinação contendo a maior proporção de lodo (40%) retardou a elevação da temperatura em relação aos demais tratamentos. Essa combinação, a T somente ultrapassou 40°C a partir do sétimo dia após a instalação, o que pode ser explicado pelo fato do lodo de ETE ser um material que inicialmente não possibilitou condições de aeração e umidades favoráveis à decomposição acelerada. Estas condições podem ser resultado do alto percentual de umidade do Lodo de ETE, que foi de aproximadamente 90%. Quando a umidade é excessiva há aglutinação de partículas, o que baixa a resistência estrutural da leira, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio (POINCELOT, 1975; WILLSON et al., 1976). Este fato reduz a T da leira que se manteve por mais tempo na faixa mesofílica de 20 a 40°C (POINCELOT, 1975; WILLSON et al., 1976; HUGHES, 1980; DIAZ et al., 1982).

Figura 3 - Temperatura média diária das pilhas de compostagem de lodo de ETE em função do tempo, em 5 diferentes misturas. Médias de três repetições



Fonte: produção do próprio autor (2016).

A Temperatura elevou-se mais rápido nos tratamentos com menor percentual de lodo de ETE, tendo estes tratamentos também atingido valores mais elevados de Temperatura máxima, chegando no vigésimo terceiro dia a temperaturas próximas a 75°C.

Tal fato também pode ser observado no trabalho de BOMBILIO (2005). Em seu estudo foi avaliado a compostagem como método de tratamento de dejetos suíno, e nele se observou que as temperaturas máximas também ocorreram nas leiras com menor percentual de umidade.

Juntamente com as temperaturas medidas nas leiras, também foram registradas as temperaturas da atmosfera no ambiente do local de condução do experimento, conforme se pode verificar na Figura 3, para comparação com a temperatura

das leiras. Essas temperaturas máximas diárias foram coerentes com as registradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e durante o período da pesquisa variaram de 20 a 33°C.

Ainda na Figura 3, pode-se observar que na fase termofílica do experimento houve pequenos decaimentos de temperatura. Estes decaimentos provavelmente resultaram da umidade, pois ocorreram logo após a adição de água para rehidratação das leiras no experimento indicando que nestes momentos a umidade provocou certo arrefecimento. Porém, logo após o revolvimento das leiras observou-se que a temperatura elevou-se novamente. Isto pode ser explicado pelo fato de que ao se revolver as leiras, além da remoção do CO₂ e da combinação do material com o ar atmosférico rico em O₂, é ocasionada a homogeneização da massa em compostagem uniformizando a umidade e distribuindo a comunidade de microorganismos. Também se observou que o revolvimento promove perda de umidade, o que se visualizou pelo intenso desprendimento de vapor d'água durante a realização dessa prática.

Nos tratamentos L40/S60, L35/S65 e L30/S70 a temperatura decresceu para fase mesofílica e estabilização do composto a partir do sexagésimo dia, já nos tratamentos L30/S65/CA5 e L30/S60/CZ10, os que possuíam cama de aviário e cinza de caldeira como aditivos, a T decresceu para fase mesofílica a partir do quinquagésimo e quadragésimo respectivamente. Este decaimento da T indica a redução progressiva na disponibilidade de compostos orgânicos mais simples, facilmente assimiláveis pelos microorganismos, devido ao consumo de tais componentes pela intensa atividade microbiana que se estabeleceu a partir do início da compostagem (KIEHL,2004).

A partir do octogésimo dia, a T de todos os tratamentos estabilizou-se em valores em torno de 20 a 30 °C, próximo da temperatura ambiente. Este comportamento da temperatura

reflete a fase de cura ou de estabilização do processo de compostagem. Do septuagésimo terceiro dia em diante, as temperaturas mantiveram-se sem variação significativa.

Comparando os resultados obtidos com o observado por Silva (2007), que apresenta como valor médio ideal nos processos de compostagem, a temperatura de 55°C, verifica-se que a melhor média foi registrada nas misturas sem aditivos, L40/S60, L35/S65 e L30/S70, as quais registraram valores médios próximos a 55°C.

As maiores médias de temperatura foram registradas nas misturas L35/S65 e L30/S70, bem como a temperatura máxima registrada a qual foi de 75,3°C valor próximo ao encontrado por Silva (2007) em estudo semelhante.

A variação da temperatura das leiras de compostagem em função do tempo ocorreu em conformidade com o observado na literatura, em trabalho também semelhante realizado por Sunada (2011). Porém, em trabalhos também semelhantes realizados por Queiroz (2007), Piana (2009), Gogarti (2001) e Andreolli et al. (2002), a temperatura passou a se estabilizar em no máximo 30 dias.

