

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - *CAMPUS* DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DO PÁTIO DE  
COMPOSTAGEM E DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS**

**PLÍNIO EMANOEL RODRIGUES SILVA**

**CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL**  
**FEVEREIRO - 2017**

**PLÍNIO EMANOEL RODRIGUES SILVA**

**QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DO PÁTIO DE  
COMPOSTAGEM E DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

**CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Sistema de Bibliotecas – UNIOESTE)

S582q Silva, Plínio Emanuel Rodrigues.  
Qualidade do composto orgânico em função da cobertura do pátio de compostagem e da frequência de revolvimentos / Plínio Emanuel Rodrigues Silva. --- Cascavel (PR), 2017.  
50f.: il.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2017.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.  
Inclui bibliografia

1. Frango de corte. 2. Resíduos agrícolas. 3. Compostagem. 4. Compostos orgânicos - Estabilidade. I. Costa, Mônica Sarolli Silva de Mendonça. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 628.7466

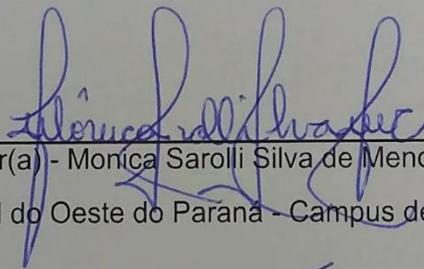
Rosângela A. A. Silva – CRB 9<sup>ª</sup>/1810

Revisões de Normas, Língua Portuguesa e Língua Inglesa realizadas por Dhandara Capitani em 19/05/2017.

## PLÍNIO EMANOEL RODRIGUES SILVA

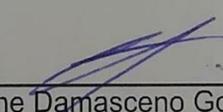
Qualidade do Composto Orgânico em Função da Cobertura do Pátio de Compostagem e da Frequência de Revolvimentos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Moníca Sarolli Silva de Mendonça Costa

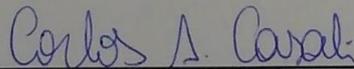
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



---

Simone Damasceno Gomes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Alberto Casali

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos

Cascavel, 20 de fevereiro de 2017

## BIOGRAFIA

**Plínio Emanuel Rodrigues Silva** – Filho de Margareth Rodrigues da Silva e João Luiz da Silva, nasceu em 14 de setembro de 1992 e é natural da cidade de Brasília de Minas, Minas Gerais. Em 2010 ingressou no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), *campus* de Montes Claros. Durante a graduação trabalhou como bolsista em projetos de extensão que atendiam os produtores de leite da região Norte de Minas. Trabalhou também como monitor voluntário nas disciplinas de Estatística Experimental, Hidrologia, Hidráulica e Tratamento de Resíduos. Em 2014 concluiu a graduação, e em 2015 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

*“Há três métodos para ganhar sabedoria:  
primeiro, por reflexão, que é o mais nobre;  
segundo, por imitação, que é o mais fácil;  
e terceiro, por experiência, que é o mais amargo.”*  
– Confúcio

Dedico essa dissertação aos meus pais, João Luiz e Margareth,  
às minhas irmãs Anissa, Nathália e Ana Luísa  
e aos meus amigos  
pelo carinho, a compreensão e o apoio  
na concretização desse sonho.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por todas as bênçãos e graças que me concede diariamente e por ser o meu conforto nas horas de dificuldade;

À minha família: meus pais João Luiz e Margareth, minhas irmãs Anissa, Nathália e Ana Luísa, pelas orações, a paciência, o carinho e o apoio. Obrigado por sempre acreditarem em mim e no meu potencial e por compreenderem a minha ausência;

À professora Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa por todo conhecimento transmitido e pelos ensinamentos e orientações que contribuíram não só para o meu crescimento intelectual, como também o pessoal e profissional. Obrigado pela compreensão, pelo carinho, paciência e confiança;

Aos colegas do Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais: professor Mendonça, Fran T., Higor, Dércio, Leocir, Darci, Leonardo, Wolfgang, Marcos Rozatti, Maico, Felipe e Rosana. Obrigado por toda a ajuda na condução do experimento e nas análises, pela paciência ao me ensinar as análises e pelos momentos de descontração. Tenho certeza que fiz grandes amizades trabalhando com vocês;

Aos colegas e amigos do PGEAGRI, especialmente a Tamiris, Ângelo, José Roberto, Victor, Jianice, Eduardo, Mariana, Kathleen, Marcelo, Izabela, Fernanda, Angélica, Hudson, Cleverson e Jeferson, por toda a ajuda, pelas conversas, pela amizade e pelo companheirismo, que me proporcionaram ótimos momentos durante o curso, amenizando a saudade de casa;

À Dona Cida, o Sr. Paulo e sua família, por terem me acolhido em sua casa logo que cheguei em Cascavel, sem ao menos me conhecerem e por me fazerem um membro da família. Serei eternamente grato pelo que fizeram por mim;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e aos professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFMG, pelos conhecimentos passados e pela contribuição na minha formação profissional;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e seus funcionários, por toda a ajuda e o aporte para realização do curso e na parte experimental;

À empresa Agregare e à Prefeitura Municipal de Cascavel pela disponibilização dos resíduos que foram utilizados no experimento;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Aos professores da banca examinadora, Simone Damasceno Gomes e Carlos Alberto Casali, pela disponibilidade em participar da banca e contribuírem na melhoria desse trabalho;

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente com a realização desse sonho.

# QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM E DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS

## RESUMO

A Região Oeste do Paraná possui grande número de cooperativas agroindustriais, se destacando na produção e na exportação da carne de frango. Porém, essa atividade possui uma elevada geração de resíduos, tanto na fase que antecede a engorda, quanto nas fases de abate e processamento da carne. Atualmente estes resíduos têm sido destinados à usinas de compostagem, cujo principal desafio é otimizar o processo, visando diminuição do tempo de compostagem e aumento da qualidade do composto final. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência da cobertura do pátio de compostagem e da frequência de revolvimento na qualidade do composto orgânico final. Para isso, foram confeccionadas 6 leiras de compostagem (tratamentos), sendo que cada leira era a combinação de dois fatores: cobertura do pátio de compostagem e frequência de revolvimento. As leiras foram confeccionadas utilizando resíduos da cadeia produtiva do frango de corte e todas possuíam a mesma constituição. Durante o processo de compostagem foi feito o acompanhamento da temperatura e das reduções de massa e volume. Para avaliar a qualidade do produto final foram feitas análises de macro e micronutrientes, teste de fitotoxicidade, pH, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica e da matéria orgânica solúvel em água. Também foi testado o uso do composto como substrato para cultivo de mudas de hortaliças. A temperatura das leiras atingiu a fase termofílica já no primeiro dia de compostagem, chegando a temperaturas de até 69 °C. A maior redução de massa e volume ocorreu nas leiras que foram conduzidas em pátio descoberto, chegando a 56% de redução de massa e 72% de redução de volume. Também foi observado uma maior redução de macronutrientes com o aumento da frequência de revolvimentos e com a exposição das leiras aos efeitos climáticos. Concluiu-se que o fator cobertura do pátio de compostagem foi o que mais influenciou na qualidade do composto orgânico, reduzindo significativamente os teores de macro e micronutrientes. O fator frequência de revolvimentos contribuiu para uma maior redução de massa e volume nas leiras e com a maior redução de nitrogênio. Ao fim do processo, os compostos foram considerados estabilizados e aptos a serem comercializados, conforme a Instrução Normativa 25 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

**PALAVRAS-CHAVE:** Frango de Corte, Resíduos Agroindustriais, Compostagem, Estabilidade.

# QUALITY OF ORGANIC COMPOST AS A FUNCTION OF COVER OF COMPOSTING PATIO AND FREQUENCY OF TURNING

## ABSTRACT

The Western Region of Paraná has a large number of agro-industrial cooperatives, standing out in the production and export of chicken meat. However, this activity has a high generation of residues, both in the pre-fattening phase and in the meat slaughtering and processing phases. Currently, this waste has been destined to composting plants, whose main challenge is to optimize the process, aiming at reducing composting time and increasing the quality of the final compost. Thus, this work had the objective of evaluating the influence of the factors composting patio cover and frequency of turning in the quality of the final organic compound. For this, 6 composting piles (treatments) were made, with each lawn being the combination of two factors: composting patio cover and frequency of turning. The piles were made using residues from the productive chain of the broiler chicken and all had the same constitution. During the composting process, temperature and mass and volume reduction were observed. To evaluate the quality of the final product macro and micronutrient analyses were carried out, as well as phytotoxicity test, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, and water soluble organic matter analyses were performed. The use of the composts as substrate for cultivating vegetable seedlings was also tested. The temperature of the piles reached the thermophilic phase on the first day of composting, reaching temperatures up to 69 °C. The greatest reduction of mass and volume occurred in the pile that was conducted in open patio, reaching 56% of mass reduction and 72% of reduction of volume. The larger reduction of macronutrients was also observed with the increase of the frequency of changes and the exposure of the pile to the climatic effects. It was concluded that the cover factor of the composting patio was the one that most influenced the quality of the organic compost, significantly reducing the macro and micronutrient contents. The factor of frequency of turning contributed for a larger reduction of mass and volume in the lawns and with the greater reduction of nitrogen. At the end of the process, the composts were considered stabilized and able to be marketed, according to MAPA's IN 25.

