

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Departamento de Ciência do Solo**

**QUALIDADE DE COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE
GALINHAS POEDEIRAS EM MISTURA COM PÓ DE SERRA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentando para o título de
bacharel em Engenharia Agronômica

Discente: Guilherme Hernandez Loretti
Docente: Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato

Número USP: 9326069

**Piracicaba
Dezembro de 2020**

Agradecimentos

Agradeço a Deus e a minha família acima de tudo.

Em especial a minha mãe, Vanessa, a qual sempre mostrou dedicação e que foi a responsável pelo homem que sou hoje. Ao meu Pai, André, o qual me serviu de inspiração e foi a principal referência como homem na minha vida. Ao meu irmão Gustavo, que além de irmão, é meu maior companheiro. A minha irmã mais nova, Sofia, que apesar de mais nova, me ensina todos os dias.

Obrigado a todos os moradores da República Kangaço, que me mostraram que família não é de sangue, que me viram e me fizeram crescer. Vocês foram pais, amigos, irmãos, filhos, e são os principais responsáveis pelo meu crescimento e pela minha formatura.

A todos os outros colegas de turma, colegas de estágio, e colegas de trabalho, que contribuíram essencialmente na minha formação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Sérgio Pavinato, que me auxiliou incondicionalmente e acreditou no meu trabalho.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), por todo conhecimento adquirido desde 2015, aos frutos colhidos, e as futuras oportunidades que virão.

A Fazenda Shigueno e todos os seus membros, que possibilitaram a realização desse trabalho, e me deram a oportunidade do meu primeiro emprego.

Um muito obrigado!

“A agricultura é uma ciência e uma arte”

Justus Von Liebig

Resumo

O processo de compostagem consiste em fazer pilhas sucessivas com a mistura de materiais ricos em nitrogênio, como estercos e restos de alimentos, combinados com materiais ricos em carbono, como bagaço de cana, pó de serra, ou resíduos lenhosos secos. Essa combinação é necessária para se atingir uma relação de Carbono/Nitrogênio (C/N) ideal de 30/1, necessária para o desenvolvimento e atividades metabólicas dos microrganismos, além de garantir uma aeração, tamanho de partícula, e umidade ideal no processo. Visto isso, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da mistura de dejetos de galinhas poedeiras com serragem, em campo, levando em consideração diferentes proporções de serragem e dejetos de galinhas poedeiras, avaliando a qualidade final do composto quanto a disponibilidade de nutrientes para uso como fertilizante orgânico. O experimento contou com três tratamentos, sendo T1= 25% pó de serra + 75% esterco de galinha fresco; T2 = 50% pó de serra + 50% de esterco de galinha fresco; T3 = 75% pó de serra + 25% esterco de galinha fresco. Os parâmetros avaliados foram: pH, Matéria Orgânica Total, Carbono orgânico, Nitrogênio total, P₂O₅ total (Fósforo), K₂O total (Potássio), Ca total (Cálcio), Mg total (Magnésio), S total (Enxofre), relação C/N, densidade e umidade, sendo avaliados nos dias 0, 45 e 90 dias de ensaio, e comparados dentro de cada tempo de avaliação. Ao final do período de compostagem, o tratamento 1 obteve melhores resultados de qualidade do fertilizante orgânico final quando comparado aos demais tratamentos, notando-se visíveis diferenças em relação aos teores de macronutrientes, estando conforme as legislações vigentes e ainda assim, utilizando menores quantidades de pó de serra.

Palavras-chave: Esterco, serragem, tempo de compostagem, fertilizante orgânico.

Abstract

The composting process consists of making successive piles with a mixture of nitrogen-rich materials, such as manure and food scraps, combined with carbon-rich materials such as cane bagasse, sawdust, or dry woody residues. This combination is necessary to achieve an ideal Carbon / Nitrogen (C / N) ratio of 30/1, necessary for the development and metabolic activities of microorganisms, in addition to ensuring aeration, particle size, and ideal moisture in the process. Thus, this work aimed to evaluate the effect of mixing laying hen litter with sawdust in the field, taking into account different proportions of sawdust and hen manure, evaluating the final quality of the compost in terms of the availability of nutrients for use as an organic fertilizer. The experiment had three treatments, T1 = 25% sawdust + 75% fresh hen manure; T2 = 50% sawdust + 50% fresh hen manure; T3 = 75% sawdust + 25% fresh hen manure. The parameters evaluated were: pH, Total Organic Matter, Organic Carbon, Total Nitrogen, Total P₂O₅ (Phosphorus), Total K₂O (Potassium), Total Ca (Calcium), Total Mg (Magnesium), Total S (Sulfur), C / N, density and humidity, being evaluated on days 0, 45 and 90 of testing, and compared within each evaluation time. At the end of the composting period, treatment 1 obtained better results in the quality of the final organic fertilizer compared to the other treatments, noting visible differences in relation to the contents of macronutrients, being in accordance with the current legislation and even so, using smaller amounts of sawdust.

Key-words: Manure, sawdust, compost timing, organic fertilizer.

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110°C) | 14 |
| Tabela 2. Efeitos adversos de diferentes concentrações de amônia nos sistemas de produção animal | 21 |
| Tabela 3. Caracterização do esterco de galinhas e do pó de serra antes do estabelecimento dos tratamentos, em base seca (65ºC) | 28 |
| Tabela 4. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹), densidade (g/cm ³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N no primeiro dia de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância | 32 |
| Tabela 5. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹), densidade (g/cm ³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N aos 45 dias de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância | 34 |
| Tabela 6. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹), densidade (g/cm ³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N após 90 dias de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância | 36 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fases do processo de compostagem em função da temperatura e da composição dos produtos utilizados no processo (relação C/N principalmente)..... | 13 |
| Figura 2. Representação da coleta das amostras..... | 24 |
| Figura 3. Esterco de galinhas poedeiras (a) e pó de serragem (b) utilizados para a compostagem | 25 |
| Figura 4. Delineamento experimental e distribuição dos tratamentos na área do projeto..... | 26 |
| Figura 5. Montagem do experimento no dia 22/05/2020, na área experimental da Fazenda Nova Aliança..... | 27 |
| Figura 6. Representação da medição de temperatura em uma das leiras. | 27 |
| Figura 7. Temperatura média das leiras montadas a partir de frações de pó de serra e dejetos de galinhas poedeira, sendo T1 = 25/75 (v/v), T2= 50/50 (v/v) e T3= 75/25 (v/v), respectivamente | 30 |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 9 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 11 |
| 2.1. Compostagem | 11 |
| 2.1.1. Fases da compostagem | 12 |
| 2.1.2. Materiais que podem ser compostados | 13 |
| 2.1.3. Fatores que afetam a compostagem | 14 |
| a) Relação C/N | 14 |
| b) Temperatura | 16 |
| c) Umidade | 17 |
| d) Aeração | 17 |
| e) pH | 18 |
| f) Microrganismos | 19 |
| g) Granulometria | 19 |
| 2.2. Perdas de nitrogênio na compostagem | 20 |
| 2.3. Fatores de maturação do composto | 22 |
| 3. Objetivos | 23 |
| 4. Material e métodos | 23 |
| 4.1. Montagem do experimento | 24 |
| 4.2. Análise estatística | 28 |
| 5. Resultados | 28 |
| 5.1. Caracterização inicial das amostras | 28 |
| 5.2. Temperatura | 30 |
| 5.3. Características químicas das leiras no momento da montagem do experimento | 32 |
| 5.4. Características químicas das leiras aos 45 dias de compostagem | 33 |
| 5.5. Características químicas das leiras aos 90 dias de compostagem | 35 |
| 6. Considerações finais | 37 |
| 7. Referências Bibliográficas | 37 |

1. Introdução

Segundo a ABRELPE (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública), no ano de 2019, somente no Brasil, 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram gerados, sendo o Brasil o campeão de geração de lixo dentre os países da América Latina, representando 40% do total gerado dentre os países latino-americanos.

As atividades agropecuárias e agroindústrias contribuem com grandes quantidades de resíduos orgânicos que não são reaproveitados, sendo descartados de forma incorreta no meio ambiente. Segundo dados do IBGE, o setor aviário de galinhas poedeiras, no ano de 2019, indicou no Brasil um número de 171 milhões de cabeças de galinhas poedeiras. Considerando-se que 100.000 poedeiras geram cerca de 12 t dia⁻¹ de esterco (Moreng & Avens, 1990), a produção diária de esterco de galinhas chega a ser aproximadamente 20.000 t dia⁻¹.

O Brasil é um dos maiores produtores de ovos do mundo, segundo a “Associação brasileira de proteína animal” (ABPA), em 2019 o Brasil produziu cerca de 49 bilhões de ovos. Com o aumento anual do número de matrizes, além da intensificação do sistema de produção, são gerados cada vez mais resíduos orgânicos, popularmente conhecido como esterco, que possuem um alto potencial de contaminação de solos (patógenos e excesso de nutrientes), de rios (eutrofização), lençóis subterrâneos e do ar (através das emissões de gases para a atmosfera), se não forem tratados da maneira correta.

Dentre os impactos ambientais se destacam a poluição das águas superficiais e subterrâneas, a presença de micro-organismos entomopatogênicos, a alteração das características químicas, físicas e biológicas do solo, a poluição do ar pela emissão de gases, tendo como principais o NH₃ (amônia), CO₂ (gás carbônico), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso) e H₂S (sulfeto de nitrogênio), além da presença de insetos, ocasionando maior desconforto ambiental às populações (Oliveira *et al.*, 2003; Kunz *et al.*, 2007; Dinuccio *et al.*, 2008). Desta forma, há a necessidade de proporcionar recursos tecnológicos para o reaproveitamento dos nutrientes e da água, tendo como critério o princípio da sustentabilidade, pois estas atividades contribuirão para o desenvolvimento do país.

