



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
Área de Concentração: Infra-estrutura e Meio Ambiente**

**Fabiano Goellner dos Santos**

**AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE GESSO E DO REVOLVIMENTO EM PILHAS DE  
COMPOSTAGEM E NA QUALIDADE DO COMPOSTO DE ESTERCO DE AVE  
POEDEIRA**

**Passo Fundo  
2008**

**Fabiano Goellner dos Santos**

**Avaliação da adição de gesso e do revolvimento em pilhas de compostagem e na  
qualidade do composto de esterco de ave poedeira**

Orientador: Professor Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Ph.D.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente

Passo Fundo

2008

**Fabiano Goellner dos Santos**

**Avaliação da adição de gesso e do revolvimento em pilhas de compostagem e na  
qualidade do composto de esterco de ave poedeira**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente

Data de aprovação: Passo Fundo, 25 de abril de 2008.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Ph.D.  
Orientador

Pedro Alberto Selbach, Ph.D.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Claudia Teixeira Panarotto, Ph.D.  
Universidade de Caxias do Sul

Pedro Domingos Marques Prietto, Dr.  
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo  
2008

## **DEDICATÓRIAS**

A DEUS, SEM ELE NADA SOU.

A MINHA FAMÍLIA, DE MULHERES TÃO  
FORTES

A MINHA MÃE, AOS MEUS AVÓS

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Pedro Alexandre Varella Escosteguy, pela amizade, orientação dispensada, e principalmente pelo conhecimento adquirido na realização das atividades.

Aos Professores Pedro Alberto Selbach, Claudia Teixeira Panarotto e Pedro Domingos Marques Prietto, por aceitarem participar da banca de defesa desta dissertação.

Ao Professor Claud Ivan Goellner, amigo e grande incentivador para a realização do curso.

A indústria de ovos Naturovos, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

A CAPES, sem este apoio não seria possível a conclusão de mais esta etapa de estudos.

A UPF, especialmente a Secretaria da Pós-Graduação, pelos serviços prestados.

Aos alunos da graduação em Engenharia Ambiental, Marco Antônio Bonamigo e Ronaldo Schaeffer, pela ajuda nas análises e coleta de material nas unidades experimentais.

A minha irmã Claudia e Rubens, muito obrigado pelo suporte que me deram nesta etapa.

Ao meu pai, obrigado por tudo.

Aos amigos, principalmente, Dilamar Farias, Diniz dos Santos Jr. e Luciano Ignaczak pelo apoio em momentos difíceis e pelo companheirismo durante esta caminhada.

## RESUMO

SANTOS, Fabiano Goellner dos. **Avaliação da adição de gesso e do revolvimento em pilhas de compostagem na qualidade do composto de esterco de ave poedeira**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Área de Concentração Infra-Estrutura e Meio Ambiente. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS.

O esterco de ave poedeira é o principal resíduo gerado na indústria de produção de ovos, que necessita de uma infra-estrutura para o tratamento adequado. Frequentemente, estes resíduos têm sido utilizados como fertilizantes, mas sem prévio tratamento e controle sanitário antes da aplicação no solo. A compostagem é uma alternativa para o tratamento do esterco de ave poedeira, estabilizando a matéria orgânica, embora diminua o teor de nitrogênio (N) desse resíduo. A utilização de gesso e superfosfato simples (SFS) como aditivos em esterco de ave poedeira foi proposto para reduzir perdas N, em forma de amônia, embora existam divergências quanto à eficiência e as quantidades utilizadas desses materiais. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a eficiência destes aditivos e o efeito do revolvimento sobre a compostagem e a qualidade do composto obtido, principalmente, sobre o teor de N. Dois experimentos foram realizados: Experimento 1, usando pilhas de compostagem, e Experimento 2, com micro-pilhas, em estufas plásticas. No Experimento 1, foi avaliada a adição de 6 % de gesso, proveniente de resíduos de construção e demolição, nas pilhas de compostagem, assim como o efeito do revolvimento. Neste experimento, além dos teores de N total, foram avaliados os teores de N mineral, carbono (C), relação C:N, pH em água e CaCl<sub>2</sub>, condutividade elétrica (CE), teor de umidade, temperatura, ocorrência de helmintos e de microrganismos patogênicos, análise granulométrica e de metais tóxicos nos compostos obtidos. Os teores de N total e de N mineral, nas pilhas do Experimento 1, variaram com a época de compostagem, decrescendo expressivamente nas três primeiras semanas. Embora o composto com maior teor de N total foi obtido quando o esterco de aves foi compostado em pilhas com gesso, o monitoramento das pilhas de compostagem mostrou que, ao longo dos 95 dias, o teor dessa forma de N não variou entre as pilhas com e sem gesso. O revolvimento não alterou, significativamente, o teor de N total do composto. Os tratamentos testados não diferiram quanto a ocorrências dos indicadores de microrganismos enteropatogênicos, cuja população nos compostos atendeu os padrões brasileiros de qualidade. Por outro lado, isso não ocorreu com os ovos de helmintos nas pilhas sem revolvimento e sem gesso. No Experimento 2, foram testados níveis de enxofre (até 19,5 kg t<sup>-1</sup>) adicionados ao esterco, na forma de gesso e de SFS. As micro-pilhas utilizadas nesse experimento não foram revolvidas. Nesse experimento, foram avaliados os teores de N total, pH em CaCl<sub>2</sub> e teor de enxofre. A eficiência do gesso em diminuir as perdas de N das micro-pilhas foi baixa, sendo o SFS mais eficiente. Entre as fontes e doses testadas de S, a adição de 15,6 kg S t<sup>-1</sup> de esterco, na forma de SFS, possibilitou o maior teor de N total no composto (4,5 %), reduzindo cerca de 50 % a perda desse elemento, em comparação as micro-pilhas testemunhas (sem adição de S). Nos tratamentos com gesso, o maior teor de N total (2,8 %) foi observado na maior dose testada, evitando a perda de cerca 25 % do teor desse elemento.