**KEYWORDS:** Broiler, Agro-Industrial Waste, Composting, Stability.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	2
2.1 Objetivo geral .....	2
2.2 Objetivos específicos .....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1 Produção de frango de corte .....	3
3.2 Resíduos gerados na produção de frango.....	3
3.3 Compostagem de resíduos sólidos agroindustriais .....	4
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	6
4.1 Local do experimento .....	6
4.2 Descrição dos resíduos.....	7
4.3 Montagem e condução do experimento .....	11
4.4 Parâmetros avaliados .....	14
4.4.1 Temperatura .....	14
4.4.2 Redução de massa e volume .....	14
4.4.3 Relação C:N.....	16
4.4.4 Macronutrientes e micronutrientes .....	16
4.4.5 Capacidade de troca catiônica (CTC) .....	17
4.4.6 Matéria orgânica extraível em água.....	17
4.4.7 pH e condutividade elétrica (CE) .....	18
4.4.8 Índice de qualidade de muda (IQM) .....	18
4.5 Análises estatísticas.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1 Temperatura .....	20
5.2 Redução de massa e volume .....	22
5.3 Qualidade química e físico-química dos compostos obtidos.....	24
5.4 Parâmetros do MAPA .....	27
5.5 Compostos como substratos para produção de mudas.....	28
6 CONCLUSÕES .....	31
7 REFERÊNCIAS .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Relação C:N e quantidade dos resíduos utilizados como substratos nas leiras de compostagem.....	12
Tabela 2 Valores de massa, volume e porcentagens de redução desses fatores nas leiras no início e ao final do processo de compostagem e após peneiramento.....	22
Tabela 3 Características químicas e físico químicas dos compostos obtidos no estudo.....	25
Tabela 4 Quantidade média de macronutrientes e porcentagem de redução durante processo de compostagem.....	26
Tabela 5 Valores dos parâmetros de estabilidade exigidos pela IN 25 – MAPA e os obtidos nos compostos após o período de maturação.....	27
Tabela 6 Índice de qualidade de muda (IQM) utilizando os compostos orgânicos produzidos no estudo e substrato comercial.....	29

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área do experimento e do município de Cascavel. ....	6
Figura 2	Precipitação acumulada por semana (mm) do município de Cascavel no período de condução do experimento.....	7
Figura 3	Resíduo de incubatório utilizado no experimento.....	7
Figura 4	Lodo de flotador utilizado no experimento.....	8
Figura 5	Invólucro de embutidos (tripa celulósica) utilizada no experimento.....	8
Figura 6	Resíduo de ração utilizado no experimento. ....	9
Figura 7	Carvão utilizado no experimento .....	9
Figura 8	Palha de trigo utilizada no experimento. ....	10
Figura 9	Resíduo de silo utilizado no experimento.....	10
Figura 10	Poda urbana utilizada no experimento.....	11
Figura 11	Leira de compostagem com resíduos distribuídos em camadas.....	12
Figura 12	Determinação da umidade das leiras durante o revolvimento.....	13
Figura 13	Determinação da massa e volume das leiras de compostagem.....	14
Figura 14	Comportamento da temperatura das leiras durante o processo de compostagem.....	19
Figura 15	Gráfico Biplot baseado na ACP das variáveis que avaliam a qualidade agrônômica dos compostos no início do processo (I), ao final do processo de compostagem (F) e após o período de maturação (M).....	23

## 1 INTRODUÇÃO

A Região Oeste do Paraná se destaca, mundialmente, na produção e na exportação da carne de frango. Isso se deve à existência de diversas cooperativas agroindustriais na região. Porém, essa elevada produção tem como consequência maior geração de resíduos.

As cooperativas agroindustriais da região atuam principalmente na cadeia produtiva do frango de corte e são responsáveis diretas pelas etapas que antecedem a engorda, pelo abate e pelo processamento da carne de frango propriamente dito. Durante a etapa que antecede a engorda há a produção de resíduos da fábrica de ração, cama de matrizeiro, o resíduo de incubatório, entre outros. No processo de abate há a produção de lodo de flotor, tripa celulósica e carvão.

De acordo com a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), as agroindústrias se tornam responsáveis pelos resíduos que produzem, sendo obrigadas a dar a melhor destinação a eles. Atualmente, a maioria das cooperativas enviam os seus resíduos gerados para as usinas de compostagem existentes na região. Porém, a grande dificuldade é que a quantidade de resíduos produzidos diariamente é muito superior à capacidade das usinas. Assim, as usinas estão sempre em busca de melhorar o processo de compostagem, para garantir um menor tempo de ocupação dos pátios.

Nesse sentido, desde 2009 a equipe do Laboratório de Análise de Resíduos Agroindustriais – LARA vem desenvolvendo pesquisa em parceria com Cooperativas e Usinas de Compostagem. As pesquisas iniciaram em 2009 com a primeira tentativa de compostagem de resíduos agroindustriais provenientes da Cooperativas (BERNARDI, 2011). Carneiro (2012) estudou o efeito do uso de inóculo, a quantidade de revolvimentos e a cobertura do pátio no processo de compostagem. Bernardi (2015) testou diferentes fontes de carbono disponíveis na região para serem utilizadas na compostagem. Santos (2016) testou o composto orgânico na produção de salsa em vasos e Pereira (2016) testou a utilização do composto orgânico em cultivos sucessivos de alface. Carneiro (2016) aplicou o método estatístico de controle de qualidade na produção de adubo orgânico em uma Usina de Compostagem, avaliando a qualidade do composto ao longo de um ano.

Entretanto, as observações realizadas nestes sete anos de pesquisa apontam para a hipótese da possibilidade de redução do número de revolvimentos visando menores perdas, principalmente de nitrogênio, além de proporcionar economia pela redução do consumo de combustível e desgaste de maquinário. Ao mesmo tempo, em função da realidade dos pátios de compostagem brasileiros, a ausência de cobertura pode favorecer o processo pela maior uniformidade da umidade das leiras quando em épocas de chuvas regulares ou prejudicar pelo excesso de umidade e lixiviação dos nutrientes (Carneiro et al., 2013).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo desse estudo foi verificar a influência da cobertura do pátio de compostagem e da quantidade de revolvimentos durante o processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais na qualidade do composto orgânico.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a conservação de nutrientes no composto final produzido em função da cobertura do pátio de compostagem e da frequência de revolvimentos;
- Verificar se, ao final do processo, os compostos orgânicos produzidos atendem aos parâmetros exigidos pela Instrução Normativa 25 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (IN 25 – MAPA);
- Testar a qualidade dos compostos como substrato para a produção de mudas de hortaliças e sua fitotoxicidade.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Produção de frango de corte**

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne de frango, ficando atrás apenas dos EUA. No último relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) consta que no ano de 2015 o Brasil produziu cerca de 13,14 milhões de toneladas de carne de frango. A maior parte dessa produção foi para o abastecimento do mercado interno (67,3%), mas ainda assim o Brasil se destaca na exportação do produto, sendo o país que mais exporta carne de frango no mundo (ABPA, 2015).

Nesse cenário, o estado do Paraná se destaca, sendo o maior produtor e exportador de carne de frango de corte. Segundo o Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (SINDIAVIPAR), nesse mesmo ano o estado foi responsável por mais de um terço de toda a exportação de carne de frango do Brasil.

O relatório anual da ABPA mostra que o consumo per capita de carne de frango no mundo é de aproximadamente 43 kg por ano – e isso se deve, principalmente, ao seu preço. A FAO estima que em 2024 a produção de carne de frango no Brasil irá aumentar para quase 16 milhões de toneladas e o consumo interno será de, aproximadamente, 10 milhões de toneladas.

O aumento na produção e no consumo da carne de frango gera uma preocupação ambiental, pois, como qualquer outra atividade econômica, ocorre a produção de resíduos, que se não forem destinados corretamente, podem ocasionar sérios problemas ambientais.

#### **3.2 Resíduos gerados na produção de frango**

Segundo Bernardi (2011), os resíduos agroindustriais são originados do processamento e beneficiamento de produtos agropecuários. Na cadeia produtiva de frango de corte há os resíduos gerados no processo de abate, como resíduo de incubatório, lodo de flotador, tripa celulósica, entre outros. Por sua vez, na produção do frango tem-se a geração de resíduos como a cama de frango e de grãos utilizados para fazer a ração, bem como a própria ração. Esses resíduos são descritos mais detalhadamente por Bernardi (2011) e Carneiro (2012).

Segundo Kelleher et al. (2002), a cama de frango é rica em nutrientes, podendo ser utilizada como adubo orgânico, fazendo a reciclagem de nutrientes. Para Giffoni e Lange (2005), essa alternativa pode se apresentar de uma forma benéfica para agricultores e agroindústrias, já que promove uma diminuição nos custos com insumos. Porém, a

utilização inadequada desses resíduos pode ocasionar a contaminação do solo, das águas superficiais e até do lençol freático (MATOS, 2014).

Segundo Matos (2005), quando os resíduos não forem adequados para uso in-natura eles devem ser submetidos a algum tratamento, para promover a transformação das suas características físicas e químicas. No caso dos resíduos gerados na cadeia produtiva do frango de corte, o tratamento mais utilizado na região é o processo de compostagem.

### **3.3 Compostagem de resíduos sólidos agroindustriais**

A compostagem é um processo biológico que ocorre em ambiente aeróbio, em que a matéria orgânica na sua forma crua se transforma em um material humificado e estabilizado (KIEHL, 1985; MAGALHÃES et al., 2006). Segundo Kiehl (2010), a compostagem ocorre naturalmente no ambiente, porém ao se aplicar condições adequadas de umidade, temperatura, aeração, relação C:N, dentre outras, se acelera o processo de degradação.

Porém, para se ter sucesso no processo de compostagem é necessário controlar a umidade, a temperatura, a taxa de aeração, a relação C:N e o pH (GAO et al., 2010). Segundo Veras e Povinelli (2004), a compostagem é promovida por colônias de microrganismos; assim, qualquer fator que afeta a atividade microbológica, afetará o processo de compostagem.

Segundo Bernal, Albuquerque e Moral (2009), a relação C:N influencia nutricionalmente o processo de compostagem, pois o carbono é utilizado como fonte de energia para os microrganismos e o nitrogênio é utilizado para o seu desenvolvimento e sua atividade. Os microrganismos conseguem absorver esses nutrientes em uma proporção de 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio, pois apenas 10 partes de carbono são aproveitados e as outras 20 partes são perdidas no processo em forma de gás carbônico (KIEHL, 1985).

A atividade metabólica dos microrganismos gera calor e, assim, a temperatura das leiras pode atingir de 40 a 60 °C em até dois ou quatro dias após o início do processo (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008). A temperatura é um importante parâmetro para avaliar a estabilização do processo de compostagem (TIQUIA; TAM, 2002; PARADELO; MOLDES; BARRAL, 2013; ZHANG; SUN, 2016). O acompanhamento diário da temperatura das leiras auxilia na determinação do estágio em que o processo se encontra.

A compostagem é dividida em duas fases: a termofílica e a mesofílica. Na fase termofílica, também chamada fase biooxidativa, a temperatura das leiras ultrapassa os 40 °C (JARA-SAMANIEGO et al., 2017), resultado da degradação ativa dos resíduos pelos microrganismos termofílicos. Já a fase mesofílica, ou fase de cura, é quando a temperatura

das leiras começa a cair até se aproximar da temperatura ambiente, sinalizando o fim do processo.

Porém, temperaturas muito altas fazem com que os microrganismos diminuam sua atividade e, assim, ocorre uma desaceleração no processo (SOTERO et al., 2006) e favorecem também a perda de nitrogênio em forma de amônia (BRITO et al., 2008). Por essa razão é importante a manutenção da temperatura em torno de 45 a 65 °C e, para isso, se faz necessário o revolvimento do material em processo e/ou também a irrigação das leiras (BIDONE; POVINELLI, 1999; COSTA et al., 2005).

Com o revolvimento do material ocorre a aeração das leiras e, com isso, a disponibilização de O<sub>2</sub> para os microrganismos, além de remover o excesso de CO<sub>2</sub> e de umidade (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009). A presença de oxigênio promove uma aceleração no processo de decomposição do material, já que é um elemento importante na atividade biológica (AMORIM, 2002).