Dados publicados por Kiehl (1985) destacam que os dejetos de galinhas poedeiras são os mais ricos nutricionalmente comparados a outros animais, pois

provém, na maioria das vezes, de aves criadas com rações concentradas em nitrogênio, fósforo e potássio. De acordo com Steil (2001), os dejetos de poedeiras são constituídos por substratos complexos contendo matéria orgânica particulada e dissolvida como polissacarídeos, lipídios, proteínas, ácidos graxos voláteis, elevado número de componentes inorgânicos, bem como alta concentração de microrganismos patogênicos.

Por causa do alto potencial biogênico dos dejetos, não é aconselhado o uso no solo sem tratamento prévio. Gases emitidos e odores formados durante a degradação dos dejetos são importantes evidências do impacto ambiental que podem ser causados. A amônia gera diversos danos aos animais, aos humanos e ao meio ambiente. No processo de compostagem é muito comum a grande volatilização de amônia, devido principalmente ao excesso de esterco misturado ao pó de serra, na maioria das vezes, fazendo com que a relação C/N (Carbono/Nitrogênio) seja muito baixa, favorecendo a liberação de amônia, consequentemente reduzindo as quantidades de nitrogênio no composto.

Resultados de pesquisas relatam que a aplicação de esterco de suínos, bovinos e de aves de corte em desconformidade com as recomendações técnicas, trazem sérias consequências ao meio ambiente, como a fertilização excessiva do solo, com alto teor de nutrientes, resultando em contaminação de águas subterrâneas, eutrofização de águas superficiais (HSU & LO, 2001; Ceretta *et al.*, 2003; Palhares & Calijuri, 2007) e contaminação atmosférica (Sommer *et al.*, 2007). Neste sentido, é importante que se tenha um tratamento adequado para este tipo de substâncias, reduzindo seus impactos ambientais. Diversas são as opções disponíveis para o manejo e o tratamento dos dejetos de aves poedeiras. Cada uma delas tem sua indicação, dependendo das características individuais de cada propriedade e dos dejetos ali produzidos. A compostagem é um processo natural de degradação biológica aeróbica de substratos orgânicos, que sob condições ideais, permite o desenvolvimento de altas temperaturas, e decomposição da matéria orgânica, produzindo um composto para aplicação no solo, sem efeitos ambientais indesejáveis. Esse processo de compostagem pode proporcionar um tratamento ideal para o esterco de galinhas, produzindo um fertilizante orgânico mais estável e em melhores condições sanitárias (Tiquia *et al.*, 1998; Vinnerás, 2007; Gonçalves & Marin, 2007).

É importante que se tenha conhecimento da legislação brasileira no que diz respeito ao seu controle, registro e uso no solo desses resíduos de origem animal. Pode-se citar como exemplo a IN 25/2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (que trata dos biofertilizantes) e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 452/2009 (estabelece as concentrações máximas de alguns parâmetros no solo). Diversas são as opções disponíveis para o manejo e o tratamento dos dejetos de aves poedeiras. Os primeiros passos a serem tomados são o gerenciamento da produção de dejetos e a escolha do tratamento.

Para a obtenção de um bom composto é necessário considerar os fatores que influenciam no processo de compostagem. O fator mais importante é a relação C/N, visto que o crescimento e diversidade de micro-organismos relacionam-se com a concentração de nutrientes, responsáveis por fornecer material para a síntese protoplasmática e a energia necessária para o crescimento celular (Trombin *et al.*, 2005). Segundo Kiehl (2001) a relação C/N inicial deve estar entre 25:1 a 35:1, pois os microrganismos absorvem C e N sempre na relação adequada. O fator relação C/N influenciará o tempo de maturação do composto, pois quando a relação for muito elevada o tempo de compostagem será maior, pois faltará N para os microrganismos, e se for muito baixa, o excesso de N será eliminado pelos microrganismos na forma de amônia.

Apesar dos estudos existentes sobre o assunto, percebe-se a necessidade de pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem, a fim de produzir um material de melhor qualidade para o solo, quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas. Partindo desse conceito, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da compostagem de dejetos de galinhas poedeiras misturadas com serragem, em campo, levando em consideração diferentes proporções de serragem e dejetos, na qualidade final do composto quanto a disponibilidade de nutrientes como fertilizante orgânico.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Compostagem

Na compostagem ocorre uma decomposição/estabilização controlada da matéria orgânica, onde micro-organismos, principalmente fungos e bactérias, vão

atuar de forma a degradar as moléculas mais complexas presentes, fazendo com que alguns nutrientes essenciais para o desenvolvimento dos vegetais e presentes na matéria orgânica inicial, se tornem disponíveis para serem absorvidos pelas plantas. Assim, o composto orgânico formado ao final do processo pode ser utilizado como corretivo de solos, como adubo orgânico, ajudando a recuperar solos pobres ou deteriorados, ou melhorando as características gerais do solo onde são aplicados (Castaldi, et al., 2005). O produto resultante do processo de compostagem é chamado de composto orgânico que, conforme Lima (2004) é também conhecido como o fertilizante orgânico. Esse produto possui uma abundância de nutrientes, o que o torna adequado para diversas finalidades (Turovskiy; Mathai, 2006).

2.1.1. Fases da compostagem

A compostagem é um processo bioquímico exotérmico, tendo como resultado do processo a liberação de CO₂, água e energia em forma de calor. Durante o processo são visíveis 3 fases distintas: a primeira fase é onde ocorre o aquecimento do material (2-3 dias), fase em que ocorre desprendimento de calor, vapor d'água, CO₂, ocorrendo uma reação ácida dos materiais, diminuindo assim o pH do material (fase mesófila). Após essa fase, o material chega a altas temperaturas. Em torno de 60-70°C, ocorrendo a morte de micro-organismos fitopatogênicos, além de sementes viáveis de plantas daninhas, um dos principais objetivos da compostagem e parâmetros de avaliação do processo. Essa última fase, denominada termófila, pode ter duração de até 60-90 dias. Posteriormente a esta fase, encontram-se as fases de semi-cura e de bioestabilização do material e humificação, que dura aproximadamente entre 7-20 dias, acompanhada da redução de temperatura e da mineralização de determinados nutrientes provenientes da matéria orgânica (Kiehl, 1998), conforme mostrado na Figura 1.

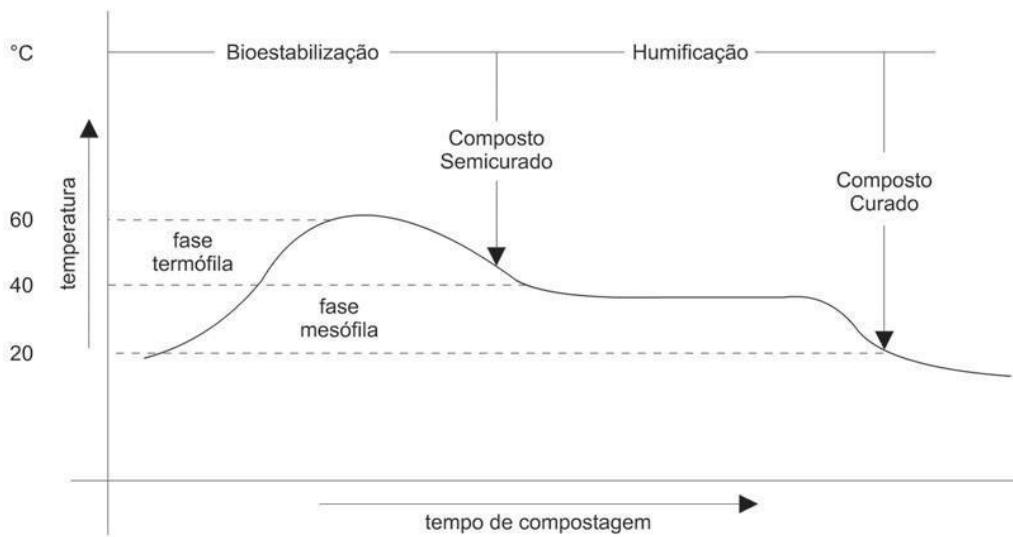


Figura 1. Fases do processo de compostagem em função da temperatura e da composição dos produtos utilizados no processo (relação C/N principalmente).

Fonte: D'Almeida & Vilhena (2000).

2.1.2. Materiais que podem ser compostados

Praticamente todo e qualquer material, exceto vidros, plásticos, tintas, óleos, metais e pedras, podem ser submetidos a este processo para o seu tratamento e produção de um composto orgânico, o qual pode ser utilizado como um fertilizante. Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em C e a dos materiais ricos em N. Entre os materiais ricos em carbono podemos considerar os materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas, fenos e papel. Entre os materiais nitrogenados incluem-se as folhas verdes, estercos animais, urinas, solo e restos de vegetais hortícolas (Kiehl, 2001). A tabela 1 abaixo indica alguns materiais que podem ser compostados.

Tabela 1. Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110°C).

| MATERIAL | M.O. (g/kg) | C/N | C (g/kg)* | N (g/kg) | P ₂ O ₅ (g/kg) | K ₂ O (g/kg) |
|--------------------------|----------------|-------|--------------|-------------|---|----------------------------|
| Abacaxi (fibras) | 714,1 | 44/1 | 396,0 | 9,0 | - | 4,6 |
| Arroz (cascas) | 850,0 | 63/1 | 472,5 | 7,5 | 1,5 | 5,3 |
| Arroz (palhas) | 543,4 | 39/1 | 304,2 | 7,8 | 5,8 | 4,1 |
| Bagaço de carne | 585,0 | 22/1 | 327,8 | 14,9 | 2,8 | 9,9 |
| Bagaço de laranja | 225,1 | 18/1 | 127,8 | 7,1 | 1,8 | 4,1 |
| Borra de café | 867,9 | 25/1 | 477,5 | 19,1 | 1,7 | 0,2 |
| Capim-colonião | 910,3 | 27/1 | 504,9 | 18,7 | 5,3 | - |
| Esterco de gado | 621,1 | 18/1 | 345,6 | 19,2 | 10,1 | 16,2 |
| Esterco de galinha | 540,0 | 10/1 | 304,0 | 30,4 | 47,0 | 18,9 |
| Feijão guandu | 959,0 | 29/1 | 524,9 | 18,1 | 5,9 | 11,4 |
| Grama batatais | 908,0 | 36/1 | 500,4 | 13,9 | 3,6 | - |
| Serrapilheira | 306,8 | 17/1 | 163,2 | 9,6 | 0,8 | 1,9 |
| Serragem de madeira | 934,5 | 865/1 | 519,0 | 0,6 | 0,1 | 0,1 |
| Torta de usina de açúcar | 787,8 | 20/1 | 438,0 | 21,9 | 23,2 | 12,3 |
| Turfa | 398,9 | 57/1 | 222,3 | 3,9 | 0,1 | 3,2 |

Fonte: Adaptado de Kiehl (1981 e 1985).