Pode-se observar na Figura 3 que a variação na temperatura da compostagem se divide em três fases distintas. O primeiro é momento inicial do processo, logo nos primeiros dias, no qual a temperatura média atingiu valores mais elevados, indicando maior atividade microbiana, e confirmando os resultados relatados por Bombilio (2005), Queiroz (2007) e Sunada (2011).

O segundo período é no qual a temperatura apresenta uma queda e se inicia a fase mesófila do processo. Neste momento a temperatura passou a se estabelecer abaixo de 65°C, retratando a redução da atividade microbiana e a consequente progressiva maturação do material.

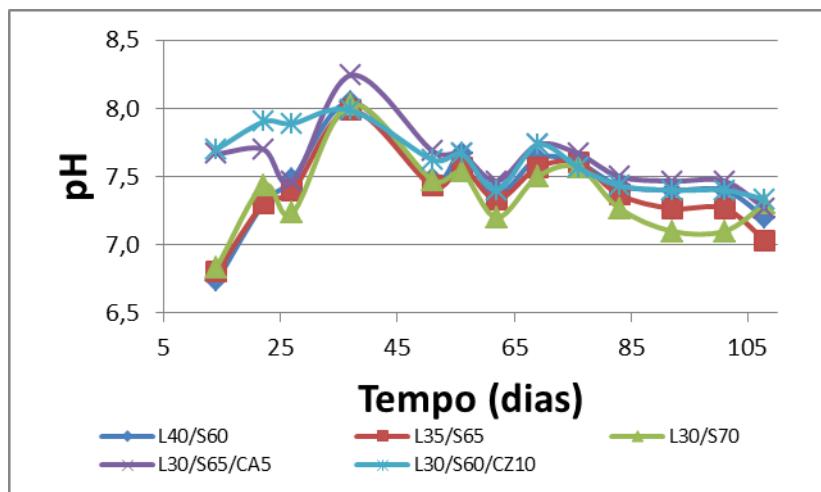
No terceiro período notou-se que a temperatura atinge valores semelhantes à T do ambiente, permanecendo

relativamente estável e indicando a cura ou estabilização final do material.

6.2 ÍNDICE pH

Como pode se visualizar na figura 4, em todos os cinco tratamentos a evolução do pH esteve dentro dos limites de 5,5 e 8,5, considerados favoráveis a atividade microbiológica (Rodrigues et al., 2006).

Figura 4 - Valores de pH médio diário das pilhas de compostagem de lodo de ETE em função do tempo, em 5 diferentes misturas. Médias de três repetições



Obs.: L40/S60= 40% lodo + 60% serragem, L35/S65= 35% lodo + 65% serragem, L30 / S70= 30% lodo + 70% serragem, L30/S65/CA5= 30% lodo + 65% serragem + 5% cama de aves, e, L30/S60/CZ10= 30% lodo + 60% serragem + 10% cinza de caldeira.

Fonte: produção do próprio autor (2016).

Observa-se que nos compostos obtidos, independentemente mistura utilizada, os valores finais de pH encontrados estão acima da neutralidade, característica dos compostos estabilizados. Costa et al 2005, utilizou diferentes

tipos de resíduo em seu trabalho e também obteve valores de pH na faixa alcalina. Fialho et al (2005) afirma que a compostagem conduz à formação de matéria húmica com reação alcalina, muito embora ao final do processo, esse parâmetro deva situar-se sempre na faixa de 7,0 a 8,5.

As misturas com aditivos (L30/S65/CA5 e L30/S60/CZ10), apresentam níveis de pH mais elevados quando comparados as outras misturas. O que o pode ter acarretado neste diferencial de pH entre as misturas com e sem aditivos é o teor de umidade das leiras. Quanto maior o percentual de lodo nas leiras, maior foi o percentual de umidade das mesmas. Bombilio (2005) observou que os tratamentos com maiores níveis de umidade obtiveram valores menores de pH durante o processo de compostagem. Isto pode ser uma indicação de que o processo está sofrendo certo retardamento de compostagem devido ao acúmulo de água, dificultando a atividade microbiana aeróbia, mantendo valores mais elevados de ácidos orgânicos por períodos mais longos que nos compostos oxigenados.