A irrigação das leiras além de auxiliar na manutenção da temperatura faz com que o material se mantenha úmido. A umidade do material é importante no processo, já que a água é indispensável para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. Porém, deve-se tomar cuidado, pois a escassez de água causa o retardamento do processo e o excesso poderá dificultar a aeração (SILVA, 2007).

Segundo Kiehl (2010), a umidade ótima é de 60% e a mínima, para manter o processo, é de 40%. Por isso, em locais onde ocorrem altas pluviosidades durante o ano, torna-se importante a presença de um pátio de compostagem, prevenindo o excesso de água nas leiras.

Segundo Costa et al. (2009), a compostagem se apresenta como uma alternativa eficiente e econômica para o processo de estabilização de resíduos das agroindústrias. Diversas pesquisas mostram a eficiência do processo de compostagem como tratamento dos resíduos gerados pela produção de frango de corte: Costa et al. (2005) utilizaram carcaças de aves no processo de compostagem e testaram o efeito da aeração no processo; Silva (2007) testou porcentagens de resíduos agroindustriais como conteúdo ruminal de bovinos, resíduo de incubatório, resíduo de cereais, lodo de flotador e cinza no processo de compostagem; Bernardi (2011) utilizou diferentes porcentagens de diversos resíduos da cadeia produtiva do frango no processo de compostagem; Carneiro (2012) estudou a influência de fatores como revolvimento, cobertura de pátio e inoculação no processo de compostagem de resíduos da cadeia produtiva do frango.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado na BR 467, Km 17, sentido Cascavel-Toledo. Geograficamente o NEEA está localizado nas coordenadas 24° 28' latitude sul e 53° 32' longitude oeste e possui altitude média de 760 metros (Figura 1).

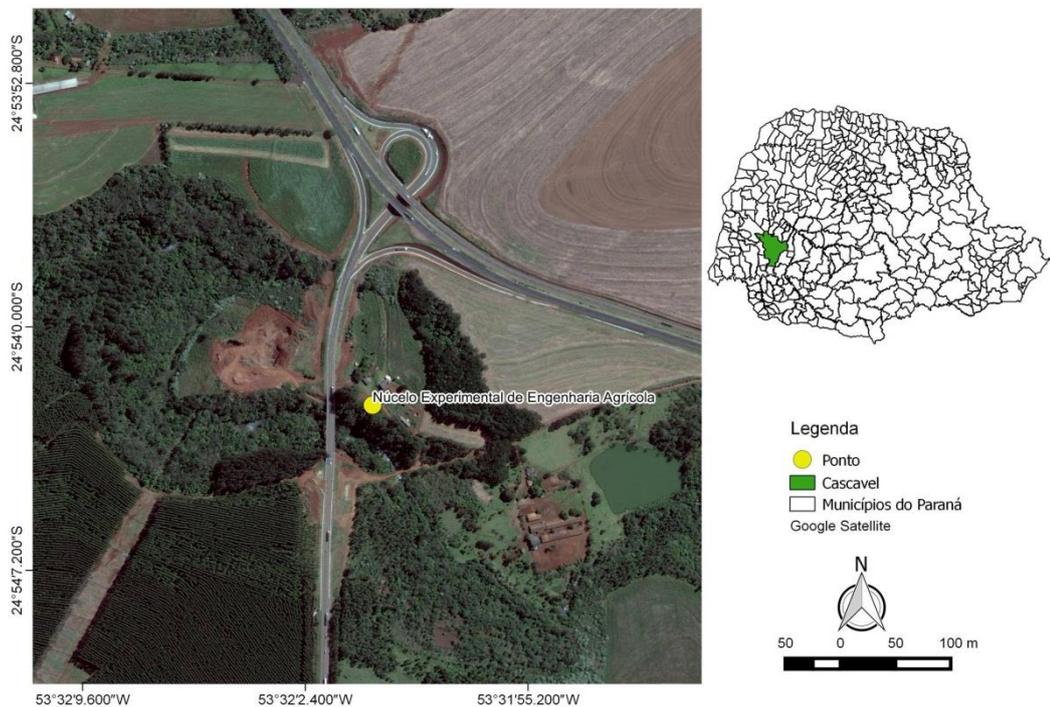


Figura 1 Localização da área do experimento e do município de Cascavel.  
Fonte: Google Earth (2016).

A região de Cascavel, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima Cfa, que representa um clima subtropical com temperaturas médias acima de 22 °C no mês mais quente e inferior a 18 °C no mês mais frio (mesotérmico), com verões quentes, precipitação média anual de 1800 mm a 2000 mm, com geadas raras e tendência da concentração das chuvas no verão, porém sem estação seca definida (IAPAR, 1998).

A precipitação acumulada do município de Cascavel durante as semanas quando ocorreu o experimento é apresentada na Figura 2.

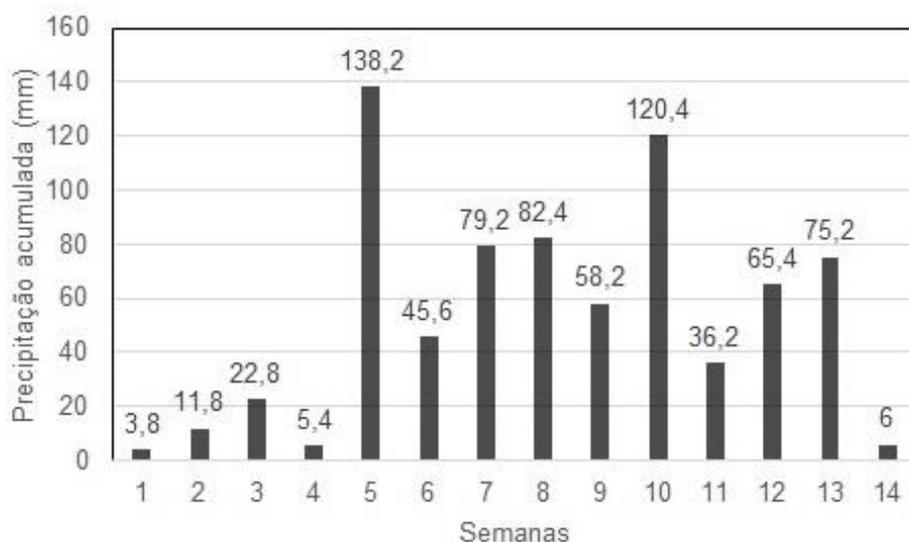


Figura 2 Precipitação acumulada por semana (mm) do município de Cascavel no período de condução do experimento

Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

#### 4.2 Descrição dos resíduos

Os resíduos utilizados no experimento foram obtidos junto à Agregare, empresa localizada no município de Cascavel e que trabalha com o processo de compostagem para estabilização dos resíduos gerados nas cooperativas agroindustriais da região.

Um dos resíduos gerados na produção do frango de corte e que foi utilizado no experimento é o resíduo de incubatório (Figura 3). Ele é composto, basicamente, por ovos não eclodidos, cascas e membranas de ovos, pintinhos com má formação e natimortos (BERNARDI, 2011). Como é um resíduo de origem animal, a presença de sangue faz com que tenha uma baixa relação C:N.



Figura 3 Resíduo de incubatório utilizado no experimento.

Durante o processo de abate das aves é feita a lavagem e a retirada do sangue e gordura das carcaças. Essa água utilizada é encaminhada para o sistema de tratamento, onde são utilizados flutuadores para fazer a separação do resíduo sólido da água. Esse resíduo sólido gerado nos flutuadores é também conhecido como lodo de flutuador (Figura 4) e foi um dos resíduos utilizado no experimento. Ele possui uma baixa relação C:N, com alto teor de gordura e rico em nutrientes, que podem ser reaproveitados na agricultura (CARNEIRO, 2012).



Figura 4 Lodo de flutuador utilizado no experimento.

Para a fabricação de salsicha é utilizado um involucro celulósico, também conhecido como tripa celulósica (Figura 5), que é utilizada para dar o formato à salsicha durante o processo de cozimento. Após o resfriamento da salsicha, essa tripa é retirada e torna-se um resíduo na agroindústria. Como é um material sintético produzido a partir de fibras vegetais, possui uma relação C:N alta, apresentando um carbono mais lábil, ou seja, de fácil degradação.



Figura 5 Invólucro de embutidos (tripa celulósica) utilizada no experimento.

A ração que é utilizada para alimentação das aves, quando em más condições de armazenamento, apodrece ou tem o surgimento de fungos, impossibilitando o seu consumo. Assim, torna-se um resíduo para as cooperativas, composto por grãos já processados, principalmente o milho (Figura 6). Apesar de ser um resíduo de origem vegetal, possui uma relação C:N relativamente baixa e o carbono presente é um carbono mais lábil.



Figura 6 Resíduo de ração utilizado no experimento.

O carvão (Figura 7) é o resíduo gerado a partir da queima incompleta da lenha e de cavacos, para a geração de vapor utilizado pelas caldeiras das agroindústrias. Devido ao processo de queima, mesmo que incompleta, o teor de carbono é baixo, porém o de nitrogênio é ainda menor, fazendo com que esse material tenha uma relação C:N alta, mas sem incorporar muitos nutrientes às leiras.



Figura 7 Carvão utilizado no experimento.

No processo de beneficiamento de grãos são retirados materiais indesejáveis para comercialização e consumo. A palha de trigo (Figura 8) é um desses resíduos gerados no

processo de beneficiamento do grão, pois não serve para ser utilizada na produção de ração animal e/ou ser comercializada “in natura”. É um material que possui uma elevada relação C:N, tornando-se uma excelente opção para elevar a relação das leiras de compostagem. Porém, este é um resíduo sazonal, já que é produzido apenas no período de colheita e beneficiamento do grão.



Figura 8 Palha de trigo utilizada no experimento.

Quando um silo se esvazia é feita a limpeza de sua base, onde fica o material que não foi utilizado na agroindústria (Figura 9). Esse material é geralmente um pó liberado pelos grãos armazenados. Ele apresenta uma granulometria mais fina e um carbono lábil, sendo facilmente degradado pelos microrganismos no processo de compostagem.



Figura 9 Resíduo de silo utilizado no experimento.

O resíduo de poda urbana (Figura 10) é um material vegetal fresco gerado na cidade para manutenção do paisagismo e para que não tenha interferência na rede elétrica, composto por grama e por galhos de árvores triturados. Esse resíduo possui uma relação C:N alta, porém pode apresentar altas concentrações de nitrogênio, devido à presença de

resíduos de leguminosas, que são bastante usadas no paisagismo nas cidades. Contudo, geralmente a maior parte desse resíduo é composta por gramíneas.

Esse resíduo apresenta tanto o carbono lábil, quanto o carbono recalcitrante. As folhas das árvores e da grama apresentam um carbono lábil; já os galhos das árvores e arbustos apresentam um carbono mais recalcitrante, ou seja, de difícil degradação. Muitos galhos, mesmo após encerrar o processo de compostagem, são visíveis no composto produzido, sendo necessário fazer o seu peneiramento para comercialização – porém são importantes para o processo, pois aumentam a porosidade das leiras, auxiliando na aeração destas.