* o teor de C (g/kg) foi calculado com base na relação C/N e teores de N informados pelo autor.

2.1.3. Fatores que afetam a compostagem

Vários fatores podem afetar o processo de compostagem, afetando a velocidade da reação e o seu desempenho. Entre os principais fatores podemos indicar a relação C/N, temperatura, umidade, pH e aeração, fatores fundamentais para o desenvolvimento microbiano e bioestabilização da matéria orgânica.

a) Relação C/N

A relação C/N é um índice fundamental para o desenvolvimento de micro-organismos, e o processo de compostagem, já que a atividade dos micro-organismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (Sharma *et al.*, 1997). Desta forma, a relação C/N deve ser determinada no material a ser compostado, para efeito de balanço de nutrientes, e também no produto final, para efeito de qualidade do composto (Morrel *et al.*, 1985). Segundo Kiehl (1998), o acompanhamento da relação C/N durante a compostagem permite conhecer o andamento do processo, pois quando o composto atinge a semicura, ou bioestabilização, a relação C/N se situa em torno de 18/1, e quando atinge a maturidade, ou seja, transformou-se em produto acabado ou humificado, a relação C/N se situa em torno de 10/1.

Resíduos ou a mistura de materiais com relação C/N baixa, atingem uma relação C/N em torno de 10/1 de forma mais rápida, porém perdem N na forma amoniacal, prejudicando a qualidade do composto. Os organismos tendo a disposição alto teor de nitrogênio e baixo C como fonte de energia utilizam todo o carbono disponível e eliminam o excesso de nitrogênio na forma amoniacal. As perdas de nitrogênio são mais pronunciadas na fase termófila e com pH na faixa da alcalinidade a qual favorece o desprendimento de amônia, volatilização essa auxiliada pela elevada temperatura e pelo revolvimento que vem sendo submetido (Kiehl, 2004).

Por outro lado, quando um fertilizante orgânico com alta relação entre C/N é aplicado no solo, ocorre o seguinte: os microrganismos captam o nitrogênio do solo para reduzir a elevada proporção de carbono em relação ao nitrogênio. Nessa faixa de C/N a imobilização>mineralização, ou seja, os nutrientes são indisponibilizados para as plantas. A falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será todo degradado, isso fará que a temperatura não aumente, o processo levará mais tempo e o produto final apresentará baixos teores de matéria orgânica.

A quantidade de N exigida por unidade de C varia com os tipos de microrganismos envolvidos no processo (Peixoto, 1988). Pereira Neto (2007) afirma que o tempo necessário para que se processe a decomposição e a mineralização é, em grande parte, determinado pela concentração de N da matéria orgânica. Porém, Costa (2005) salienta que a qualidade do C a ser digerido também interfere na velocidade e na quantidade que será transformado em CO₂ durante a compostagem. Diversos pesquisadores afirmam que a relação C/N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 (Zucconi e Bertoldi, 1986; Lopez-Real, 1994; Fong *et al.*, 1999; Kiehl, 2004), uma vez que durante a decomposição os microrganismos absorvem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (Gorgati, 2001; Kiehl, 2004).

No entanto, Imbar *et al.*, (1993) e Silva (2005) utilizando diferentes fontes de dejetos e resíduos da produção animal e vegetal, apresentando como consequência uma variação bastante grande na relação C/N inicial, desde 5/1 até 513/1. Sabe-se que a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e a demanda de C é maior que a do N. Apesar da grande diferença entre as demandas, a carência de N é limitante no processo, por ser

essencial para o crescimento e reprodução dos microrganismos. Quando parte do C disponível é de difícil degradação, como a celulose, a lignina e a hemicelulose, é aconselhável uma relação C/N inicial maior, pois o C biodisponível é inferior ao C total. Apesar dos valores sugeridos pelos pesquisadores para a relação C/N ótima na compostagem, constata-se que não poderá ser um valor absoluto, mas sim, que deve variar com as características do material a compostar. De acordo, Imbar *et al.* (1993) e Silva (2005) afirmam que além da natureza do material, a condução da compostagem também afeta de maneira significativa a concentração de C total durante o processo de compostagem.

b) Temperatura

De acordo com Kiehl (1998), no processo de compostagem a atividade microbiológica atinge alta intensidade, provocando a elevação da temperatura no interior das leiras, chegando a valores de até 65°C, ou mesmo superiores, em decorrência da geração de calor pelo metabolismo microbiológico de oxidação da matéria orgânica, que é exotérmico. As altas temperaturas são consideradas desejáveis pelo fato de eliminarem sementes de plantas daninhas e organismos patogênicos, porém temperaturas prolongadas de 70-75°C reduzem a atividade benéfica microbiana e aumenta a possibilidade da perda de N (Bidone & Povinelli, 1999; Kiehl, 2004). Sendo assim, a qualidade de um composto pode ser medida por meio de sua estabilidade e humificação (Lima, 2006). Conforme Miller (1992), um composto humificado é aquele que não produz efeitos inibitórios ou fitotóxicos às plantas. Tiquia & Tam (1998) utilizando material proveniente de compostagem de cama de suínos, que recebeu a adição de dejetos líquidos, observaram que a fitotoxicidade do material para a germinação de sementes é significativamente afetada pelo tempo de compostagem. No dia zero de compostagem, devido à alta toxicidade do material, praticamente não ocorreu germinação das sementes e, no 49º dia de compostagem, a germinação chegou a valores de 80 a 100%, similares ao controle. Este aumento no percentual de germinação se deve ao fato do processo de compostagem eliminar os fatores fitotóxicos à medida que ocorre a maturação do material.

O desenvolvimento da temperatura está relacionado com vários fatores: materiais ricos em proteínas, com relação C/N baixa, tendem a aquecer mais rapidamente e alcançam maior temperatura que os celulósicos, com elevada relação

C/N. Materiais peneirados e moídos, com granulometrias menores, tendem a distribuir e minimizar as perdas de calor para o ambiente. Além disso, umidade e aeração inadequada no interior das leiras de compostagem podem desacelerar ou até mesmo paralisar o processo de compostagem.

Na Figura 1, mencionada anteriormente, o processo de compostagem inicia com temperatura ambiente, passando rapidamente pela fase mesófila, subindo para termofílica em até 2-3 dias, onde se mantém em um espaço de tempo. Prosseguindo a decomposição, se não faltar água ou oxigênio, a medida que os estoques de C são exauridos, a temperatura decresce gradualmente até igualar-se à temperatura ambiente em um prazo de 90-120 dias (Vinneras & Jonsson, 2002). Nesta fase final surgem novamente as comunidades mesófilas, que irão atuar na humificação do composto (Zucconi & Bertoldi, 1986), através da degradação de compostos mais resistentes como a hemicelulose e a lignina (Tuomela *et al.*, 2000), o que leva a obtenção de um produto final com pH variando entre 7,0 e 8,0 e com relação C/N de 10/1 (Kiehl, 1985).

c) Umidade

A umidade é um fator limitante no processo de compostagem, pois, a água é fundamental para microrganismos aeróbios decompõeadores da matéria orgânica no processo de compostagem. Manter as condições ideais de umidade permite que ocorram trocas gasosas, transporte de produtos decompostos e que a temperatura se mantenha elevada (Fernández, 2008). A oxigenação e a umidade são dois aspectos que se relacionam, uma vez que, em função da eficácia na aeração e as características dos materiais compostados, como estrutura e porosidade, tem-se o teor de umidade ideal no composto (Bidone & Povinelli, 1999).

A faixa ideal de umidade para a compostagem aeróbia encontra-se entre 50-60%, sendo que com a aeração tende a diminuir com o decorrer do processo. Teores de umidade abaixo de 40% limitam a atividade microbiana podendo até ser interrompida. Teores acima de 65% podem tornar o ambiente anaeróbio, impedindo a ação de microrganismos aeróbios (Kiehl, 2001; Bidone & Povinelli, 1999).

d) Aeração

Os microorganismos aeróbios necessitam de oxigênio para efetuar seu metabolismo. O consumo de oxigênio depende, principalmente, da temperatura, da

umidade, e da granulometria do material que passará pelo processo, bem como a intensidade de revolvimentos ou intensidade de arejamento das pilhas. Vista em corte, a pilha de compostagem apresenta variações no teor de oxigênio, sendo que na extremidade pode-se encontrar um teor entre 18-20% de [O₂], partindo para as áreas mais internas com teores variando entre 0,5-2% de [O₂]. Considera-se um teor ideal de 5% na fase termófila para garantir a decomposição aeróbia, porém já se encontrou no centro da pilha teores de oxigênio igual a 0,5% sem que houvesse sintomas de anaerobiose (Kiehl, 2001).

e) pH

Durante o processo à medida que os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica libertam-se ácidos que se acumulam e acidificam o meio (pH 5,0-6,0). Esta redução no pH favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose e de lignina. Posteriormente ocorre também à formação de ácidos húmicos, que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos (Sharma *et al.*, 1997; Jahnel *et al.*, 1999; Dai Prá, 2006). Desta forma, o pH do composto aumenta à medida que o processo se desenvolve, atingindo muitas vezes, níveis superiores a 8,0 (Kiehl, 2004). No entanto, se existir escassez de oxigênio o pH poderá descer a valores inferiores a 4,5 e limitar a atividade microbiana, retardando, assim, o processo de compostagem. Nestes casos deve-se remexer as pilhas para o pH voltar a subir (Kiehl, 2004).