Observa-se que do vigésimo segundo dia ao vigésimo sétimo dia do processo de compostagem há uma queda nos valores de pH, manifestando efeito acidificante. Isto pode ocorrer pela formação de ácidos orgânicos como subprodutos resultantes da degradação da matéria orgânica, conforme já observado em trabalho anterior (KIEHL, 2004). Porém, os valores do pH do composto se elevaram novamente, à medida que o processo se desenvolveu, e se estabilizaram em faixa levemente básica, próxima aos valores iniciais. Isto confirma o que Kiehl (1990) afirma que os ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina.

As misturas compostas apenas por lodo e serragem, (L40/S60, L35/S65 e L30/S70), apresentaram na fase inicial da decomposição valores de pH próximos a neutralidade. Já as possuidoras de aditivos, apresentaram na fase inicial valores

levemente básicos próximos a 7,5. Todas as misturas atingiram valores próximos a 8,0 durante a fase termófila, e por volta do octogésimo dia após o início do processo, os valores de pH de todas as misturas obtiveram neutralidade, mantendo-se constante em valores entre 7 e 7,5. Estes resultados mantiveram-se dentro da normalidade e coincidem com os observados por Andreoli (2002).

6.3 CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO FINAL

6.3.1 pH, C e N

Os valores de pH, e os teores de carbono, nitrogênio total e C/N no composto produzido estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de pH e teores de carbono orgânico, nitrogênio total e relação C/N em composto obtido aos 108 dias após o inicio da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos

TRATAMENTO	pH	C	N _{total}	C/N	
				Inicial	C/N Final
-----g kg ⁻¹ -----					
L40/S60	7,4ab	351,9ab	5,92a	22	65,98a
L35/S65	7,4a	350,20a	6,77a	24	47,85a
L30/S70	7,4a	359,00b	6,70a	29	58,07a
L30/S65/CA5	7,6b	354,70ab	6,20a	25	48,35a
L30/S60/CZ10	7,6b	354,90ab	6,66a	26	58,54a

Obs.: letras seguidas de letras diferentes nas vertical, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: produção do próprio autor (2016).

O pH do composto ao final dos 108 dias de duração do experimento teve valor de 7,35 a 7,44 nas misturas compostas apenas com lodo e serragem. Já nos tratamentos de misturas que incluíram os aditivos cama de aves e cinza, o valor situou-se de 7,62 a 7,63. Esses resultados são consoantes com o que Kiehl (2004) afirma o que promove reações de oxidação e, conduzindo o substrato a ter no final um pH próximo de 7,0. Não houve efeito significativo dos sistemas de mistura no pH do composto final.

Confirmando o que já foi visualizado durante o processo de compostagem, os tratamentos com maiores níveis de umidade obtiveram valores menores de pH. Isto novamente pode ser explicado por certo retardamento no processo de compostagem devido ao acumulo de água, o que dificultou a atividade microbiana aeróbia, mantendo os níveis de ácidos orgânicos mais elevados por um período mais longo dos que os compostos menos úmidos e mais oxigenados.

Confirmando o que Silva (2007) visualizou em experimento semelhante, os tratamentos com aditivos apresentam valores finais mais elevados de pH. Porém, ao final do experimento foi constatado pH alcalino em todas as leiras, confirmando o que já foi observado em estudo semelhante realizado por Fritsth (2005), que mesmo com altos teores de umidade, o pH não é um fator crítico no processo, tendendo a permanecer na faixa alcalina. Os valores finais de pH também coincidem com valores encontrados por Andreoli (2002) e Bombilio (2005).

No presente trabalho, houve uma pequena variação no teor de C orgânico entre os tratamentos. Os teores de C orgânico do composto produzido nos diversos tratamentos apresentaram valores que variaram de 350 a 359 g kg⁻¹ (Tabela 3). Tal variação pode ser explicada pela pequena diferença no percentual de lodo nas misturas dos tratamentos, já que esse componente apresentou teor de C menor que a serragem.

Assim, onde a proporção de serragem foi maior, o composto final também apresentou maior teor desse elemento.

Os teores de nitrogênio total no composto produzido também estão apresentados na Tabela 5. Observou-se valores situados em torno de 6 g kg⁻¹, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos. Este teor de nitrogênio encontra-se acima do limite exigido para a utilização do composto como fertilizante orgânico, porém encontra-se abaixo de valores encontrados em outros trabalhos.

Graepin et al. (2014), estudou composições de compostagem, as quais incluíam lodo de abatedouro avícola, serragem, composto bacteriano e calcário. Os resultados obtidos de nitrogênio para o lodo de abatedouro foi de 14,59g/kg para o tratamento com bactéria, e 8,68 para o tratamento de calcário. Já Texeira (2012) encontrou valores bem próximos a 6g/kg, onde efetuaram a higienização de lodo de esgoto através de técnicas de compostagem.