Figura 10 Poda urbana utilizada no experimento.

### 4.3 Montagem e condução do experimento

O experimento foi montado no dia 17 de outubro de 2016, e o processo de compostagem ocorreu até o dia 23 de janeiro de 2016. Foram confeccionadas 6 leiras em pátios com piso em concreto, para diminuir o efeito de lixiviação dos nutrientes. Cada leira possuía aproximadamente 480 quilos em matéria natural. Todas as leiras foram confeccionadas em formato trapezoidal e possuíam a mesma composição de resíduos, levando-se em consideração a relação C:N de cada material, para atingir uma relação final de aproximadamente 20:1. A composição das leiras é descrita na Tabela 1.

Tabela 1 Relação C:N e quantidade dos resíduos utilizados como substratos nas leiras de compostagem

Resíduo	C (%)	N (%)	Relação C:N	Quantidade em MS (Kg)	Quantidade em MN (Kg)
Tripa celulósica	52,9	0,7	77,6	30	76
Lodo de flotador	48,8	7,4	6,6	30	72
Poda	52,6	1,3	39,2	80	155
Resíduo de incubatório	11,1	2,0	5,4	20	60
Ração	50,4	3,6	13,9	20	25
Silo	49,0	3,1	16,1	22	25
Palha de trigo	60,3	2,0	30,0	40	47
Carvão	20,4	0,2	99,9	10,5	20
<b>Total</b>	<b>48,3</b>	<b>2,4</b>	<b>20</b>	<b>252,5</b>	<b>480</b>

Para montagem das leiras foi utilizada uma caixa de madeira retangular e os resíduos foram dispostos em camadas (Figura 11). Tomou-se o cuidado de colocar os resíduos vegetais nas camadas externas e os resíduos animais nas camadas mais internas, para evitar o aparecimento de vetores devido ao mau cheiro.



Figura 11 Leira de compostagem com resíduos distribuídos em camadas.

O experimento possuía 6 tratamentos (leiras), sendo que cada tratamento era a combinação de dois fatores: cobertura do pátio de compostagem e número de revolvimentos.

- Leira 1 (L1): 8 revolvimentos realizados durante 30 dias, conduzidos em pátio coberto;

- Leira 2 (L2): 12 revolvimentos realizados durante 60 dias, conduzidos em pátio coberto;
- Leira 3 (L3): 16 revolvimentos realizados durante 98 dias, conduzidos em pátio coberto;
- Leira 4 (L4): 8 revolvimentos realizados durante 30 dias, conduzidos em pátio descoberto;
- Leira 5 (L5): 12 revolvimentos realizados durante 60 dias, conduzidos em pátio descoberto;
- Leira 6 (L6): 16 revolvimentos realizados durante 98 dias, conduzidos em pátio descoberto.

Os revolvimentos aconteceram de forma manual, utilizando pás e garfos. Todas as leiras foram revolvidas duas vezes por semana nos primeiros 30 dias. Nos tratamentos em que o processo foi conduzido por 60 e 98 dias, o revolvimento foi realizado uma vez por semana nestes períodos. Mesmo após encerrar os revolvimentos, as leiras permaneceram no pátio de compostagem até a sua temperatura interna se aproximar da temperatura ambiente.

Durante os revolvimentos eram coletadas amostras para determinação da umidade das leiras, utilizando a metodologia adaptada de Tavares et al. (2008), em que as amostras úmidas, em triplicata, eram colocadas em forno micro-ondas até atingirem peso constante (Figura 12). A partir das informações de peso seco e úmido das amostras e do peso total da leira, era possível determinar a umidade total da leira e, assim, corrigir sua umidade para 60%.



Figura 12 Determinação da umidade das leiras durante o revolvimento.

Após o final do processo de compostagem as leiras foram recolhidas a um pátio coberto e permaneceram por um período de 60 dias, considerado o período de maturação das leiras.

Para avaliação dos parâmetros foram coletadas amostras das leiras no início e ao final do processo de estabilização e no final do processo de maturação. Eram realizadas as coletas de pequenas amostras de diversos pontos aleatórios das leiras e colocadas em um recipiente, formando uma amostra composta. A amostra composta foi dividida em três partes, sendo que uma parte foi seca ao ar, outra parte foi seca em estufa a 50 °C ( $\pm 5$  °C) e a terceira parte foi armazenada em freezer a aproximadamente 5 °C.

#### 4.4 Parâmetros avaliados

##### 4.4.1 Temperatura

A temperatura interna das leiras era retirada em 6 pontos aleatórios, utilizando um termômetro de mercúrio. A temperatura interna, bem como a temperatura ambiente foram monitoradas diariamente para, assim, avaliar o estágio da compostagem.

##### 4.4.2 Redução de massa e volume

O monitoramento da massa e do volume das leiras foi realizado semanalmente durante os revolvimentos. Para isso, era realizada a pesagem da leira com o auxílio de uma balança digital e, após a pesagem, o material era colocado em uma caixa de madeira com dimensões conhecidas para medição do volume (Figura 13). Quando o revolvimento das leiras era encerrado, também era encerrada a determinação da massa e do volume, sendo feito novamente só no final do processo, aos 98 dias.



Figura 13 Determinação da massa e volume das leiras de compostagem.

#### 4.4.3 Relação C:N

A relação C:N foi determinada em amostras coletadas no início, ao final do processo de compostagem e após 60 dias de maturação do composto. A determinação do carbono foi feita por gravimetria, utilizando a metodologia proposta por Carmo e Silva (2012), em que as amostras secas a 105 °C e moídas são submetidas em forno mufla a 550 °C por um período de duas horas, determinando, assim, o teor de sólidos voláteis (SV) presente na amostra. O teor de carbono orgânico total (COT) é calculado, conforme citado por Lorin et al. (2016), pela Equação 1:

$$\text{COT (\%)} = \frac{SV}{1,8} \quad \text{Eq.(01)}$$

Para o nitrogênio (N) foi realizada a secagem das amostras em estufa a uma temperatura de 50 °C ( $\pm 5$  °C), que foram posteriormente trituradas em moinho de faca, afim de garantir a homogeneidade do material. Foi empregada a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989), em que as amostras são pré-digeridas com ácido sulfúrico e é feita a destilação com destilador Kjeldahl e posterior titulação com ácido sulfúrico 0,025 mol.L<sup>-1</sup>. Posteriormente é feito o cálculo do teor de nitrogênio, conforme a Equação 2:

$$\text{N (\%)} = \frac{(A-B) \times FC \times 700 \times \left(\frac{1}{m}\right)}{10000}$$

Eq.(02)

Em que: A - volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizado para titular a amostra (mL);  
 B - volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizado para titular o branco (mL);  
 FC - fator de correção do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol.L<sup>-1</sup>;  
 m - massa da amostra (g).

#### 4.4.4 Macronutrientes e micronutrientes

Para determinação dos macro e micronutrientes foi realizada a digestão nitro-perclórica do material seco e triturado. O extrato obtido foi utilizado para leitura de fósforo (P) em espectrofotômetro (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989) e de potássio (K) em fotômetro de chama (EMBRAPA, 2009). O mesmo extrato é utilizado para leitura dos micronutrientes: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) por absorção atômica, segundo metodologia proposta pela Embrapa (2009).

#### 4.4.5 Capacidade de troca catiônica (CTC)

Para a determinação da CTC foi utilizada a metodologia proposta pela Embrapa (2009), em que 5 gramas do composto, seco a 50 °C ( $\pm 5$  °C) e triturado, é misturado com carvão ativado. Depois, é feita uma agitação do material com HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e posteriores lavagens com água destilada e acetato de cálcio 0,5 mol.L<sup>-1</sup>. A solução de lavagem é titulada com solução de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e usa-se fenolftaleína como indicador. Assim, a CTC é determinada pela Equação 3.

$$\text{CTC} \quad (\text{mmol.kg}^{-1}) \quad = \quad \frac{(\text{Va}-\text{Vb}) \times 0,1 \times 1000}{m}$$

Eq.(03)

Em que: Va - volume da solução de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> gasto na titulação da amostra (mL);

Vb - volume da solução de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> gasto na titulação do branco (mL);

m - massa de composto utilizada (g).

#### 4.4.6 Matéria orgânica extraível em água

A extração aquosa da matéria orgânica foi feita seguindo a metodologia proposta por Said-Pullicino et al. (2007), em que é adicionada água deionizada ao composto fresco, numa proporção de 1:10, ou seja, a cada 1 g de massa, na base seca, adiciona-se 10 mL de água. Depois esse material é levado a agitação em mesa de agitação horizontal por 24 horas. Após a agitação é feita a centrifugação do material a 3000 rpm por 30 minutos e posterior filtragem a vácuo do material, utilizando um filtro de nitrato de celulose com abertura 0,45  $\mu\text{m}$ .

Esse material filtrado foi utilizado para determinação do carbono solúvel (Cs) e do nitrogênio solúvel (Ns), utilizando o determinador de carbono orgânico total TOC-V. O material também foi utilizado para determinação do fósforo (Ps) e potássio solúvel (Ks) em água. Para isso, foi feita a digestão nitroperclórica do extrato, com a finalidade de diminuir a interferência da matéria orgânica na leitura do fósforo por espectrofotometria e do potássio por fotometria de chama.

Além das análises dos nutrientes, utilizou-se o extrato aquoso para teste de fitotoxicidade dos compostos. Foi utilizada a metodologia adaptada de Zucconi et al. (1981), colocando em placas de Petri papel filtro umedecidos com 3 mL do extrato aquoso e 10 sementes de agrião (*Lipidium sativum*) e usando água destilada como testemunha. Depois, foram levados à câmara escura por 48 horas a uma temperatura de 26 °C e avaliados a

germinação das sementes e o comprimento das raízes das sementes germinadas. Assim, foi possível calcular o índice de germinação (IG), utilizando a Equação 4.

$$\text{IG} = \frac{La}{Lt} \times \%G$$

Eq.(04)

Em que: La - comprimento médio das raízes da amostra (cm);

Lt - comprimento médio das raízes da testemunha (cm);

%G - porcentagem de sementes germinadas em relação à testemunha.

#### 4.4.7 pH e condutividade elétrica (CE)

A determinação do pH e da CE foi realizada em amostras coletadas no início, ao final do processo de compostagem e ao final do processo de maturação. Para isso, foi utilizada a solução obtida pela extração aquosa da matéria orgânica e realizada a leitura com auxílio de pHmetro e condutímetro de bancada.

#### 4.4.8 Índice de qualidade de muda (IQM)

O composto orgânico produzido ao final do processo de maturação foi utilizado como substrato para mudas e teve avaliado o IQM. Para isso, foi realizado um teste em delineamento inteiramente casualizados 7x4, considerando o composto produzido por cada leira como um tratamento e utilizado o substrato comercial como testemunha, totalizando 7 tratamentos. Foram produzidas 4 bandejas, sendo que cada bandeja possuía 20 células com cada tratamento.