Em experimento, visando estudar a compostagem de dejetos sólidos de suínos misturados com serragem, Zhang & He (2006) demonstraram que inicialmente o valor do pH encontra-se levemente ácido e, ao longo do processo torna-se alcalino, sendo que ao final torna-se novamente ácido, porém em valores próximos da neutralidade, sendo um importante indicativo de estabilização da biomassa. Entretanto, Deon *et al.* (2007) estudaram a compostagem da mistura de resíduos alimentares com restos de jardim e concluíram que o pH do composto, ao longo do período, permaneceu constante, em torno de 7-8.

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 encontra ativas nesta faixa de pH (Rodrigues *et al.*, 2006). Porém, Pereira Neto (2007) afirma que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de pH entre 4,5 e 9,5, sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos

micro-organismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio.

f) Microrganismos

De acordo com Silva *et al.* (2003) e Neto (2006), é possível identificar uma grande diversidade de microrganismos aeróbios em um processo de compostagem, sendo principalmente, bactérias, actinomicetos, leveduras e fungos.

No início da compostagem iniciam-se as degradações de compostos mais simples, como açúcares, degradados por bactérias e fungos mesófilos, liberando calor (Azevedo, 2007). Segundo Hassen *et al.* (2001), o número pode variar entre 10^9 UFC/g e $5,8 \times 10^9$ UFC/g, populações essas consideradas elevadas, sendo principalmente *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Streptococcus sp.*, *Escherichia sp.*, *Proteus sp.* (Taiwo e Oso, 2004).

Com o aumento de calor, dá espaço para a colonização de fungos e bactérias termófilas, ocorrendo degradação de moléculas mais complexas, como lignina e celulose. Nessa fase há grande predominância de actinomicetos, Taio e Oso (2004) indicaram a presença de *Streptomyces sp.*, *Actinomyces sp.*, e *Steptosporangium*, *Penicillium*, *Cladosporidium*, *Trichoderma*, entre outros. Após esse ciclo de metabolização da matéria orgânica, ocorre um decréscimo de temperatura, reduzindo significativamente a diversidade de microorganismos.

g) Granulometria

As partículas não devem ser muito pequenas para evitar a compactação durante o processo de compostagem, comprometendo a aeração. Por outro lado, resíduos com colmos inteiros retardam a decomposição por reterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microrganismos (exemplo, colmos de milho). Restos de culturas de soja e feijão, gramas folhas, por exemplo, podem ser compostados inteiros. Alguns autores obtiveram condições ótimas de compostagem com substratos apresentando de 30 a 36% de porosidade. De modo geral, o tamanho das partículas deverá estar entre 25 e 75 mm, para melhores resultados.

2.2. Perdas de nitrogênio na compostagem

No Brasil, a compostagem predomina no tratamento de estercos em geral. Todavia, há perdas consideráveis de N durante este processo, em razão das formas lábeis de N no esterco converterem-se em formas gasosas mais voláteis, sobretudo nas formas de N-NH₃ (amônia), N₂O (óxido nitroso) e N₂ (Fukumoto *et al.*, 2011). As perdas de N via chorume e na forma de gases podem poluir o solo, água e ar. Além disso, alguns dos gases nitrogenados produzidos durante a compostagem contribuem para o aquecimento global, e as formas sólidas de N, para a eutrofização e acidificação de biomas (Ogunwande *et al.*, 2008).

Alguns fatores intrínsecos ao processo da compostagem e à composição do esterco de galinha podem reduzir o valor agronômico do composto, sobretudo em função das perdas de nitrogênio. Dentre estes fatores, destacam-se a alta concentração de nitrogênio amoniacal e compostos nitrogenados de elevada labilidade presentes nos estercos, aliada à baixa relação C/N e pH inicial elevado do esterco de galinha (Steiner, *et al.*, 2009). Com relação ao processo da compostagem, destaca-se a aeração das pilhas de compostagem durante o revolvimento (Szanto *et al.*, 2007), e a elevação do pH e da temperatura, sobretudo na fase termofílica (Jiang *et al.*, 2013), uma das fases críticas da compostagem. A volatilização da amônia é uma desvantagem, especialmente para a compostagem de materiais ricos em nitrogênio e de baixa relação C/N, como o esterco de aves (Jiang *et al.*, 2013), além disso pode ser prejudicial ao bem estar dos animais, pessoas e do meio ambiente. A tabela 2 abaixo 1 estão apresentados os teores de amônia e seus principais efeitos adversos em humanos e animais (Wathes *et al.*, 1997; Owada *et al.*, 2007).

Tabela 2. Efeitos adversos de diferentes concentrações de amônia nos sistemas de produção animal.

| Amônia(ppm) | Humanos | Animais |
|-------------|--|--|
| 5 | Detectável apenas por algumas pessoas (Ritz <i>et al.</i> , 2005) | |
| 10 | Facilmente detectável pelo cheiro (Ritz <i>et al.</i> , 2005) | |
| 20 | Limite de tolerância recomendado no conteúdo do ar em ambientes frequentados por trabalhadores com jornadas de trabalho de até 48 horas semanais. Nessa concentração o ambiente é considerado medianamente insalubre pela NR-15 (ABNT, 1978) | As aves começam a sentir-se mal. Concentração máxima recomendada para o interior das instalações de produção animal (Wathes <i>et al.</i> , 1997; Owada <i>et al.</i> , 2007) |
| 25 | Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 8 horas de permanência no ambiente (Niosh, 2001) | Diminuição significativa do peso corporal final dos frangos de corte expostos durante toda a fase de criação, chegando a ocorrer perdas de peso de 90g por aves ao final do lote (Lott & Donald, 2003) |
| 30 | Tosse, dificuldade respiratória, secreção de saliva, formação de catarro, retenção de urina (Donham, 2000) | |
| 35 | Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 15 minutos de permanência no ambiente (Niosh, 2001) | |
| 50 | Irritação nos olhos. Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 5 minutos de permanência no ambiente (NIOSH, 2001) | Irritação nos olhos, queda na produção pela incidência de doenças como: aumento da secreção lacrimal, traqueíte catarral, queratoconjuntivite e fotofobia (Café & Andrade, 2001) |
| 100 | Queimadura nos olhos, cegueira temporária, irritação na pele (PERRY, 2003) | Imediata redução da taxa de respiração prejudicando os processos fisiológicos de trocas gasosas quando chega a corrente sanguínea, esse efeito tóxico pode levar a óbito (Curtis, 1983) |
| 500 | Acesso de tosse violento, forte irritação nos pulmões, edema pulmonar e até mesmo morte (PERRY, 2003) | Dose letal mesmo durante curtos períodos de exposição (Groot Koerkamp <i>et al.</i> , 1998) |

Tendo em vista as principais causas do aumento das taxas de volatilização da amônia, as estratégias para a redução das perdas de N volatilizado incluem o controle de um ou vários de seus fatores condicionantes. Alguns autores consideram a incorporação de resíduos com elevada relação C/N como uma forma alternativa para reduzir as perdas de nitrogênio em decorrência da volatilização da amônia, sendo o bagaço de cana e a serragem comumente utilizados com esse propósito (Fukumoto *et al.*, 2011). O emprego desses componentes visa à imobilização do íon amônio, o que reduziria a conversão do mesmo a amônia (Hao & Benke, 2008).

2.3. Fatores de maturação do composto

A maturação na compostagem pode ser definida como o grau no qual o produto final está livre de substâncias fitotóxicas que podem retardar ou reduzir a germinação de sementes ou causar danos às plantas ou organismos presentes no solo (Brewer & Sullivan, 2001). A avaliação da maturidade de compostos orgânicos tem sido reconhecida como um dos mais importantes problemas relacionados ao processo de compostagem e utilização agrícola segura do produto final. Um desafio tem sido a utilização de métodos precisos para avaliar a maturidade dos compostos (Garcia *et al.*, 1991).

Na literatura brasileira são encontradas referências relacionadas à aplicação dos compostos e seu efeito em solo, planta, sendo observado, no entanto, uma escassez de trabalhos que abordem a definição de parâmetros de maturação simples e seguros, o que melhoraria a eficiência do processo de compostagem, resultando na produção de compostos com maior qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes e como condicionadores de solo. Silva *et al.* (2009), o qual avaliou parâmetros químicos como preditivos da maturação e qualidade de compostos orgânicos, identificou que materiais que passaram de temperaturas de 50-60º C, mantendo-se nessa faixa por até 40 dias, apresentaram redução de temperatura, chegando ao final de 90 dias com valores estáveis de temperatura próximas a ambiente. Além disso, a relação C/N tem sido usada como parâmetro de maturação por vários autores (Kiehl, 1985; Rivera-Rosário, 2003; Benito *et al.*, 2003; Loureiro *et al.*, 2007).

É consenso entre esses autores que quando a relação C/N está em torno de 18/1, o composto atingiu a fase de semi-cura ou bioestabilização e a relação C/N em torno de 10/1 configura um composto humificado, valores encontrados por ao final de 90 dias de compostagem. Entre os outros parâmetros analisados, foram relatados

valores próximos a neutralidade de pH, reduções na condutividade elétrica. Kiehl (2002) alerta que a condutividade deve reduzir em até 50% da leitura inicial, e observou-se um decréscimo das concentrações de NH₄⁺ (amônio) e um acréscimo nas concentrações de NO₃ (nitrato). De acordo com Jodice (1989), o índice de polimerização (IP), ou humificação, expresso pela relação IP=C-AH/C-AF para composto bem humificados, deve apresentar valores maiores que 1,5. No estudo de Jodice (1989), os compostos orgânicos apresentaram valores de IP condizentes com os de compostos humificados a partir dos 90 dias, sendo que, somente aos 120 dias, todos os compostos avaliados apresentaram valores maiores que 1,5.