Este baixo valor de nitrogênio encontrado pode estar relacionado com a volatilização desse nutriente em função do aumento da temperatura durante o processo de compostagem. Segundo Kiehl (1985), a elevação de temperatura a níveis acima ou próximos a 70°C, podem agravar ainda mais as perdas de nitrogênio amoniacal.

Pagans et al. (2006) também associaram as perdas de amônia ocorridas em seu trabalho com o aumento da temperatura na fase termofílica do processo. Os autores explicam que, na fase inicial do processo ocorre grande degradação de compostos orgânicos facilmente biodegradáveis com alto teor de N, causando a liberação do gás de amônia, o qual é exponencialmente dependente da temperatura.

Este parâmetro também pode estar associado devido ao fato de que as leiras foram compostas em maior proporção pela serragem, material com elevado percentual de carbono e baixo percentual de nitrogênio, o que se pode ver na Tabela 2.

Outra influência no baixo teor de nitrogênio total está interligada ao alto percentual de umidade do lodo utilizado, pois isto faz com que o mesmo tenha menos participação nas misturas. Estes teores poderiam ser mais elevados se o lodo de ETE fosse mais seco e consequentemente tivesse maior participação nas misturas.

A relação C/N é um dos principais parâmetros, a ser observado na técnica da compostagem. Na Tabela 3, verifica-se que os valores encontrados para a relação C/N foram semelhantes entre os tratamentos. Os valores finais encontrados situaram-se entre 47,9 e 66,0, podendo ser estes considerados acima dos valores adequados para a agricultura. Segundo Kiehl (2002), a relação C/N de 25 a 30 é a mais adequada para o início do processo e valor inferior a 18 é adequada para a boa qualidade do composto final.

Estes valores encontrados são superiores aos observados por Fialho et al (2005), que encontrou valores de C/N entre 15 e 38, para compostos orgânicos produzidos a partir de diferentes resíduos orgânicos.

A C/N final alta pode ser explicada pelo fato de que o lodo por ser muito úmido teve uma participação limitada no processo de compostagem. Além disto, esse parâmetro pode ser associado também ao fato de que as leiras foram compostas por materiais com elevados percentuais de carbono quando comparados aos percentuais de nitrogênio, o que se pode ver na Tabela 2 e na Tabela 3.

De acordo com a classificação do composto apresentado por Zucconi e Bertoldo (1991 citados por KIEHL, 2004), o material obtido neste estudo pode ser classificado como “Composto imaturo”, cujas características são: matéria-orgânica que já entrou em degradação parcial, desenvolveu temperatura mesófila mas ainda não pode ser considerada curada, devido à alta relação C/N e outros parâmetros que identificam um composto semi-curado.

6.3.2 P, K, Ca e Mg

Os teores totais observados para os nutrientes P, K, Ca e Mg no composto final estão registrados na Tabela 4. Constatou-se ausência de diferenças significativas na concentração destes elementos, o que não era esperado, pois houve variação na concentração entre tratamentos.

Tabela 4 –Teores totais P, K e Ca em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos

TRATAMENTOS	P	K	Ca	Mg
-----g kg ⁻¹ -----				
L40/S60	11,1a	13,0a	11,0a	7,1a
L35/S65	13,0a	14,0a	9,0a	6,3a
L30/S70	11,0a	15,0a	11,0a	6,4a
L30/S65/CA5	11,0a	14,0a	11,0a	6,8a
L30/S60/CZ10	11,0a	15,0a	11,0a	6,6a

Médias seguidas distintas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: produção do próprio autor (2016).

Os valores de fósforo oscilaram entre 11 a 13 g kg⁻¹, sendo superiores aos teores encontrados na literatura por Silva (2007), o que pode ser explicado pelo fato do lodo utilizado na compostagem ser de indústria avícola e consequentemente ser rico neste nutriente.

A concentração de potássio situou-se entre 13 e 15 g kg⁻¹, valores que podem ser considerados baixos, comparando-os com teores de 28,7 g kg⁻¹, encontrados por Silva (2007). O que pode ter sido acarretado por perdas de chorume, visto que o potássio prevalece nas formas solúveis.

Os teores de cálcio oscilaram entre 9 e 11 g kg⁻¹. Os valores observados neste trabalho também foram inferiores aos teores de citados por Silva (2007). A perda de chorume durante

o experimento, certamente, promoveu remoção de elementos minerais dissolvidos ou em suspensão, o que explica os baixos valores encontrados neste trabalho.