Foram utilizadas sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*), e para avaliação foram utilizadas plantas 30 dias após emergência. Foram utilizadas 5 plantas de cada repetição, avaliando os seguintes fatores: altura das mudas, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e da raiz (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). Assim, calculou-se o IQM segundo a Equação 5.

$$\text{IQM} = \frac{\text{MST}}{\frac{\text{H}}{\text{DC}} + \frac{\text{MSPA}}{\text{MSRA}}} \quad \text{Eq.(05)}$$

Em que: MST - massa seca total (g);

H - altura da planta (cm);

DC - diâmetro do coleto (cm);

MSPA - massa seca da parte aérea (g);

MSRA - massa seca da raiz (g).

#### **4.5 Análises estatísticas**

As análises químicas dos compostos foram realizadas em triplicata e os dados são apresentados com a média e o desvio padrão. Foi aplicada a estatística de análise multivariada, pelo método de análise de componentes principais (CPs), para relacionar os parâmetros avaliados aos tratamentos aplicados e, assim, verificar quais tratamentos apresentaram melhor comportamento.

Os dados de IQM foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posterior teste de comparação múltipla de médias, com 5% de significância.

Para as análises estatísticas foi utilizado o software MiniTab 16 e para a confecção dos gráficos utilizou-se o Excel®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Temperatura

Na Figura 14 é possível observar o comportamento da temperatura interna das leiras e comparar com a temperatura ambiente. Verifica-se um aumento na temperatura já no primeiro dia de processo, chegando a temperaturas próximas a 60 °C. Esse fato indica boa atividade microbiana, pois o aumento da temperatura está associado à degradação da matéria orgânica pelos microrganismos termofílicos.

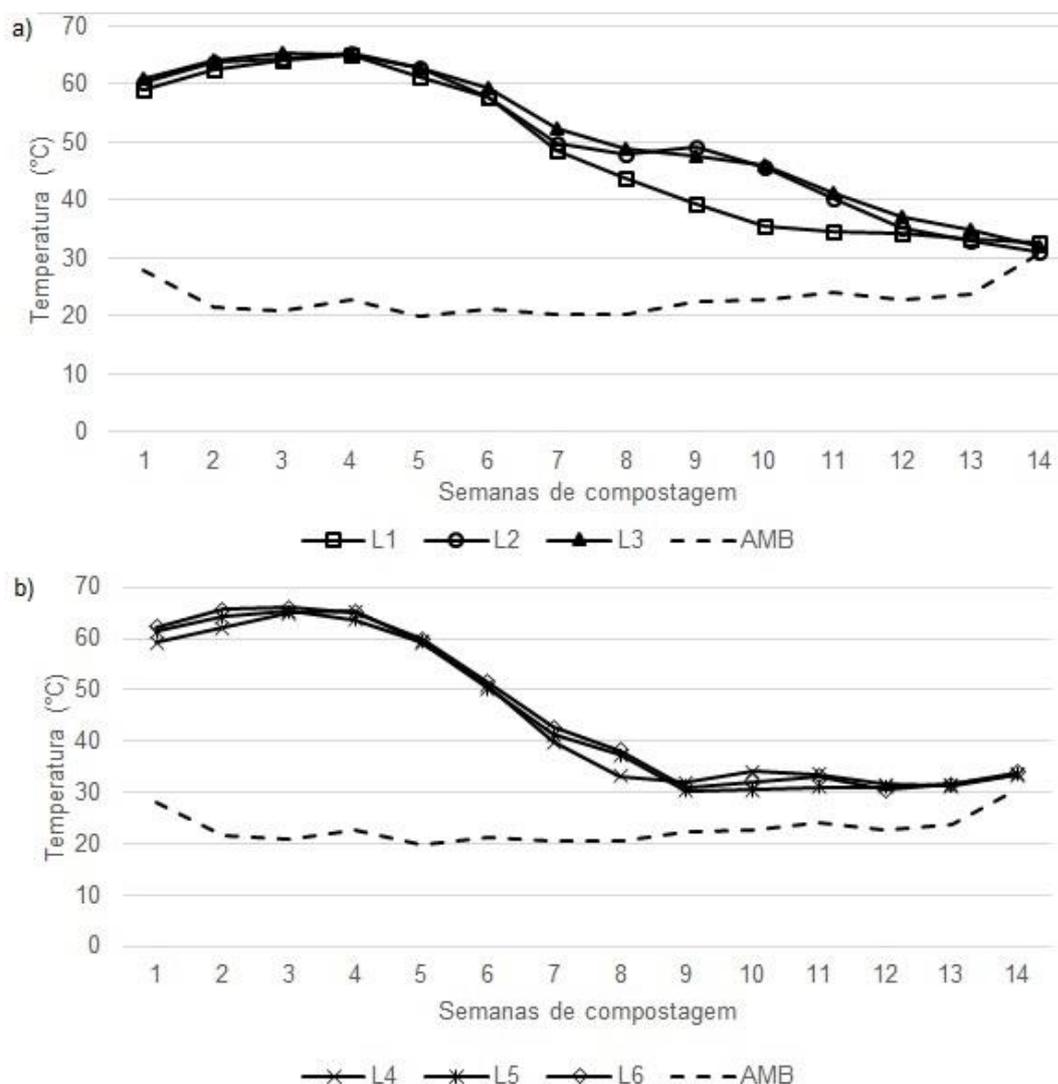


Figura 14 Comportamento da temperatura das leiras durante o processo de compostagem: a) em pátio coberto; b) em pátio descoberto.

O aumento da temperatura nos primeiros dias de compostagem também está associado aos tipos de resíduos utilizados na montagem das leiras. Segundo Costa et al. (2017), o tipo de resíduo e suas características – como a qualidade do carbono, relação C:N, granulometria e porosidade – influenciam diretamente no comportamento da temperatura das leiras de compostagem. Alguns dos resíduos utilizados possuem um

carbono mais lábil, como o caso do resíduo de ração e de silo, o que favorece o ataque microbiano e, conseqüentemente, o rápido aumento na temperatura das leiras.

As leiras que ficaram no espaço coberto (Figura 14a) apresentaram comportamentos semelhantes em relação à temperatura; apenas a L1 se diferenciou um pouco das demais, com o início da redução da temperatura já na sétima semana. Isso se deve à quantidade de revolvimentos, que durou apenas um mês nessa leira. Ao fazer o revolvimento de uma leira, os materiais que estavam na camada mais exposta passam para as camadas mais internas – além de oferecer oxigênio para os microrganismos, o que favorece a continuidade do processo de degradação. Gavilanes-Terán et al. (2016), que trabalharam com compostagem de resíduos vegetais, também observaram o aumento da temperatura das leiras após os revolvimentos, associando à oxigenação das leiras e à homogeneização do material.

As leiras que permaneceram no pátio descoberto (Figura 14b) mostraram um comportamento mais próximo. Observa-se que mesmo a L6, que foi revolvida durante todo o processo, seguiu o comportamento das demais, em que o revolvimento durou apenas um e dois meses, para as leiras L4 e L5, respectivamente. O menor tempo de duração da fase termofílica nessas leiras está associado à elevada precipitação que ocorreu durante o processo de compostagem. Para que ocorra um bom processo, a umidade das leiras deve estar em uma faixa entre 55 e 60% de umidade (MATOS, 2014). Ao deixar as leiras expostas aos efeitos climáticos, o controle da umidade torna-se difícil e, conseqüentemente, com a elevada precipitação a umidade pode ultrapassar os 60%. Em processos em que a umidade das leiras ultrapassa 65%, a entrada de O<sub>2</sub> fica prejudicada, afetando a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, causando o aumento da temperatura das leiras (BRITO et al., 2008; COSTA et al., 2009).

A temperatura máxima de todas as leiras ficou entre 68 e 69 °C, atingindo esse pico máximo entre a terceira e a quarta semana de processo. Valores semelhantes foram observados por Brito et al. (2008) e por Costa et al. (2017). Esses valores elevados nesse período podem ter sido provocados pela redução dos revolvimentos, que no segundo mês foi interrompido nas leiras L1 e L4 e passou a ser uma vez por semana nas leiras L2, L3, L5 e L6. Os revolvimentos, além de auxiliar na aeração das leiras, disponibilizando O<sub>2</sub> para os microrganismos, também ajudam na liberação do excesso de CO<sub>2</sub> e de calor (BERNAL; ALBURQUERQUE; MORAL, 2009; KIEHL, 2010).

Quando comparadas as leiras que ficaram em pátio descoberto com as que ficaram no pátio coberto, pode-se observar que as leiras que permaneceram no pátio descoberto tiveram um menor tempo de fase termofílica, chegando a apenas 7 semanas, enquanto a leira L1 chegou a 9 semanas e as leiras L2 e L3 chegaram até 11 semanas com temperaturas acima dos 40 °C.

A fase termofílica é de grande importância no processo de compostagem. É durante essa fase que ocorre a maior degradação do material orgânico e a sanitização do material, com a eliminação de patógenos e também a eliminação de sementes de plantas daninhas (BERNAL; ALBURQUERQUE; MORAL, 2009; MATOS, 2014). Se a temperatura das leiras permanece acima de 55 °C por mais de três dias consecutivos, o composto estará livre de sementes de plantas invasoras e de patógenos (GAO et al., 2010; ZHANG; SUN, 2016). Assim, pode-se afirmar que os compostos produzidos nesse experimento estão livres de microrganismos patogênicos e sementes de plantas invasoras.

Após 14 semanas de compostagem, a temperatura interna das leiras se aproximou da temperatura ambiente, sinalizando o fim do processo e a estabilização do material (SATISHA; DEVARAJAN, 2007; RAJ; ANTIL, 2011).

## **5.2 Redução de massa e volume**

A redução da massa e do volume das leiras durante o processo de compostagem é resultado da degradação do material orgânico pelos microrganismos (BERNAL; ALBURQUERQUE; MORAL, 2009; SERRAMIÁ et al., 2010; COSTA et al., 2017). Segundo Petric et al. (2009), no processo de compostagem a matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono, água, amônia e biomassa microbiana – e isso faz com que ocorra essa redução na massa e no volume das leiras de compostagem.

Em função da grande quantidade de resíduos produzidos pelas cooperativas e visando um maior lucro, as usinas de compostagem priorizaram a otimização do pátio de compostagem. Além disso, segundo Costa et al. (2017), os fatores que mais afetam essa otimização são o tempo do processo, a massa e o volume ocupado pelas leiras, devido à exigência por áreas disponíveis.

Na Tabela 2 são apresentadas as reduções da massa e do volume das leiras no início e ao final do processo de compostagem e suas respectivas porcentagens de redução. É possível observar que todas as leiras possuíam uma mesma composição e, assim, iniciaram com uma massa seca de aproximadamente 250 kg e um volume de 1,5 m<sup>3</sup>.