Em 23 de julho de 2009 foi publicada a instrução normativa n. 25 (MAPA), onde foram apresentados as classes e os padrões de qualidade específicos para os fertilizantes orgânicos. Nela foram estabelecidas as garantias que deve apresentar o fertilizante orgânico compostos para ser comercializado, dentre elas o carbono orgânico total (mínimo de 15%), o nitrogênio total (mínimo de 0,5%), o pH (mínimo de 6,0), a relação C/N (máximo de 20/1) e a umidade (máximo de 50%). A Instrução Normativa n. 27, de 05 de junho de 2006, estabelece as concentrações máximas admitidas pelos agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, contidos em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Dessa forma, todos os compostos produzidos devem seguir essas regras estabelecidas nas INs (MAPA) mencionadas acima, para que sejam comercializados de acordo com a legislação vigente.

3. Objetivos

O objetivo do trabalho é avaliar o processo de compostagem de dejetos de galinhas poedeiras e serragem, em campo, levando em consideração diferentes proporções de serragem e dejetos de galinhas poedeiras, avaliando a qualidade final do composto quanto ao teor de nutrientes.

4. Material e métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Nova Aliança, localizada na cidade de Tatuí-SP, entre os meses de maio a agosto de 2020. As análises de qualidade

foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo, localizado no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP.

4.1. Montagem do experimento

O experimento foi conduzido no campo de compostagem da Fazenda Nova Aliança. Para o processo de compostagem foi utilizado pó de serra (serragem) com dejetos de aves, depositados no campo em forma de leiras (figura 4 e 5) (2,0 m x 5,0 m x 1,20 m) de acordo com os tratamentos a seguir:

- Tratamento 1: 75% de esterco fresco ($6m^3$) + 25% de serragem ($2m^3$).
- Tratamento 2: 50% de esterco fresco ($4m^3$) + 50% de serragem ($4m^3$).
- Tratamento 3: 25% de esterco fresco ($2m^3$) + 75% de serragem ($6m^3$).

Em cada tratamento foram realizadas 3 repetições, totalizando no total 9 leiras em um delineamento inteiramente casualizado. Todas as leiras foram reviradas e umedecidas duas vezes por semana, preservando assim as condições ideais de aeração e umidade na compostagem. As amostragens foram realizadas no dia “0”, aos 45 dias e aos 90 dias, indicando o final do experimento. Foram coletadas aproximadamente 10 amostras por leira, com cerca de 2 kg, homogeneizadas e fracionadas a uma amostra composta, com aproximadamente 500 gramas (figura 2).



Figura 2. Representação da coleta das amostras.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de análise de solos da ESALQ-USP, onde foram realizadas as análises de pH, Matéria Orgânica Total, Carbono orgânico, Nitrogênio total, P₂O₅ total (Fósforo), K₂O total (Potássio), Ca total (Cálcio), Mg total (Magnésio), S total (Enxofre), relação C/N, densidade e umidade. Para avaliação do processo de compostagem nesse estudo, foi realizada também a caracterização dos materiais utilizados no experimento, esterco de galinhas poedeira e pó de serra (figura 3), coletando 500 gramas de cada um desses materiais.



Figura 3. Esterco de galinhas poedeiras (a) e pó de serragem (b) utilizados para a compostagem.

Além disso, foi realizado o acompanhamento de temperatura das leiras ao longo do processo de compostagem, sendo realizados três vezes por semana (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), a partir do dia da montagem das leiras até o último dia do projeto. A medição de temperatura foi realizada através de um termômetro do tipo sonda, com comprimento de 40 centímetros (figura 6). Para o registro de temperatura foram considerados a média de 3 medições de temperatura em pontos distintos da leira.

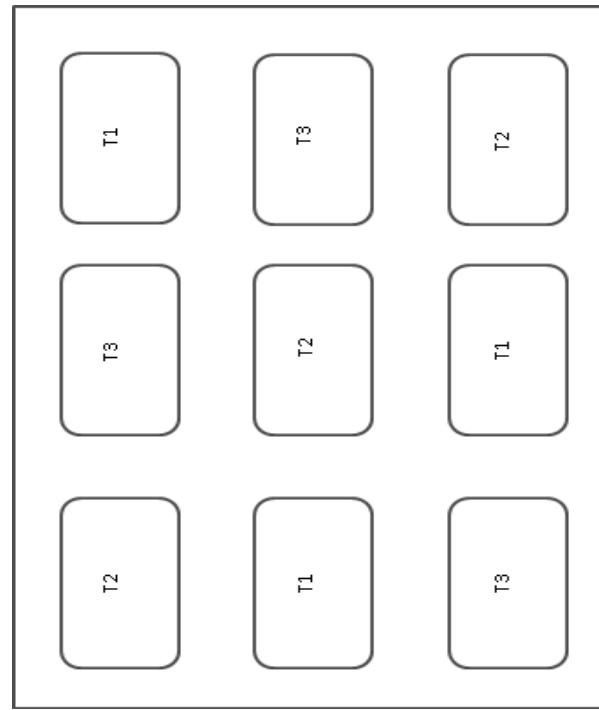


Figura 4. Delineamento experimental e distribuição dos tratamentos na área do projeto.

Sendo:

T1 = Tratamento 1

T2 = Tratamento 2

T3 = Tratamento 3



Figura 5. Montagem do experimento no dia 22/05/2020, na área experimental da Fazenda Nova Aliança.



Figura 6. Representação da medição de temperatura em uma das leiras.

4.2. Análise estatística

As análises univariadas (teste F e teste de Tukey) foram utilizadas para discriminar as médias de pH, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio total, C orgânico, P₂O₅ total, K₂O total, Ca total, Mg total, S total, relação C/N, densidade e umidade. Todos os testes foram com 5% de significância, sendo comparados apenas dentro de cada tempo de avaliação, não sendo comparados os tempos de compostagem. O programa Statistica versão 8.0 (Statsoft, 2007) foi utilizado para as análises estatísticas.

5. Resultados

5.1. Caracterização inicial das amostras

Na tabela 3 estão apresentadas as caracterizações químicas do pó de serra e esterco de galinhas utilizados nas misturas dos tratamentos.

Tabela 3. Caracterização do esterco de galinhas e do pó de serra antes do estabelecimento dos tratamentos, em base seca (65°C).

| Determinações | Esterco (seco) | Pó de serra |
|--|----------------|-------------|
| pH (CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹) | 9,3 | 4,5 |
| Densidade (Resíduo Orgânico) - g/cm ³ | 1,2 | 0,18 |
| Umidade Total (%) | 74,85 | 42,46 |
| Matéria Orgânica Total (Combustão) (%) | 56,96 | 94,34 |
| Carbono Orgânico (%) | 27,46 | 50,43 |
| Nitrogênio Total (%) | 2,79 | 0,22 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) Total (%) | 3,57 | 0,10 |
| Potássio (K ₂ O) Total (%) | 2,36 | 0,03 |
| Cálcio (Ca) Total (%) | 11,39 | 0,38 |
| Magnésio (Mg) Total (%) | 0,46 | 0,02 |
| Enxofre (S) Total (%) | 0,21 | 0,10 |
| Relação C/N | 10,0 | 233 |

Através dos resultados apresentados na tabela 3, percebe-se que os estercos de aves poedeiras possuem baixo teor de C, e alto teor de N quando comparados com a serragem (pó de serra). Já a serragem possui alto teor de C, e baixo de N. Materiais

vegetais geralmente palhosos e acastanhado, como madeiras e vegetais secos são ricos em carbono. Já os resíduos de alimentos e estercos de animais são materiais ricos em nitrogênio (Oliveira et al., 2008). Nesse sentido, o uso da serragem em compostagem com dejetos avícolas, ao mesmo tempo em que permite balancear a relação C/N, absorve umidade, e fornece porosidade apropriada, apresentando-se como bom material estruturante, auxiliando o andamento do processo de compostagem.

Kiehl (1995) apresentou valores de N e P em dejetos de galinhas poedeiras de 2,8 e 6,0%, demonstrando-se superiores aos encontrados neste trabalho, que foram de 2,79 e 3,57%, respectivamente. Os teores de K encontrados pelo mesmo autor foi de 1,7% para dejetos frescos, dessa vez inferior aos encontrados no presente trabalho que foi de 2,36%. Como mencionado por Kiehl (1985), os dejetos de galinhas poedeiras são mais ricos em nutrientes que os outros animais domésticos, devido ao fornecimento de rações concentradas, principalmente de N, P e Ca, responsáveis diretamente pela qualidade do ovo e da casca. Podemos destacar o valor elevado de Ca quando comparado aos outros nutrientes em função da alta concentração do calcário fornecido diretamente na formulação da ração.

Em projeto de compostagem realizado em Pelotas-RS (Jahnke, 2012), identificaram valores para serragem de pH 6,65; N sendo 0,28%, C sendo 55,31%; relação C/N 198,1; P de 0,19%; K de 0,36%; Mg 0,42%. Valores próximos aos resultados obtidos aqui, porém destoam parcialmente os valores de pH, K e Mg. Assim como destoam um pouco dos resultados apresentados por Teixeira et al. (2004), de 98,03% de matéria orgânica, relação C/N de 131,50, pH 5,45, 0,44% de N, 0,06% de P₂O₅; 0,18% de K₂O; 0,10% de Ca, 0,03% de Mg, e 0,11% de S. Trombin et al. (2006) concluíram que a serragem adicionada a resíduos orgânicos domiciliares em sistema de compostagem, permitiu regular adequadamente o alto teor de umidade dos resíduos orgânicos, controlar a umidade e obter um composto seguro, livre de microrganismos patogênicos por ter alcançado temperaturas termofílicas, além de equilibrar a relação C/N.

Nota-se que a partir dos resultados podemos concluir que a baixa densidade da serragem quando comparada ao esterco de galinha, auxilia na estruturação e aeração do material. Além disso, o seu alto teor de carbono orgânico resulta em uma alta relação C/N, equilibrando-se quando misturado ao esterco.