6.3.3 Metais pesados

Quanto aos valores observados de metais pesados, conforme pode-se visualizar na Tabela 5, nenhum parâmetro ultrapassou o limite máximo permitido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária na instrução normativa 046.

Tabela 5 –Teores totais metais pesados em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos

TRATAMENTO	Hg	Pb	Cr VI	As	Cd
-----mg kg ⁻¹ -----					
L40/S60	<0,001	0,698	<0,056	<0,008	0,040
L35/S65	-----	-----	-----	-----	-----
L30/S70	-----	-----	-----	-----	-----
L30/S65/CA5	<0,001	1,760	<0,056	0,540	0,099
L30/S60/CZ10	<0,001	0,516	<0,056	0,099	0,040

Dados obtidos através de analise do laboratório Freitag.

Fonte: produção do próprio autor (2016).

De forma geral, através dos resultados verifica-se que o composto final é um material com baixas quantidades de metais pesados. Isto se deve principalmente ao fato do lodo utilizado na compostagem ser de fonte de agroindústria avícola, não tendo possíveis contaminações.

6.3.4 Atributos biológicos

Tabela 6 – Atributos biológicos em composto obtido aos 108 dias após o início da compostagem de lodo de ETE em 5 diferentes tratamentos

TRATAMENTO:	Coliformes	Ovos Viáveis de Pesquisa de <i>Salmonell</i> a spp	
	Termotolerantes (UFC/g)	Helmintos (cel/g)	
-----g kg ⁻¹ -----			
L40/S60	<1,0x10 ¹	Ausência	Ausência
L35/S65	-----	-----	-----
L30/S70	-----	-----	-----
L30/S65/CA5	<1,0x10 ¹	Ausência	Ausência
L30/S60/CZ10	<1,0x10 ¹	Ausência	Ausência

Dados obtidos através de análise do laboratório Freitag.

Fonte: produção do próprio autor(2016).

Como pode ser visualizado na tabela 6 o composto final apresentou ausência de Ovos Viáveis de Helmintos (cel/g) e Pesquisa de *Salmonella* spp o que já era esperado, pois durante o processo as temperaturas atingiram valores acima de 70°C, que são suficientes para eliminar estes patógenos, desde que o tempo de exposição seja maior que 60 minutos. Pelos dados disponíveis na literatura, a temperatura de 60°C alia boa eficiência de eliminação de patógenos à alta taxa de biodegradação da matéria orgânica.

Para fins de comparação Andreolli (2001) e Moretti (2013), observaram a evolução de inviabilização de ovos de helmintos e *Salmonella* após a técnica de compostagem aerada. Andreolli relata que, os ovos de helmintos são um dos maiores riscos ligados à utilização agrícola do lodo. Já no estudo realizado por Teixeira (2012), das cinco amostras analisadas uma apresentou resultado positivo para *Salmonella*. O autor sugere que a amostragem da análise positiva possa ter ocorrido em algum ponto em que a temperatura não tenha alcançado as temperaturas termofílicas.

Com relação aos Coliformes Termotolerantes (UFC/g) os valores dentro do permitido pela Legislação, que são de 100 mg kg⁻¹. Este resultado já era esperado, pois como falado anteriormente o processo atingiu valores de temperatura suficiente para eliminar estes patógenos. É muito importante que se procure adaptar a compostagem ao lodo de ETE, de forma que se alcance uma eficiência de 100% na eliminação deste patógeno.

Portanto, observamos que as elevadas temperaturas alcançadas durante o processo de compostagem do material podem ter reduzido de forma significativa a quantidade de microorganismos patogênicos. Esta redução é de grande importância, uma vez que o produto final terá como destino o retorno ao solo na forma de fertilizante orgânico.

Ao se comparar os resultados de Ovos Viáveis de Helmintos (cel/g), Pesquisa de *Salmonella* spp e Coliformes Termo tolerantes (UFC/g) com a Instrução Normativa 046, se observa que o material pode ser classificado como um possível fertilizante orgânico, uma vez que as amostras apresentaram resultado dentro do permitido pela Normativa.

7 CONCLUSÕES

- a) O lodo da ETE da indústria de processamento de carnes de aves combinado com resíduo de madeira adapta-se à estabilização pelo processo de compostagem.
- b) O processo de compostagem teve inicio após a formação das pilhas, mas a velocidade de aquecimento foi menor nos tratamentos com maior proporção de lodo, devido as condições de umidade que não eram adequadas para o processo.
- c) As pilhas de compostagem com aditivos apresentaram elevação mais rápida das temperaturas do que as demais misturas do processo.
- d) A compostagem de lodo de ETE é viável e satisfatória, porém, quando submetida a altos valores de umidade torna-se lenta.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo compreendeu uma primeira avaliação na área da compostagem de lodo de efluente do processamento industrial de carne avícola, indicando-se que novas avaliações sejam realizadas para poder, especialmente visando comparar os resultados com outros materiais condicionadores e aditivos.