Tabela 2 Valores de massa, volume e porcentagens de redução desses fatores nas leiras no início e ao final do processo de compostagem e após peneiramento

	L1	L2	L3	L4	L5	L6
MS inicial (kg)	252,5	244,0	247,8	248,0	252,5	250,4
MS final (kg)	160,1	136,7	117,7	108,5	111,9	112,6
% redução massa seca	37	44	53	56	56	55
MS após peneiramento (kg)	95,5	98,3	97,6	61,5	84,9	77,4
% redução em relação MS inicial	62	60	61	75	66	69
MS material retido peneira (kg)	15,7	12,8	13,6	11,5	17,1	20,4
% material retido na peneira em relação material peneirado	16	13	14	19	20	26
Volume Inicial (m <sup>3</sup> )	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4	1,4
Volume Final (m <sup>3</sup> )	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
% redução volume	63	65	67	69	67	72
Volume após peneiramento (m <sup>3</sup> )	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume material retido peneira (m <sup>3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
% volume retido peneira em relação ao volume peneirado	33	33	43	30	38	40

Em relação à massa das leiras, nota-se que as leiras que permaneceram em pátio descoberto (L4, L5 e L6) tiveram uma maior porcentagem de redução de massa quando comparadas às leiras que permaneceram em pátio coberto (L1, L2 e L3). A exposição das leiras aos efeitos climáticos pode ocasionar a perda de material por arraste, devido a ventos e chuvas fortes (CARNEIRO et al., 2013). Como o experimento foi realizado durante a primavera e no início do verão, essas maiores reduções de massa das leiras externas podem estar associadas à elevada frequência de chuvas, que ocorrem na região nesse período do ano, como pode ser observado na Figura 2. Resultados semelhantes foram observados por Amorim et al. (2005), ao estudarem o efeito das estações do ano na redução da massa e do volume na compostagem de dejetos de caprinos.

Quando comparada a redução de massa das leiras em função da quantidade de revolvimentos, observa-se que as leiras que ficaram em pátio coberto apresentaram uma tendência linear, ou seja, com o maior número de revolvimentos houve uma maior porcentagem de redução de massa. Carneiro (2012), que também trabalhou com a compostagem de resíduos da cadeia produtiva do frango de corte, e Larney et al. (2000), estudando a compostagem de estrume de gado confinado, também encontraram uma tendência linear entre os revolvimentos e as perdas de massa. Em contrapartida, as leiras que permaneceram em pátio descoberto não apresentaram nenhuma tendência, com uma porcentagem de redução bem próximas.

O peneiramento das leiras aconteceu 60 dias após o fim do processo de compostagem. Esse período é chamado de maturação ou cura do composto, em que as leiras ficam estendidas em pátio coberto para perderem umidade. O peneiramento é feito utilizando peneira com abertura de 10 mm, para a retirada do material mais grosseiro, como gravetos e tocos, que não foram totalmente degradados durante o processo.

Na Tabela 2 observa-se que as leiras que tiveram um menor tempo de fase termofílica (L1, L4, L5, L6) apresentaram maior porcentagem de material retido na peneira em relação ao material peneirado. Segundo Bernal, Albuquerque e Moral (2009), as altas temperaturas da fase termofílica ajudam não só na eliminação dos microrganismos patogênicos, como também favorece a degradação da gordura, da celulose, hemicelulose e da lignina pelos microrganismos termofílicos.

A redução do volume das leiras é proporcional à redução da sua massa; assim, verifica-se que as leiras que tiveram uma maior redução de massa, conseqüentemente, tiveram uma maior redução no volume.

### 5.3 Qualidade química e físico-química dos compostos obtidos

Para avaliar a qualidade agrônômica dos compostos obtidos no estudo, foram selecionadas 12 variáveis, sendo elas: pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N), fósforo total (P), potássio total (K), carbono solúvel (Cs), fósforo solúvel (Ps), nitrogênio solúvel (Ns), potássio solúvel (Ks) e o índice de germinação (IG). Assim, para poder englobar todas essas características e verificar qual composto apresentou melhores resultados, foi utilizada a análise de componentes principais (ACP). A ACP foi capaz de explicar 80,2% da variância dos dados, sendo 45,9% na CP1 e 34,3% na CP2, conforme pode ser observado na Figura 15.

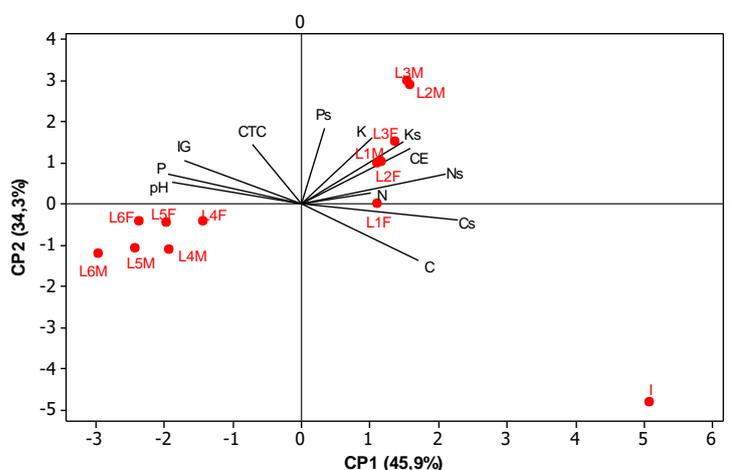


Figura 15 Gráfico Biplot baseado na ACP das variáveis que avaliam a qualidade agrônômica dos compostos no início do processo (I), ao final do processo de compostagem (F) e após maturação (M).

As variáveis que mais influenciaram a CP1 foram o nitrogênio total, fósforo total, pH, nitrogênio solúvel, carbono solúvel e o índice de germinação. Já a CP2 foi mais influenciada pela CTC e pelo fósforo solúvel. As demais variáveis influenciaram as duas componentes.

Observa-se que as variáveis K, Ks e CE correlacionam positivamente com as duas componentes, indicando que os compostos que se encontram no 1º quadrante apresentaram maiores valores desses parâmetros, e os que se encontram no 3º quadrante apresentaram menores valores. Nota-se que os compostos que se encontram no 1º quadrante são os que foram conduzidos em pátio com cobertura e os que se encontram no 3º quadrante são os que foram conduzidos em pátio descoberto. Esses dados comprovam a importância da condução do processo de compostagem em um pátio com cobertura, pois evita a perda de nutrientes por lixiviação.

O mesmo pode ser observado para o C, que possui uma correlação positiva com a CP1 e negativa com a CP2. Assim, pode-se afirmar que os tratamentos que se encontram no 4º quadrante são os que apresentam maiores teores de C. Como pode ser observado, o tratamento que se encontra nesse quadrante é o I, que representa os resíduos no início do processo de compostagem, em que o teor de carbono realmente é maior, já que ainda não se iniciou o processo de degradação.

Já as variáveis CTC e Ps tiveram uma correlação positiva com a CP2, indicando que quanto mais para cima estiver o tratamento, maiores serão esses valores. Observa-se que os tratamentos que estão mais acima são o L2M e o L3M, que foram conduzidos em pátio coberto e foram revolvidos 12 e 16 vezes, respectivamente. Isso comprova um maior grau de mineralização e degradação do material nesses compostos.

O Cs e o Ns possuem correlação positiva com a CP1, indicando que quanto mais à direita os tratamentos aparecerem, maior será a concentração desses nutrientes. O IG apresenta comportamento oposto: quanto mais à direita, menor será. Assim, nota-se que os compostos que foram conduzidos em pátio descoberto apresentam menores concentrações de nutrientes solúveis, o que favoreceu os maiores IG, já que as plântulas sofreram menos interferência da CE.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, as concentrações dos micronutrientes aumentaram para todos os tratamentos, quando comparadas a fase inicial e o final do processo de compostagem. Segundo Tiquia e Tam (2002), o aumento na concentração dos minerais se deve às elevadas perdas da MO, que ocorre durante o processo de compostagem.

Tabela 3 Características químicas e físico químicas dos compostos obtidos no estudo