5.2. Temperatura

Na figura 7 são apresentadas as curvas de temperatura dos materiais durante os 90 dias de compostagem. As leiras sofreram revolvimentos semanalmente, porém o seu umedecimento não seguiu os critérios estabelecidos como ideais, como descritos anteriormente, devido a falta de recursos e a falha de máquinas utilizadas para tal função

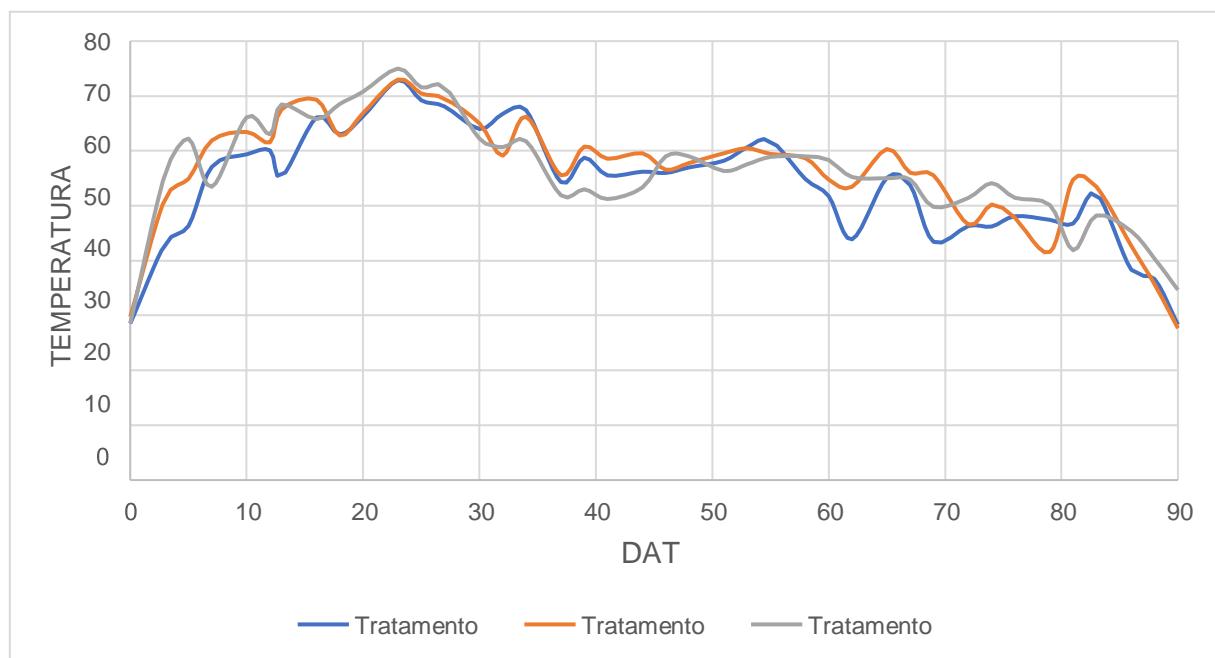


Figura 7. Temperatura média das leiras montadas a partir de frações de pó de serra e dejetos de galinhas poedeira, sendo T1 = 25/75 (v/v), T2= 50/50 (v/v) e T3= 75/25 (v/v), respectivamente.

Com base nos dados apresentados, nota-se que as leiras com maior teor de pó de serra (T3) em sua composição obtiveram curvas de aumento de temperatura mais acentuadas nas primeiras semanas, atingindo valores acima de 50°C já nos primeiros 3 dias, enquanto que o tratamento 1 obteve valores de temperatura maiores que 50°C após 10 dias de compostagem. O pico de temperatura de todos os tratamentos ocorreu no dia 15/06 (23 dias de compostagem), no qual tivemos valores de temperatura de 72, 73 e 75°C para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, o que é fundamental para ocorrer a morte de micro-organismos fitopatogênicos, além de sementes viáveis de plantas daninhas. Após isso, os tratamentos começam a entrar em fase mesófila, por volta do dia 31/07 (70 dias de compostagem), definindo

quase 60 dias da fase termofílica, indicando que o material está entrando no seu período de maturação.

Esses valores de temperatura estão de acordo com a resolução Nº481, de 3 de outubro de 2017, decretada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que durante o processo de compostagem deverá ser garantido o período termofílico mínimo necessário para redução de agentes patogênicos, sendo de 15 dias para sistemas abertos de compostagem. Finalmente, na última semana de experimento (84-90 dias) ocorreu um decaimento expressivo da temperatura de todos os tratamentos, revelando uma fase de estabilização do composto.

Atagana (2003), estudando o processo de compostagem de dejetos de galinhas poedeiras no tratamento de solos contaminados, observou temperaturas das leiras em torno de 60°C na segunda semana e a partir da quarta semana a temperatura oscilou entre 35 e 45°C até o final do experimento. Esse aumento elevado da temperatura nos primeiros dias de compostagem se dá devido ao desenvolvimento de reações bioquímicas mais intensas, consequência da atividade microbiológica de degradação da matéria orgânica. Com a exaustão da fonte de carbono mais disponível, a temperatura diminui para próximo à 40°C, caracterizando o fim da fase termofílica (Vitorino & Pereira Neto, 1994). Diferentemente, nesse trabalho, as temperaturas chegaram em torno de 60°C em um pouco mais de uma semana, sendo que para o tratamento T3, esses valores já foram registrados após 5 dias da montagem do experimento. Além disso, só foram registrados valores próximos a 45°C após 60 dias, e apenas para o tratamento 1, após 62 dias de compostagem 44°C.

Todos os tratamentos apresentaram temperaturas elevadas, acima de 60 °C, logo no início do processo; em seguida, ocorreram reduções graduais até o momento em que foram realizados o segundo e o terceiro revolvimentos, quando ocorreram novas elevações da temperatura, conforme se observa na Figura 7. Este é um comportamento comumente observado em pilhas de compostagem e revela elevada atividade microbiana em todos os tratamentos estudados, independentemente do valor inicial da relação C:N (Tuomela *et al.*, 2000).

5.3. Características químicas das leiras no momento da montagem do experimento

Na tabela 4 abaixo são apresentadas as características químicas dos compostos coletados no dia zero, logo após a montagem das leiras compondo o experimento de compostagem.

Levando em consideração as condições ideais de compostagem, os valores ideais para relação C/N no início da compostagem devem estar entre 25 e 35/1, entretanto nenhum dos tratamentos apresentaram relação C/N inicial dentro dos parâmetros descritos por Rink (1992). Levando em consideração a umidade, podemos constatar que ambos os tratamentos apresentaram valores ideais de umidade para a decomposição da matéria orgânica ou levemente superiores a isso, sendo a faixa ideal de umidade para a compostagem encontra-se entre 40-60% (Kiehl, 2001; Bidone & Povinelli, 1999). Em relação ao pH, Silva et al. (2003) preconizam que o pH ideal para o início da compostagem fique entre 5,5 e 8,5, indicando valores ideais ou levemente acima disso para os três tratamentos testados aqui.

Tabela 4. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), densidade (g/cm³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N no primeiro dia de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância.

| Análises | T1 | T2 | T3 |
|--------------------------------|--------|---------|--------|
| pH | 8,56 a | 8,76 a | 8,50 a |
| Densidade (g/cm ³) | 0,90 a | 0,77 ab | 0,55 b |
| Umidade (%) | 61 a | 64 a | 58 a |
| MO (%) | 42,3 b | 48,6 b | 64,6 a |
| CO (%) | 20,3 b | 23,7 ab | 30,6 a |
| N (%) | 1,25 a | 1,11 a | 0,78 a |
| P (%) | 1,85 a | 1,99 a | 1,00 a |
| K (%) | 1,74 a | 1,01 a | 0,16 a |
| Ca (%) | 8,26 a | 7,10 a | 3,92 a |
| Mg (%) | 0,27 a | 0,23 a | 0,14 a |
| S (%) | 0,25 a | 0,22 ab | 0,12 b |
| C/N | 16,0 b | 21,3 ab | 45,0 a |

Com base na tabela 4 pode se observar diferenças entre os tratamentos quanto à densidade, matéria orgânica total, carbono orgânico, enxofre e relação C/N. Levando em consideração a densidade dos tratamentos, podemos concluir que o

tratamento 3 se difere do tratamento 1, sendo justificado pela quantidade de pó de serra adicionada, sendo que para o tratamento 1 foi incorporado 25% de pó de serra em volume, e para o tratamento 3 foi incorporado 75% de pó de serra. Sendo o pó de serra um material com baixa densidade, 0,18 g/cm³ conforme os resultados da análise (Tabela 3), o T3 apresentou uma densidade menor quando comparada ao T1, no qual apresentaram densidades de 0,90 g/cm³ e 0,55 g/cm³, respectivamente.

Levando em consideração apenas os macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg), nesta fase inicial houve diferenças entre os tratamentos apenas na concentração de S, sendo que o T1 apresentou valores maiores quando comparados ao T3, 0,25% e 0,12%, respectivamente. Apesar do esterco de galinhas poedeiras ser um material muito rico em nutrientes em relação ao pó de serra, levando a hipótese de que quanto maior a quantidade de dejetos nos tratamentos, maior será a concentração de macronutrientes no composto formado, essa hipótese só foi justificada em relação ao enxofre, que foi 2 vezes maior no T1.

Nota-se uma grande diferença na relação C/N entre os tratamentos 1 e 3, isso se dá principalmente ao fato de que o último tratamento apresentou teores de carbono orgânico superiores ao T3, pelo fato de ter em sua composição maiores quantidades de pó de serra, um material rico em carbono. Além disso, os teores de matéria orgânica, diferentes entre os tratamentos T1 e T3, podem ser justificados pela diferença de teores de carbono presentes na fração orgânica do material. Assim, o tratamento 3 apresentou maiores valores de MO em comparação aos T1 e T2.