Outras proporções de materiais e misturas, incluindo-se aditivos melhoradores do processo de compostagem deverão ser testados, devendo-se testar também o processo após a redução de umidade do lodo em leitos de secagem.

REFERENCIAS

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Curitiba, PR. PROSAB, 2001. 273p.

ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento. **Anais FERTBIO 2002**, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:
http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/Compostagem-Fertbio.pdf. Acesso em: 01 de Junho de 2016

BARBOSA, G.M de C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.4, p.565-580, out./dez. 2006.

BOMBILIO, D. C. **Compostagem de esterco suíno em cinco teores de umidade e três sistemas de aeração.** Dissertação de Mestrado. Lages, SC, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2005. 61p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25**, de 23 de julho de 2009. Anexo III. 2009.

CAMPOS, A. L. O.; BLUNDI, C. E. Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações. 2011. Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São

Carlos – SP. Disponível em:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/brares056.pdf>
. Acesso em: 21 de Março de 2016.

COSTA, L. A. de. M. Adubação orgânica na cultura do milho: parâmetros fitométricos e químicos. Tese de Doutorado. Botucatu. Universidade Estadual Paulista, 2005. 133p.

COSTA, M. S. S. de M. et al. Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Associação Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 540-548, 2005.

CUNHA QUEDA, A. C. F. Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Tese de Doutorado. Lisboa. Universidade Técnica de Lisboa, 1999. 257p.

DAÍ PRÁ, M. A. Desenvolvimento de um sistema de compostagem para o tratamento de dejetos de suínos. Dissertação de Mestrado. Pelotas. Universidade Federal de Pelotas, 2006. 155p.

DIAZ et al. “Preparation of MSW for Composting”. **The J.G. Press**, Emmaus, p. 95-106, 1982.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Quimica Nova**, v. 36, n. 5, p.640-645, 2012.

ECOCHEM. Composting process. 2004. Disponível em <http://www.Ecochem.com/t_compost_faq2.html>. Acesso em: 22 de maio de 2016.

FERNANDES, F; SILVA, M. C. P. **Manual prático para a compostagem de Biossólidos.** Londrina . PROSAB , 1996. 91p.

FERNANDES, P.A.L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação de Mestrado. Coimbra. Universidade de Coimbra, 1999. 128p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponible en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>. Acessado em 10 de novembro de 2015.

FIALHO, L. L. **Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos.** Relatório Técnico. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005.

FRITSCH, P.R.C. **Gestão integrada de Resíduos Sólidos, uma ação de Saúde Pública.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; Campo Grande/MS; 2005.

GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - sp: compostagem e impacto ambiental.** Tese de Doutorado. Botucatu. Universidade Estadual Paulista, 2001. 82p.

GRAEPIN, C. et al. Compostagem como Alternativa de Destinação para o Lodo Flotado de Abatedouro de Frango, **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v.13, n.5, p.4011-4018, 2014.

HUGHES, E.G. The Composting of Municipal Wastes – in **Handbook of Organic Waste Conversion**, Edit. Michael WM Bewick, Van Nostrand Reinhold, Env. Engrs. Series (1980)

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

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ºEd. Piracicaba, 2004. 173 p.

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

LI, X.; ZHANG, R.; PANG, Y. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. **Bioresource Technology**, v.99, p.359-367, 2008.

LOPES, J. C. et al. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 143-147, 2005.

MEIRA, A. M.; CAZZONATTO, A. C.; SOARES, C. A. **Manual básico de compostagem – série: conhecendo os resíduos**. Piracicaba, USP Recicla, 2003. 15p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 46, de 6 de outubro de 2011.

Disponível em:

https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/SistemaOrganicoCultivoBanana_2ed/anexos.htm. Acesso em: 31 de maio de 2016.

MORETTI, S.M.L. **Uso de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto com poda de árvore na cultura de cana-de**

açúcar. Dissertação de Mestrado. Piracicaba. Universidade de São Paulo, 2013. 114p.

NOGUEIRA, T. A. R. et al. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 122-131, 2006.

NUCCI, N. L. R.; COSTA SILVA, R. J.; ARAÚJO, J. L. B. Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo. **Fundação Prefeito Faria Lima - Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal,** São Paulo, 1978. 70p.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem.** Curso de Solos e Nutrição de Plantas, USP, Piracicaba, 2008.

Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf>. Acessado em 16 de fevereiro de 2016.

ORLANDO FILHO, J. et al. Efeitos da aplicação prolongada de vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar. Estudo exploratório. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos,** v.1, p.28-33, 1983.

PAGANS, E. et al. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependecy on process temperature. **Chemosphere**, v.62, p.1534-1542, 2006.

PEDROZA, M.M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato.** v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.

PEREIRA NETO, J. T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. **Engenh. Sanit.**, v. 27, 148-152, 1988.

PIANA, M.G. **Higienização de lodo de estações de tratamento de esgoto por compostagem termofílica.** Trabalho de conclusão de curso de Agronomia. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 60p.

PINOTTI, R. N. **Análise comparativa dos mecanismos de governança das redes agroindustriais avícolas da macrorregião de Ribeirão Preto – SP e de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos, 2005. 176p.

PINOTTI, R. N.; PAULILLO, L. F. O. A estruturação da rede de empresas processadoras de aves no Estado de Santa Catarina: governança contratual e dependência de recursos. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 167-177, 2006 . Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2006000100015&lng=en&nrm=iso. Acesso em 16 Abril 2016.

POGGIANI, F. et al. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. **Embrapa Meio Ambiente**, p. 163-177, 2000.

POINCELOT, 1975: “The Biochemistry and Methodology of Composting”. **Com. Agr. Exp. Sta. Bull.** vol. 754, 38 p.

PREZOTTO, M. E. M. Química ambiental e agronomia. Simpósio – O solo como meio de descarte e degradação de

resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. **Anais.** Campinas: Fundação Cargill, 1992. 21p.

QUEIROZ, F.F. Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina. Dissertação de Mestrado. Londrina. Universidade Estadual de Londrina, 2007. 66p.

RODRIGUES, M. S. et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria.** Botucatu: FEPAF, p.63-94, 2006. 319p.

RUSSO, M. A. T. Introdução à compostagem de resíduos sólidos. **Escola Superior de tecnologia e Gestão,** Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, 2004, 81p.

SILVA, L. N. Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais. Dissertação de Mestrado. Cascavel. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007. 70p.

SILVA, O. J. Caracterização do potencial energético e estudo físico-químico do lodo da estação de tratamento de esgoto do DMAE-Uberlândia-MG. Dissertação de Mestrado em Química. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia, 2011. 81p.

SOARES, M. R. Coeficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2004. 214p.

SUNADA, N. da S. Efluente de abatedouro avícola: processos de biodigestão anaeróbia e compostagem.

Dissertação de Mestrado. Dourados. Universidade Federal da Grande Dourados, 2011. 87p.

TAVARES, G. F. Fatores que influenciam o processo de compostagem. UFMT, 2013.

Disponível em:

<https://pt.scribd.com/doc/56876462/FATORES-QUE-INFLUENCIAM-O-PROCESSO-DE-COMPOSTAGEM-FINAL> Acessado em: 15 de fevereiro de 2016.

TEXEIRA, C. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola.** Dissertação de Mestrado. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 143p.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF.

Relatório anual. Disponível em:

<<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/732e67e684103de4a2117dda9ddd280a.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.** 58 (R), p 59-85. 2009.

VAN HAANDEL, A. C.; ALÉM SOBRINHO, P. Produção, composição e constituição de lodo de esgoto. In ANDREOLI, C. V. (coord.) (Projeto PROSAB) Alternativas de uso de resíduos do saneamento; **Biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 2006; 417p.

ZUCONNI, F. et al. Biological evalution af compost maturity. **Biocycle**, n 4, p 27-29, 1981.

WILLSON et al., "Recent Advances in Compost Technology".
In: **Sludge Management, Disposal and Utilization,**
Information Transfer. Inc. Rockville, MD. p. 167. 1976.

APÊNDICES

Apêndice A – Temperatura no interior de pilhas de compostagem constituídas por diferentes proporções de lodo de efluente do processamento industrial de carne, com serragem e aditivos no período de 9 a 108 s após o início do processo. Médias de 3 repetições.