Tratamento		C	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
		%			g.kg <sup>-1</sup>			mg.kg <sup>-1</sup>	
I		45,7 (0,2)	2,3 (0,1)	3,1 (0,2)	4,1 (0,1)	5,6 (0,2)	26,3 (1,1)	157,6 (1,4)	77,3 (2,7)
L1	F	25,9 (0,8)	2,4 (0,2)	4,9 (0,3)	5,5 (0,1)	7,3 (0,2)	39,3 (0,6)	353,6 (21,4)	155,7 (6,0)
	M	22,9 (0,6)	1,8 (0,1)	5,2 (0,2)	9,3 (0,5)	7,0 (0,1)	64,6 (1,2)	326,1 (21,8)	131,5 (2,0)
L2	F	24,1 (1,2)	2,5 (0,3)	5,5 (0,1)	6,2 (0,3)	7,4 (0,1)	59,6 (2,0)	329,6 (8,8)	156,3 (0,5)
	M	22,6 (1,9)	2,2 (0,2)	5,3 (0,7)	14,2 (0,3)	6,5 (0,2)	50,9 (2,1)	288,5 (34,9)	141,8 (5,6)
L3	F	23,8 (1,1)	2,6 (0,1)	6,4 (0,2)	6,8 (0,4)	7,3 (0,3)	58,6 (3,6)	363,8 (1,02)	170,8 (7,7)
	M	22,0 (0,9)	2,3 (0,1)	6,4 (0,3)	13,2 (0,9)	6,3 (0,4)	52,9 (1,5)	314,1 (14,9)	148,3 (3,7)
L4	F	23,8 (0,6)	2,4 (0,1)	7,0 (0,4)	3,4 (0,3)	7,4 (0,1)	57,3 (1,1)	379,4 (35,7)	173,3 (4,8)
	M	22,7 (0,6)	1,8 (0,1)	6,2 (0,2)	4,9 (0,2)	6,5 (0,1)	54,3 (2,3)	308,9 (11,4)	153,1 (5,8)
L5	F	21,7 (0,7)	2,3 (0,1)	6,9 (0,1)	3,2 (0,1)	7,7 (0,1)	61,3 (2,2)	419,5 (0,4)	172,9 (7,3)
	M	21,2 (0,3)	1,7 (0,1)	6,0 (0,2)	5,2 (0,3)	6,8 (0,2)	58,0 (2,6)	361,4 (19,4)	148,2 (6,6)
L6	F	21,3 (0,9)	2,0 (0,1)	6,7 (0,4)	2,9 (0,1)	7,2 (0,1)	56,9 (2,8)	330,2 (10,7)	164,0 (0,1)
	M	20,5 (0,3)	1,9 (0,1)	6,4 (0,4)	4,9 (0,1)	6,4 (0,2)	54,8 (0,3)	304,7 (18,2)	146,9 (0,1)
Tratamento		Cs	Ns	Ps	Ks	pH	C.E.	CTC	IG
		mg.L <sup>-1</sup>					mS.cm <sup>-1</sup>	cmolc.kg <sup>-1</sup>	(%)
I		925,9 (7,4)	138,6 (9,4)	2,3 (0,2)	269,0 (16,1)	7,2 (0,4)	1,9 (0,1)	33,5 (0,7)	0
L1	F	429,0 (6,7)	124,5 (0,1)	17,7 (0,3)	456,3 (23,0)	7,9 (0,0)	2,7 (0,1)	37,8 (0,5)	110,8 (9,4)
	M	430,4 (0,4)	146,9 (7,1)	22,6 (1,4)	464,7 (8,3)	7,8 (0,1)	2,8 (0,1)	41,8 (0,4)	100,5 (2,4)
L2	F	433,8 (6,0)	115,2 (2,9)	21,5 (1,8)	563,0 (11,4)	7,8 (0,0)	2,9 (0,3)	43,1 (0,4)	107,8 (1,8)
	M	434,9 (4,4)	142,9 (2,6)	25,5 (0,9)	686,0 (37,0)	7,9 (0,1)	3,1 (0,1)	49,4 (0,6)	99,8 (4,3)
L3	F	462,5 (7,0)	107,2 (5,9)	18,7 (1,0)	605,0 (11,1)	7,6 (0,2)	3,6 (0,1)	49,1 (1,6)	106,1 (4,0)
	M	464,7 (8,6)	139,8 (1,2)	20,8 (1,2)	612,0 (31,3)	7,6 (0,1)	3,7 (0,3)	57,5 (1,1)	98,6 (3,6)
L4	F	207,8 (1,0)	55,9 (3,1)	7,3 (0,7)	212,7 (4,7)	7,8 (0,2)	1,5 (0,0)	41,9 (1,5)	138,7 (10,5)
	M	214,5 (8,2)	70,3 (2,9)	14,1 (0,6)	229,7 (2,5)	7,7 (0,0)	1,8 (0,1)	48,0 (1,4)	110,2 (7,3)
L5	F	150,9 (4,3)	50,7 (4,2)	10,2 (0,4)	185,7 (6,8)	7,9 (0,1)	1,1 (0,1)	42,4 (1,3)	119,3 (3,8)
	M	174,9 (7,2)	65,6 (2,1)	15,8 (7,0)	187,0 (1,7)	7,9 (0,1)	1,2 (0,0)	49,1 (1,1)	102,8 (12,3)
L6	F	105,7 (7,3)	45,9 (3,7)	9,2 (1,0)	143,3 (3,8)	8,1 (0,1)	0,9 (0,0)	45,2 (0,2)	111,0 (10,2)
	M	178,7 (6,3)	63,1 (5,0)	15,2 (1,2)	152,0 (7,0)	8,0 (0,1)	1,0 (0,0)	50,0 (0,7)	98,8 (12,1)

Os valores são apresentados pela média e o seu desvio padrão. I - início do processo; F - final do processo (98 dias) e M - final da maturação (158 dias)

Ocorreu uma redução das concentrações dos micro e macronutrientes durante a fase de maturação, divergindo dos resultados obtidos por Gavilanes-Terán et al. (2017), que observaram uma continuação da degradação da matéria orgânica no período de maturação das leiras, mesmo que menor se comparada à fase biooxidativa, que, conseqüentemente, faz com que ocorra um aumento da concentração dos minerais, conforme observado por Tiquia e Tam (2002).

Contudo, a redução dos valores de concentração dos micro e macronutrientes pode estar associada ao fato de que as análises no composto maturado foram realizadas após o peneiramento do material e no final do processo de maturação o composto estava íntegro.

Em relação ao IG, pode ser observado que não houve germinação das sementes no início do processo, o que mostra a presença de compostos fitotóxicos, já que a CE no início era menor que a dos compostos que foram conduzidos em pátio coberto e estes apresentaram um alto IG. Também é possível verificar uma redução no IG na fase de maturação dos compostos, comprovando que mesmo durante essa fase a matéria orgânica continua se degradando e ocorre a mineralização dos nutrientes, correlacionando com o aumento dos nutrientes solúveis e o aumento da CE nessa fase.

Mesmo na fase de maturação os compostos orgânicos apresentaram elevados valores de IG, comprovando que após o processo de compostagem ocorreu a eliminação dos compostos fitotóxicos. Segundo Bustamante et al. (2008), valores de IG acima de 50% indicam a ausência de compostos fitotóxicos.

Na Tabela 4 pode ser observada a quantidade de macronutrientes total presente em cada leira e a porcentagem de redução, ao final do processo de compostagem.

Tabela 4 Quantidade média de macronutrientes e porcentagem de redução durante processo de compostagem

Trat.	N (kg)			P (kg)			K (kg)		
	I	F	%R	I	F	%R	I	F	%R
L1	5,7	3,8	33,2	0,8	0,8	0,04	1,0	0,9	13,9
L2	5,5	3,4	38,7	0,8	0,7	0,99	1,0	0,8	14,9
L3	5,6	3,1	45,1	0,8	0,8	2,11	1,0	0,8	20,6
L4	5,6	2,5	54,8	0,8	0,8	1,00	1,0	0,4	63,2
L5	5,7	2,5	56,2	0,8	0,8	1,22	1,0	0,4	65,0
L6	5,7	2,3	59,6	0,8	0,8	2,43	1,0	0,3	68,0

As maiores reduções de N ocorreram nas leiras que permaneceram em pátio descoberto e com o aumento no número de revolvimentos. Resultados semelhantes foram relatados por Carneiro et al. (2013), que observaram perdas de até 64,4% em leiras que foram conduzidas em espaço aberto.

Segundo Bernal, Albuquerque e Moral (2009), no processo de compostagem o N pode ser perdido por volatilização da amônia, por lixiviação ou desnitrificação, sendo que a perda por lixiviação pode ser evitada controlando a umidade das leiras, perdas por desnitrificação podem ser evitadas dando condições aeróbias para o processo e as perdas

por volatilização podem ser evitadas reduzindo o pH das leiras e evitando o aumento da temperatura.

O P e o K são perdidos devido à lixiviação dessas matérias quando em sua forma iônica. O P é um elemento que possui baixa mobilidade, então a sua redução geralmente é baixa. Já o K é um elemento muito solúvel, o que torna a sua perda mais alta, especialmente em pátios descobertos – como pode ser observado na Tabela 4, que a diminuição nas frequências de revolvimento, bem como a cobertura do pátio geram uma menor redução desses nutrientes durante o processo de compostagem.

#### 5.4 Parâmetros do MAPA

O composto orgânico gerado a partir do tratamento de resíduos agroindustriais se apresenta como uma ótima alternativa para a substituição de fertilizantes minerais, pois contribui na melhoria das características e propriedades físicas e químicas do solo (MATOS, 2014). Porém, para sua comercialização e utilização no solo, deve-se garantir que o composto esteja estabilizado e livre de patógenos e compostos fitotóxicos (BERNAL, ALBUQUERQUE, MORAL, 2009).

No Brasil a lei que está em vigor atualmente e que determina as especificações, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos é a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009) A IN 25 define 4 classes para os fertilizantes orgânicos, de acordo com a matéria prima utilizada para sua produção. No caso de compostagem de resíduos agroindustriais, em que os resíduos são livres de elementos potencialmente tóxicos, o fertilizante produzido se enquadra na classe A. Os parâmetros exigidos para comercialização dos produtos que se enquadram nessa classe, bem como os valores obtidos dos compostos orgânicos produzidos nesse estudo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Valores dos parâmetros de estabilidade exigidos pela IN 25 – MAPA e os obtidos nos compostos após o período de maturação

	Parâmetros						
	Umidade (%)	Carbono total (%)	Nitrogênio total (%)	Relação C:N	pH	CTC (cmol/kg)	Relação CTC:C
Exigido	≤ 50	≥ 15	≥ 0,5	≤ 20	≥ 6,0	Conforme declarado	Conforme declarado
L1	34	22,9	1,8	12,7	7,8	41,8	1,0
L2	39	22,6	2,2	10,3	7,9	49,4	1,2
L3	38	22,0	2,3	9,6	7,6	57,5	1,5
L4	40	22,7	1,8	12,6	7,7	48,0	1,2
L5	37	21,2	1,7	12,5	7,9	49,1	1,3
L6	36	20,5	1,9	10,8	8,0	50,0	1,4

O teor de umidade é um parâmetro que não reflete a estabilidade do composto, porém deve ser exigido para garantir que, ao ser comercializado, a maior parte do peso vendido seja referente ao composto e não a água. Os compostos produzidos no estudo

atenderam às exigências, apresentando umidade na faixa de 34 a 40%. Esse resultado está associado à existência de um pátio coberto, em que as leiras foram dispostas e estendidas quando o processo foi finalizado, entrando na fase de maturação do composto.

Em relação aos teores de carbono e nitrogênio, é possível verificar que todos os compostos produzidos atenderam às exigências, confirmando a sua qualidade agrônômica. A relação C:N final ficou na faixa de 9 e 13, o que demonstra um excelente grau de estabilidade e maturidade dos compostos. Segundo Kiehl (2010), quando a relação C:N de um composto estiver por volta de 18, ele estará semicurado; já compostos com relação entre 12 e 8 estarão curados, maturados, humificados.

O pH de todos os compostos produzidos apresentaram-se levemente alcalinos, na faixa de 7,6 a 8,0, atendendo às exigências da legislação. Segundo Kiehl (2010), o pH é um importante parâmetro para avaliar a estabilização do composto, pois se o material estiver cru, ele terá reação ácida; quando estiver com pH neutro ou próximo da neutralidade, indica que o material está estabilizado; e o pH será alcalino quando o composto estiver humificado.

Apesar de não se ter um valor definido da CTC e da relação CTC:C, a IN-25 exige que seja declarado para a comercialização do composto. A CTC indica a taxa de degradação do material e a capacidade do composto em reter nutrientes (STEINER et al., 2010), sendo de grande importância para verificar o grau de estabilidade do composto. Segundo Iglesias Jiménez e Garcia (1992), o composto é considerado maturado quando a CTC for maior que  $67 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  e a relação CTC:C for maior que 1,9. Como pode ser observado, os compostos produzidos não atingiram esses valores, indicando que não são considerados totalmente humificados. Porém, isso não impede a sua comercialização, já que os outros parâmetros comprovam que estão estabilizados, e para se comercializar não há a necessidade de estarem humificados, apenas estabilizados.