5.4. Características químicas das leiras aos 45 dias de compostagem

A tabela 5 apresenta as características químicas dos compostos coletados aos 45 dias de compostagem. Com base nos dados podemos observar que não houve diferença significativa para os valores de pH para os três tratamentos, mantendo-se em valores próximos com os resultados encontrados na montagem das leiras. O pH dos resíduos orgânicos normalmente, no início do processo ficam na faixa de 5,0-6,0, podendo após alguns dias ocorrer ligeira queda, em virtude da produção de ácidos orgânicos (Kiehl, 2004)

. Entretanto, em poucos dias (2-7 dias), por causa da decomposição de proteínas solúveis, o pH passa a ficar na faixa neutra a levemente básica (7,0-8,5) (Azevedo, 1997; Baeta-Hall *et al.*, 2003). Como a amostragem foi realizada apenas

aos 45 dias, não se pode observar essa depleção inicial no valor do pH, com valores aos 45 dias acima de 8,5 para todos os tratamentos.

Tabela 5. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), densidade (g/cm³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N aos 45 dias de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância.

| Análises | T1 | T2 | T3 |
|--------------------------------|--------|---------|--------|
| pH | 8,83 a | 8,73 a | 8,63 a |
| Densidade (g/cm ³) | 0,88 a | 0,57 b | 0,42 b |
| Umidade (%) | 44 a | 46 a | 38 a |
| MO (%) | 31,2 a | 45,1 a | 42,9 a |
| CO (%) | 15,2 a | 22,8 a | 21,9 a |
| N (%) | 1,17 a | 1,12 a | 1,18 a |
| PO (%) | 2,73 a | 1,97 ab | 1,20 b |
| K (%) | 1,41 a | 1,31 a | 0,88 a |
| Ca (%) | 8,77 a | 7,03 ab | 5,14 b |
| Mg (%) | 0,34 a | 0,26 ab | 0,19 b |
| S (%) | 0,30 a | 0,21 a | 0,14 a |
| C/N | 13,0 a | 20,3 a | 18,6 a |

Em relação a densidade, houve diferença entre o tratamento 1 em relação ao T2 e T3 aos 45 dias de compostagem. Isso é justificado principalmente pelo tratamento 1 possuir proporções maiores de esterco de galinhas poedeiras em sua composição, sendo um material muito mais denso do que o pó de serra. Em relação a densidade ainda, apesar de uma perda considerada de umidade em relação ao início do processo de compostagem, não houveram grandes diferenças de densidade do início ao meio do processo. Segundo Leal et al. (2011), há um aumento da densidade no decorrer do processo atribuída à ação de macrofauna fragmentadora, e ao aumento da polimerização e humificação das substâncias orgânicas existentes no meio. Silva et al. (2009), em sua pesquisa, cita a existência de diversos trabalhos na literatura que associam o nível de maturidade de um composto orgânico aos compostos húmicos existentes no meio e ao seu grau de polimerização. A quantidade de água e frequência de umedecimento dos materiais não foram realizados na frequência adequada, o que pode influenciar no processo de compostagem, sendo o ideal uma faixa de 50-60%, estando todos os tratamentos abaixo dessa faixa.

Em relação aos parâmetros de Matéria orgânica Total e Carbono orgânico total não houveram diferenças significativas entre os parâmetros aos 45 dias de compostagem. Em relação ao início do experimento, houve grandes perdas de M.O. e C.O. no tratamento 3, o que se difere teoricamente da literatura, na qual as leiras com maior relação C/N (45, não ideal), indicam deficiência de nitrogênio, aumentando o tempo de decomposição. Isso é justificado em relação a sua relação C/N que decaiu para 18/1, e além disso houve um acréscimo visível em relação a todos os macronutrientes estudados.

No que se diz a respeito aos teores dos macronutrientes, não houve diferenças em relação aos Nitrogênio, Potássio, e Enxofre entre os tratamentos. Em relação ao Fósforo, Cálcio e Magnésio, foi observada a seguinte relação, o tratamento 1 foi superior ao tratamento 3, enquanto o tratamento 2 não se diferenciou significativamente entre os tratamentos 1 e 2, fato que ocorreu semelhantemente para os três nutrientes. No tratamento 1 o teor desses nutrientes foi consideravelmente maior, consequente da matéria prima predominante. Finalmente, em todos os tratamentos não ocorreram diferenças estatísticas para a relação C/N, sendo observado um decaimento da relação C/N e incremento em quase todos os nutrientes, acusando assim o processo adequado de compostagem.

5.5. Características químicas das leiras aos 90 dias de compostagem

Na tabela 6 abaixo são apresentadas as características químicas dos compostos coletadas aos 90 dias de compostagem. Com base nos resultados, podemos observar que não houve diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao valor de pH. Isso corrobora com Kiehl (1985), que ao final de 90 dias de compostagem encontrou valores levemente básicos na compostagem de materiais orgânicos. Assim como o pH, não houve diferenças significativas em relação aos valores encontrados de densidade.

Tabela 6. Teores de pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), densidade (g/cm³), umidade total, matéria orgânica total (%), carbono orgânico (%), nitrogênio total (%), fósforo total (%), potássio total (%), cálcio total (%), magnésio total (%), enxofre total (%) e relação C/N após 90 dias de compostagem. Os parâmetros foram comparados entre cada tratamento utilizando o teste F e Tukey a 5% de significância.

| Análises | T1 | T2 | T3 |
|--------------------------------|--------|---------|--------|
| pH | 8,70 a | 8,76 a | 8,63 a |
| Densidade (g/cm ³) | 0,56 a | 0,51 a | 0,40 a |
| Umidade (%) | 9 b | 22 a | 9 b |
| MO (%) | 34,3 a | 32,3 a | 38,3 a |
| CO (%) | 17,7 a | 16,4 a | 19,7 a |
| N (%) | 1,40 a | 1,19 a | 0,96 a |
| P (%) | 3,37 a | 1,64 b | 1,22 b |
| K (%) | 1,58 a | 0,90 ab | 0,36 b |
| Ca (%) | 9,57 a | 6,46 b | 5,27 b |
| Mg (%) | 0,41 a | 0,22 b | 0,17 b |
| S (%) | 0,24 a | 0,15 b | 0,11 b |
| C/N | 13,0 b | 14,0 b | 21,0 a |

Os valores de umidade no final do experimento para os 3 tratamentos foram relativamente baixos, obtendo-se materiais bem secos nos compostos finais. Isso tem influência direta no desenvolvimento de micro-organismos e consequentemente na taxa de degradação da matéria orgânica. Provavelmente houve uma redução da atividade biológica no processo, evidenciado pelas relações C/N entre os tratamentos, quando comparado aos valores encontrados aos 45 e 90 dias de compostagem. Aliado a isso essa estagnação do processo de compostagem pode ser evidenciada pela “baixa” alteração de Matéria Orgânica Total e Carbono Orgânico Total nos tratamentos. É exceção apenas o tratamento 2, que apesar de não ter diferenças estatísticas no seu teor de umidade perante os outros tratamentos, obteve um valor total de 22% de umidade, e assim, teve reduções visíveis em sua relação C/N e teores de M.O. e C.O.

Em relação aos macronutrientes, os três tratamentos não apresentaram variações nos teores de nitrogênio estatisticamente. Porém para os teores de Fósforo, Cálcio, Magnésio e Enxofre, o Tratamento 1 obteve concentrações maiores quando comparado ao tratamento 3, e não se diferenciando do tratamento 2, mantendo-se com o esperado e semelhantes as análises no dia 0 e 45. Tomando como base o final do experimento e a instrução normativa número 25, que especifica os teores máximos de umidade (50%), N total (mínimo 0,5%), Carbono orgânico (mínimo 15%), pH

(mínimo 6,0), e relação C/N (máximo 20/1), o único tratamento que apresenta valores destoantes é o tratamento 3, que possui uma relação C/N maior que 20/1, não podendo legalmente ser comercializado como fertilizante orgânico.

Concluindo, o tratamento 1 (25% pó de serra + 75% de esterco), obteve uma melhor qualidade em seu composto final, dados que se diferem da literatura, como por exemplo os dados apresentados por Hamoda *et al.* (1988), que testaram o efeito da relação C/N (15, 20 e 30) para proporções de casca de arroz e vegetais, que preconizaram uma relação ideal de 30/1 como sendo a ideal. Entretanto como mencionado em tópicos anteriores, existem divergências de relação C/N na compostagem, dependendo da sua condução e características intrínsecas aos resíduos sujeitos ao processo.

6. Considerações finais

Com os resultados da qualidade da compostagem ao longo do experimento, pode-se concluir o tratamento 1 foi o mais adequado para o processo. O tratamento apresentou melhores teores nutricionais, além de atender as exigências mínimas pela legislação vigente. Um outro ponto positivo do tratamento 1 foi a menor quantidade de pó de serra utilizado, reduzindo diretamente o custo de produção do composto para as empresas produtoras de esterco aviário.

7. Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NR15 Atividades e Operações Insalubres.** 1998. Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Rio de Janeiro. p. 114.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). 2020. **Notícias do setor avícola: México abre mercados para ovos do Brasil.** Disponível em: <https://abpa-br.org/mexico-abre-mercados-para-ovos-do-brasil/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ATAGANA, H. I. **Co-Composting of PAH-contaminated soil with poultry manure.** In: **Letters in Applied Microbiology.** South Africa, 2004. p. 163-168. Disponível em: www.mantec.ac.za. Acesso em: 13 novembro de 2020.

AZEVEDO M. A. 1997. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos – Aspectos teóricos e operacionais.** Departamento de Engenharia Civil, Ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 44.

BAETA-HALL L., SAAGUA M. C., BARTOLOMEU M. L., ANSELMO A. M., ROSA M. F. 2003. **A compostagem como processo de valorização dos resíduos na extracção de azeite em contínuo.** Boletim de Biotecnologia, UME, UB, p. 31-37. BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. 1999. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC/USP, Projeto REENGE.