Dias após o início do processo	Tratamento ⁽¹⁾				
	L40/S60	L35/S65	L30/S70	L30/S65/CA5	L30/S60/CZ10
-----TEMPERATURA °C-----					
9	44,0a	49,6a	49,0a	64,0a	62,0a
11	49,0a	56,0a	59,0a	69,0a	67,0a
13	62,0a	69,0a	65,0a	73,0a	71,0a
15	65,0a	70,0a	72,0a	69,0a	72,0a
17	73,0a	71,6a	71,0a	71,0a	73,0a
19	69,0a	71,0a	73,0a	73,0a	75,0a
21	70,0a	71,9a	70,0a	72,0a	72,0a
23	65,0a	70,2a	67,0a	71,0a	71,0a
25	70,0a	72,0a	72,0a	71,0a	73,3a
27	72,0a	75,0a	74,0a	72,0a	70a
29	72,0a	73,0a	74,0a	74,0a	71,0a
31	72,0a	73,0a	74,0a	74,0a	71,0a
33	72,0a	74,0a	74,0a	74,0a	59,0a
35	72,0a	74,0a	74,0a	74,0a	59,0a
37	71,0a	74,0a	75,0a	74,0a	54,0a
39	70,0a	74,0a	74,0a	73,0a	46,0a
41	70,0a	72,0a	72,0a	69,0a	42,0a
43	69,0a	72,0a	74,0a	63,1a	43,0a
45	69,0a	72,0a	72,0a	62,1a	40,0a
47	62,0a	71,0a	71,0a	59,4a	40,0a

49	65,0a	69,0a	63,0a	52,0a	38,0a
51	65,0a	69,0a	63,0a	52,2a	38,0a
53	53,0a	62,0a	59,0a	50,0a	35,0a
55	52,0a	55,0a	54,0a	45,0a	33,0a
57	45,0a	48,0a	49,0a	44,2a	33,0a
59	40,0a	43,0a	44,0a	40,6a	33,0a
61	38,0a	45,0a	42,0a	39,5a	33,0a
63	40,0a	42,0a	41,0a	39,0a	33,0a
70	37,0a	43,0a	31,0a	36,0a	31,0a
77	30,0a	33,0a	32,0a	31,0a	29,0a
84	29,0a	32,0a	30,0a	26,0a	25,0a
91	24,0a	27,0a	27,0a	26,0a	26,0a
98	25,0a	25,0a	26,0a	26,04	26,0a
106	24,0a	23,0a	24,0a	25,0a	25,0a
108	24,0a	23,0a	24,0a	24,0a	25,0a

L40/S60= 40% lodo + 60% serragem, L35/S65= 35% lodo + 65% serragem,
 L30 / S70= 30% lodo + 70% serragem, L30/S65/CA5= 30% lodo + 65% serragem + 5% cama de aves, e, L30/S60/CZ10= 30% lodo + 60% serragem + 10% cinza de caldeira.

Obs.: letras seguidas de letras diferentes na horizontal, diferem pelo teste de Tukey a 5%

Fonte: produção do próprio autor (2016)

Apêndice B – Valores de pH das pilhas de compostagem constituídas por diferentes proporções de lodo de efluente do processamento industrial de carne, com serragem e aditivos no período de 14 a 108 dias após o início do processo. Médias de 3 repetições.

Dias após o início do processo	Tratamento ⁽¹⁾				
	L40/S60	L35/S65	L30/S70	L30/S65/CA5	L30/S60/CZ10
-----TEMPERATURA °C-----					
14	6,8a	6,4a	6,3a	7,7a	7,7a
21	7,3a	7,3a	7,5a	7,8a	8,0a
28	7,4a	7,5a	7,3a	7,7a	8,1a
35	8,0a	8,1a	8,0a	8,3a	8,0a
42	7,5ab	7,5ab	7,4a	7,9b	7,6ab
49	7,6a	7,6a	7,5a	7,8a	7,7a
56	7,4ab	7,3ab	7,2a	7,6a	7,5ab
63	7,7a	7,6a	7,5a	7,9a	7,7a
70	7,6a	7,6a	7,6a	7,8b	7,6a
77	7,4ab	7,2a	7,3ab	7,7b	7,5ab
84	7,5a	7,2a	7,1a	7,7a	7,4a
91	7,5a	7,2a	7,1a	7,7a	7,4a
98	7,0a	7,1a	7,4a	7,4a	7,4a
108	7,2a	7,0a	7,3a	7,4a	7,4a

L40/S60= 40% lodo + 60% serragem, L35/S65= 35% lodo + 65% serragem, L30 / S70= 30% lodo + 70% serragem, L30/S65/CA5= 30% lodo + 65% serragem + 5% cama de aves, e, L30/S60/CZ10= 30% lodo + 60% serragem + 10% cinza de caldeira.

Obs.: letras seguidas de letras diferentes na horizontal, diferem pelo teste de Tukey a 5%

Fonte: produção do próprio autor (2016)