Como pode ser observado na Tabela 3, todos os compostos produzidos atenderam às especificações exigidas pela IN-25. Nota-se que para a comercialização do composto orgânico no Brasil poucos parâmetros são exigidos, o que pode ser ineficiente na indicação da maturidade do composto. Segundo Kiehl (2010), para se ter uma informação mais correta sobre a maturação dos compostos deve-se considerar dados de dois ou mais parâmetros. Os parâmetros de maturidade devem ser baseados em diferentes propriedades do composto e do processo, como cor, odor, temperatura, CTC, relação C:N, fitotoxicidade, dentre outros (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009).

### **5.5 Compostos como substratos para produção de mudas**

Uma outra alternativa para o uso dos compostos orgânicos é como substrato para produção de mudas de hortaliças. Para avaliar a sua qualidade como substrato, utiliza-se o Índice de Qualidade de Muda (IQM), também chamado de Índice de Qualidade de Dickson. Como esse índice leva em consideração vários parâmetros fitométricos, como altura da

planta, diâmetro do coleto e a massa seca da parte aérea e da raiz, facilita a análise geral das mudas produzidas. As médias dos resultados de IQM para cada composto e para o substrato comercial podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 Índice de qualidade de muda (IQM) utilizando os compostos orgânicos produzidos no estudo e substrato comercial

Tratamento	Média IQM	c.v (%)
SC	0,0070 a	2,9
L1	0,0091 bB	2,0
L2	0,0089 bBC	5,1
L3	0,0063 aD	3,8
L4	0,0101 bA	4,2
L5	0,0095 bAB	4,7
L6	0,0083 bC	7,3

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem estatisticamente pelo teste Dunnet a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de significância. SC - substrato comercial, c.v - coeficiente de variação.

Para efeito de comparação, primeiramente foi realizada a análise de variância dos resultados e aplicado o teste F, sendo significativo a 5% de significância. Então, foi realizado um teste de comparação múltipla de médias, primeiro para comparar o IQM dos compostos produzidos no estudo com o IQM do substrato comercial, utilizando o teste Dunnet a 5% de significância.

Conforme pode ser observado na Tabela 6, apenas o composto L3 foi semelhante estatisticamente ao substrato comercial, quando comparados pelo teste Dunnet. Os menores valores de IQM do L3 estão relacionados à maior condutividade elétrica que esse composto apresentou ( $3,7 \text{ mS.cm}^{-1}$ ). Segundo Lemaire, Dartigues e Rio (1985), para que ocorra um crescimento adequado das plantas o substrato não pode apresentar uma condutividade elétrica superior a  $3,5 \text{ mS.cm}^{-1}$ .

Os menores valores observados com a utilização do substrato comercial podem estar associados às baixas concentrações de nutrientes que eles possuem. Simões et al. (2015), ao testar diferentes substratos sobre a qualidade de mudas de alface, também observou qualidades inferiores com o uso do substrato comercial, associando ao baixo teor de fósforo, que é importante para o desenvolvimento radicular das mudas.

Posteriormente, a fim de verificar qual dos compostos produzidos tiveram uma melhor resposta, foi realizada uma nova análise de variância e aplicado o teste F. Como o p-valor foi significativo a 5%, foi realizado o teste Tukey a 5% de significância, para comparar o IQM dos compostos, excluindo o substrato comercial.

Os compostos L4 e L5 foram os que apresentaram maior valor de IQM e o que apresentou menor valor foi o L3. Durante o processo de compostagem a L4 e L5 foram conduzidas em pátio descoberto e tiveram menos revolvimentos, sendo só 8 e 12, respectivamente. Como consequência ocorreu uma menor mineralização e liberação de sais, o que faria aumentar a condutividade elétrica e com a falta de cobertura do pátio e a elevada precipitação, que faz com que ocorra a lavagem do material e a perda de sais por lixiviação. Já a L3 foi a leira que apresentou situação contrária, pois foi conduzida em pátio coberto e teve uma maior quantidade de revolvimentos.

Conforme observado por outros autores, a salinidade dos compostos é o que mais afeta a germinação de sementes (BUSTAMANTE et al., 2008; JARA-SAMANIEGO et al., 2017). Porém, isso não impede o uso dos compostos como substratos, pois podem ser acrescentados materiais inertes, como turfa, biochar, casca de arroz carbonizada, areia, entre outros, o que faz reduzir a condutividade elétrica dos composto e aumentar a germinação, conforme observado por outros autores (COSTA et al., 2013; FREITAS et al., 2013; SILVA et al., 2017).

## 6 CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos é possível concluir que:

- a cobertura do pátio de compostagem influencia na qualidade do composto orgânico produzido, pois muitos nutrientes se perdem por lixiviação;
- A diminuição nos revolvimentos das leiras não prejudica o processo de compostagem, diferenciando apenas na redução de massa e volume das leiras e na maior conservação de nitrogênio;
- Todos os compostos produzidos atendem às exigências da IN 25 – MAPA, demonstrando que ao final do processo apresentam-se aptos a serem comercializados como fertilizante orgânico;
- Todos os compostos apresentam-se estabilizados, livre de compostos fitotóxicos e com potencial para uso na produção de mudas de hortaliças.

## 7 REFERÊNCIAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual da ABPA 2015**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>>. Acesso em: 06 dez. 2016.

AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Júnior, Jaboticabal, 2002.

AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 57-66, 2005.

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

BERNARDI, F. H. **Compostagem de resíduos agroindustriais: Incubatório**. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

BERNARDI, F. H. **Avaliação de diferentes materiais ligocelulósicos na compostagem de resíduos agroindustriais**. 2015. 52f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 jul. 2009. Seção 1, 12p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 ago. 2010, n. 81, 73p.

BRITO, L. M; AMARO, A. L; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 1959-1968, 2008.

BUSTAMANTE, M. A.; PAREDES, C.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BERNAL, M. P.; MORAL, R. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. **Chemosphere**, v. 72, n. 4, p. 551-557, 2008.

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, 2012.

CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

CARNEIRO, L. J.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; MARTINS, M. F. L.; ROZATTI, M. A. T. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 796-807, 2013.

CARNEIRO, L. J. **Controle estatístico da qualidade do composto orgânico proveniente de resíduos agroindustriais**. 2016. 46f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; OLIBONE, D.; RODER, C.; BURIN, A.; KAUFMANN, A. V.; ORTOLAN, M. L. Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 549-556, 2005.

COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J.; MATTER, U.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.100–107, 2009.

COSTA, L. A. de M.; COSTA, M. S. S. de M.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H.; MACCARI, S. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 675-682, 2013.

COSTA, M. S. S. de M.; BERNARDI, F. H.; COSTA, L. A. de M.; PEREIRA, D. C.; LORIN, H. E. F.; ROZATTI, M. A. T. Composting as a cleaner strategy to broiler agro-industrial wastes: Selecting carbon source to optimize the process and improve the quality of the final compost. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2084-2092, 2017.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

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

FREITAS, G. A. de; SILVA, R. R. da; BARROS, H. B.; MELO, A. V. de; ABRAHÃO, W. A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 159-166, 2013.

GAO, M.; LI, B.; YU, A.; LIANG, F.; YANG, F.; SUN, Y. The effect of aeration rate on forced aeration composting of chicken manure and sawdust. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1899-1903, 2010.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C. Windrow composting as horticultural waste management strategy – A case study in Ecuador. **Waste Management**, v. 48, p. 127-134, 2016.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-MURCIA, M. A.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; LÓPEZ, M.; PAREDES, C. Agroindustrial compost as a peat alternative in the horticultural industry of Ecuador. **Journal of Environmental Management**, v. 186, p. 79-87, 2017.

GIFFONI, P. O.; LANGE, L. C. A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 128-136, 2005.

IGLESIAS JIMÉNEZ, E.; GARCIA, V. P. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 38, p. 331-343, 1992

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1994, 49p.

JARA-SAMANIEGO, J.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; PAREDES, C.; LÓPEZ, C.; LÓPEZ-LLUCH, D. B.; GAVILANES-TERÁN, I.; MORAL, R. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1349-1358, 2017.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology, A review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

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

KIEHL, E. J. **Novos fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Degaspari, 2010. 238p.

LARNEY, F. J.; OLSON, A. F.; CARCAMO, A. A.; CHANG, C. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 2, p. 139-148, 2000.

LEMAIRE, F.; DARTIGUES, A.; RIO, L. M. Properties of substrate made with spent mushroom compost. **Acta Horticulturae**, v. 172, p. 13-29, 1985.

LORIN, H. E. F.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; PEREIRA, D. C.; CARNEIRO, L. J. Stabilization of confined beef cattle manure: characteristics of produced fertilizers. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 877-885, out. 2016.

MAGALHÃES, M. A. de; MATOS; A. T. de; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa, 2005. 34 p.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento de resíduos sólidos**. Viçosa: Editora UFV, 2014. 241p.

PARADELO, R.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal of Environmental Management**, v. 116, p. 18-26, 2013.

PEREIRA, D. C. **Efeito de adubações orgânica e mineral associadas ao biochar sobre parâmetros do solo e produtividade da alface**. 2016. 57f. Tese (Doutorado em

Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

PETRIC, I.; ŠESTAN, A.; ŠESTAN, I. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 87, n. 3, p. 206-212, 2009.

RAJ, D.; ANTIL, R. S. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 2868-2873, 2011.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007.

SANTOS, F. T. **Parâmetros químicos e qualidade de salsa em função de substratos orgânicos associados ao biochar**. 2016. 84f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

SATISHA, G. C.; DEVARAJAN, L. Effect of amendments on windrow composting of sugar industry pressmud. **Waste Management**, v. 27, n. 9, p. 1083-1091, 2007.

SERRAMIÁ, N.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A.; CIVANTOS, C. G. A.; ROIG, A. Contribution of the lignocellulosic fraction of two-phase olive-mill wastes to the degradation and humification of the organic matter during composting. **Waste Management**, v. 30, n. 10, p. 1939-1947, 2010.

SILVA, M. I.; MACKOWIAK, C.; MINOGUE, P.; REIS, A. F.; MOLINE, E. F. da V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. **Ciência Rural**, v. 47, n. 1, 2017.

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SINDIAVIPAR. Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.sindiavipar.com.br>>. Acesso em: 02 maio 2016.

SIMÕES, A. C.; ALVES, G. K. E. B; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E. Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com condicionadores de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 521-526, 2015.

SOTERO, J. P.; ROCHA, C. R. C.; TEIXEIRA, C. M. P.; DIAS, A. M. T. de S.; ABREU, M. de F. Análise da influência da temperatura ambiente nas temperaturas internas das leiras de compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p.681-684, 2006.

STEINER, C., DAS, K. C.; MELEAR, N.; LAKLY, D. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. **Journal of Environmental Quality**, v. 39, p. 1236-1242, 2010.

TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; GENTELINI, D. P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E. A. Uso do forno de micro-ondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 529-538, 2008.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 8, p. 869-880, 2002.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

ZHANG, L.; SUN, X. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. **Waste Management**, v. 48, p. 115-126, 2016.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. de. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, v. 22, n. 2, p. 54-57, 1981.