CAFÉ, M.B.; ANDRADE, M.A. 2001. **Intoxicações** – Parte 2. In: Avicultura industrial. Ed 1091.

BREWER, L.; SULLIVAN, A.M.A. 2001. **Quick look at quick compost stability tests.** v.42, p. 53-55.

CASTALDI, P.; ALBERTI, G.; MERELLA, R.; MELIS, P. 2005. **Study of the organic matter evolution furing municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity.** Waste Management, v. 25, p. 209-213.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. 2003. **Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.6, p.729-735.

COSTA, M.S.S. DE M. 2005. **Caracterização dos dejetos de novilhos super precoces: reciclagem energética e de nutrientes.** Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. p. 98.

CURTIS, S. E. 1983. **Environmental management in animal agriculture.** Iowa. Iowa University Press. p. 410.

DAI PRÁ, M.A. 2006. **Desenvolvimento de um sistema de compostagem para o tratamento de dejetos de suínos.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. 127 p.

DONHAM, K. 2000. **A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings.** In Dust Control in Animal Production Facilities, Proc. Congress in Aarhus. Anais...Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Bygholm.

FERNÁNDEZ, H. T. M. 2008. **Producción de biofertilizantes por degradación microbiológica de resíduos orgánicos.** Microorganismos e Agrobiodiversidade: O novo desafio para a agricultura, Editora Agro livros. p. 353 – 373.

FONG, M., J.W.C. WONG AND M.H. WONG. 1999. **Review on evaluation of compost maturity andstability of solid waste.** Shanghai Environ. Sci.,18: p. 91-93.

GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. 1991. **Study on water extract of sewage sudge composts.** Soil and Plant Nutrition, v.37, p. 399-408.

GROOT KOERKAMP, P.W.G.; METZ, J.H.M.; UENK, G.H.; PHILLIPS, V.R.; HOLDEN, M..; SNEATH, R.W.; SHORT, J.L.; WHITE, R.P.P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K.H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J.O.; WATHES, C.M. 1998. **Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe.** Journal of Agricultural Engineering Research, v. 70: p. 79–95.

GONÇALVES, V. P.; MARIN, J. M. 2007. **Fate of non O157 Shiga toxigenic Escherichia coli in composted cattle manure.** Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.59, n.4, p. 825-831.

GORGATI, C.Q. 2001. **Resíduos sólidos urbanos em áreas de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e**

impacto ambiental. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. p. 70.

HSU, J. H.; LO, S. L. 2001. **Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure.** Environmental Pollution, v.114, n.1, p.119-127.

HAMODA M. F., ABU QDAIS H. A., NEWHAN B. J. 1988. **Evaluation of municipal solid waste composting kinetics.** Res., Conserv. And Recycling. 23: p. 209-223.

IMBAR, Y., Y. HADAR AND Y. CHER. 1993. **Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity.** J. Environ. Qual.,22: p. 857-863.

IMBAR, Y., Y. HADAR AND Y. CHER. 1993. **Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity.** J. Environ. Qual., 22: 857-863.

MAPA. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Poder Executivo, Brasília, DF.

JAHNEL, M.C., R. MELLONI E E.J.B.N. CARDOSO. 1999. **Maturidade do composto de lixo.** Sci. Agr., 56: 301-304.

JAHNKE, DÊNNIS. **Tratamento de resíduos orgânicos de pequenos abatedouros de bovinos através da compostagem.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas (Dissertação de Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2012. p.110 Disponível em: http://www.repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/2606/1/dissertacao_denis_silveira_jahnke.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.

JODICE, R. 1989. **Parametri chimici e biologiche per la valutazione della qualità del compost.** In: Proceedings of THE COMPOSTP Production and Use International Symposium.

KIEHL, E. J. 1988. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: E. J. Kiehl.

KIEHL, C. J. 2001. **Produção de composto orgânico e vermicomposto.** Informe Agropecuário, v.22, n.212, p. 40-42, 47-52, Belo Horizonte.

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

KIEHL, E. J. 2002. **Manual de compostagem maturação e qualidade do composto.** São Paulo: Agronômica Ceres, p. 171.

KIEHL, E. J. 2004. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl.

KUNZ, A; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. 2007. **Redução da carga de poluente a questão dos nutrientes.** In: Segnafredo, A. M. Gestão ambiental na suinocultura. Brasília: EMBRAPA, p. 302.

LEAL, M. A. DE A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. DOS G.; SANTOS, S. DÁ S. 2011. **Processo de compostagem a partir da mistura entre capim elefante e crotalaria.** Seropédica Embrapa Agrobiologia, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, p. 77.

LOPEZ-REAL, J. 1994. **Composting through the ages.** Conferência Down to Earth Composting. Dundee.

LOTT, B.; DONALD, J. 2003. **Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe.** Avicultura Industrial.

MORREL, J.L., F. COLIN, J.C. GERMON, P. GODIN AND C. JUSTE. 1985. **Methods for evaluation of thematurity of municipal refuse compost.** In: Gasser,J.K. Composting of agricultural and other wastes. Elsevier. London. p. 56-72.

MORENG, R. E.; AVENS J. S. 1990. **Ciência e produção de aves.** Departament of Animal Science. Fort Collins: Colorado State University, p. 380.

NIOSH. **National Institute for Occupational Safety and Health.** 2001. Ministério do Meio Ambiente. Ontario Air Standards for Ammonia. v. 1988: p. 1-47.

OWADA, A. N.; NÃÄS, I. A.; MOURA, I. J.; BARACHO, M. S. 2007. **Estimativa de bemestar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção.** Engenharia Agrícola, v. 27 (3): p. 611-618.

PALHARES, J. C. P.; CALIJURI. 2007. **Caracterização dos afluentes e efluentes suinícolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental.** Ciência Rural, v.37, n.2, p. 502-509.

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

PEREIRA NETO, J.T. 2007. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** UFV. Viçosa. p. 81.

PERRY, G. C. 2003. **Welfare of the Laying Hen.** World's Poultry Science Association, Bristol, v. 27 – p. 431.

TEIXEIRA, LEOPOLDO *et al.* 2004. **Comunicado Técnico: Características Químicas de Composto Orgânico Produzido com Lixo Orgânico, Caroço de Açaí, Capim e Serragem.** Belém, Pará, p. 1-4, 4 jan. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/409669/1/com.tec.105.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

RINK, R. 1992. **Composting methods.** In: **On-form composting handbook.** Ithaca: Northeast Regional Agriculture Engineering Service/Cooperative Extension, p. 47.

RITZ, C.W.; FAIRCHILD, B.D.; LACY, M.P. LITTER. 2005. **Quality and Broiler Performance.** Cooperative Extension Service / The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, Bulletin 1 (April): p. 1-1267.

RIVERA-ROSARIO, R.A. **Determinación de indicadores de madurez en la producción decomposta.** Universidad de Puerto Rico, 2003, p. 127. (Dissertação de Mestrado).

SHARMA, V. K., M.; CANDITELLI, F. Fortuna and C. Cornacchia. 1997. **Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review.** Energ. Convers. Manage., 38: p. 453-478.

SILVA, F.A. DE M. 2005. **Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais.** Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Campus Botucatu. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Botucatu/SP. p. 92.

SILVA, P. S.; SOUZA, R. B.; JASSE, M. E. C.; GUEDES, I. M. R.; GOBBI, S. J.; REZENDE, F. V.; LUZ, M. 2009. **Produção de mudas orgânicas de alface americana em substratos a base de fibra de coco verde.** Horticultura Brasileira, v. 27, nº 2, 5 p.

SILVA, REGINALDO et al. 2009. Revista Brasileira de Agroecologia: **Parâmetros de maturação para diferentes compostos orgânicos.** Disponível em: file:///C:/Users/GUSTAV~1/AppData/Local/Temp/parametros%20de%20matura%C3%A7%C3%A3o%20compostagem-1.pdf. Acesso em: 17 nov. 2020.

STEIL, L. 2001. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** Dissertação (Mestrado)

em Biotecnologia) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, p. 109.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. 2002. **Avaliação do uso de inóculos na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-149.

TEIXEIRA, Leopoldo et al. 2004. **Comunicado Técnico: Características Químicas de Composto Orgânico Produzido com Lixo Orgânico.** Caroço de Açaí, Capim e Serragem. Belém, Pará, p. 1-4, 4 jan. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/409669/1/com.tec.105.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. 1998. **Salmonella elimination during composting of spent pig litter.** Bioresource Technology. v.63, p. 193-196.

TROMBIN, D. F.; VIANA, E.; RÉUS, G. Z.; BALLMANN, C. 2005. **A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma – SC.** In: XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre/RS.

TROMBIN, D. F.; VIANA, E.; MARAGNO, E. S. 2006. **O uso da serragem em sistema de minicompostagem.** In: 58^a Reunião Anual da SBPC, 2006, Florianópolis.

TUOMELA, M., M. VIKMAN AND A. HATAKKA. 2000. **Biodegradation of lignin in a compost environment:a review.** Bioresource Technol, 72: p. 169-183.

TUROVSKIY, I. S.; MATHAI P. K. 2006. **Wastewater sludge processing.** Wiley-Interscience.

VINNERAS, B. AND H. JONSSON. 2002. **Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method - Laboratory scaleand pilot-scale studies.** Bioresource Tec hnol.,84: p. 275-282.

VINNERÁS, B. 2007. **Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitizing of fecal matter and manure.** Bioresource Technology, v.98, n.17, p. 3317-3321.

VITORINO, K. M. N.; PEREIRA NETO, J. T. 1992. **Estudo da compostabilidade dos resíduos da agroindústria sucroalcoleira.** In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, Viçosa: p.121-132.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. 1997. **Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous oxide, carbon-dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses.** British Poultry Science, v. 38 (1): p. 14-28.

ZUCCONI, F. AND M. BERTOLDI. 1986. **Organic waste stabilization through out composting and its compatibility with agricultural uses.** In: Wise,D.L. Global bioconversions. CRC Press. Boca Raton. p. 109-137.