Palavras-chaves: compostagem; nitrogênio; fertilizante orgânico; esterco de ave poedeira; gesso; superfosfato simples.

## ABSTRACT

SANTOS, Fabiano Goellner dos. *Evaluation of the addition of gypsum and turner in composting piles on the quality of laying poultry manure compost*. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Área de Concentração Infra-Estrutura e Meio Ambiente. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS.

*Laying poultry manure is the main waste generated in the egg production industry which requires an infra-structure to treat this kind of residue. Commonly, this waste has been used as a fertilizer, but no previous treatment and sanitary control has been employed before soil application. Composting is an alternative to treat this kind of waste, stabilizing the organic matter, but decreases the level of nitrogen (N) content of the manure. The utilization of gypsum and simple superphosphate (SSP) as additives in laying poultry manure has been proposed to reduce N losses as ammonia, although there is no agreement about the efficiency and quantities that these materials should be used. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of these additives and the turner effect on laying poultry manure compost quality, mainly on N content. Two experiments were performed: Experiment 1, using open-windrow composting, and Experiment 2, using micro-heaps in plastic greenhouse. On Experiment 1, 6 % of gypsum, from construction and demolition waste, was tested, as well as the effect of turning the heaps. In this experiment, beyond the levels of N total, the levels of mineral N, carbon (C), C:N rate, pH in water and in CaCl<sub>2</sub>, electrical conductivity (EC), moisture content, temperature, occurrence of helminthes and pathogenic microorganisms, and toxic metals analysis were assessed in the compounds. The total and mineral N contents, in the piles of Experiment 1 varied with the time of composting and they decreased significantly in the first three weeks. Although the compound with higher content of total N was obtained when the poultry manure has been composted in piles with gypsum, the monitoring of the piles of composting showed that over the 95 days, the content of this form of N did not vary between piles with or without gypsum. The turning did not change the N level of the composts. There was no difference on the occurrence of pathogenic microorganism indicators among the treatments. The population of these microorganisms in the compound attended the Brazilian Federal standards of quality. The opposite was found for eggs of helminths in piles not turned and without gypsum. In the Experiment 2, up to 19.5 kg S t<sup>-1</sup> was added to the manure, as either gypsum or SSP. The micro-heaps were not turned in this experiment and the total N, pH as CaCl<sub>2</sub>, and sulphur contents were evaluated. The efficiency of gypsum to decrease the N losses in the micro-heaps was low, while the SSP was more efficient. Among the S sources and rates tested, the highest content of total N in the composts were observed with the addition of 15.6 kg S t<sup>-1</sup> as SSP (4.5 % of N), reducing about 50 % the N loss in comparison with the control (micro-heaps without S). The highest level of total N (2.8 %) in the micro-heaps with gypsum was found at the higher rate tested, avoiding the loss of about 25 % of the N content.*

*Keywords: composting; nitrogen; organic fertilizer; hen manure; gypsum; simple superphosphate.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1    ESTERCO DE AVES .....	19
2.2    COMPOSTAGEM.....	20
2.2.1    FASES DA COMPOSTAGEM .....	20
2.2.2    MÉTODOS DE COMPOSTAGEM.....	21
2.2.2.1    COMPOSTAGEM NATURAL.....	22
2.2.2.2    COMPOSTAGEM ACELERADA .....	22
2.2.2.3    COMPOSTAGEM COM REATORES BIOLÓGICOS .....	23
2.2.2.4    COMPOSTAGEM EM PILHAS ESTÁTICAS E AERADAS .....	24
2.2.3    FATORES DE CONTROLE .....	25
2.2.3.1    TEMPERATURA .....	25
2.2.3.2    AERAÇÃO .....	26
2.2.3.3    UMIDADE.....	27
2.2.3.4    RELACÃO CARBONO/NITROGÊNIO.....	28
2.2.4    QUALIDADE DO COMPOSTO .....	29
2.3    CICLO DO NITROGÊNIO .....	33
2.3.1    CICLO DO NITROGÊNIO NO SOLO .....	33
2.3.2    MINERALIZAÇÃO.....	35
2.3.2.1    AMONIFICAÇÃO.....	35
2.3.2.2    NITRIFICAÇÃO .....	36
2.3.2.3    IMOBILIZAÇÃO.....	38
2.3.2.4    DESNITRIFICAÇÃO/ .....	38
2.3.2.5    VOLATILIZAÇÃO.....	39
2.4    GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	40
2.4.1    PERDAS DE GESSO NA PRODUÇÃO.....	43
2.4.2    POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O GESSO .....	43
2.5    SUPERFOSFATO SIMPLES .....	45
<b>3 MÉTODOS E MATERIAIS.....</b>	<b>46</b>
3.1    EXPERIMENTO 1 .....	47
3.1.1    DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	48
3.1.2    MONTAGEM E MANUTENÇÃO DAS PILHAS.....	48
3.1.2.1    MONITORAMENTO DA UMIDADE E TEMPERATURA .....	50
3.1.3    MÉTODO E ANÁLISES LABORATORIAIS E ESTATÍSTICAS .....	52
3.2    EXPERIMENTO 2 .....	53
3.2.1    DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	54
3.2.2    TRANSPORTE DO ESTERCO DE AVES E OBTENÇÃO DO GESSO .....	55
3.2.3    MONTAGEM E MANUTENÇÃO DAS MIVRO-PILHAS (MICRO-LEIRAS) .....	55
3.2.4    METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE LABORATORIAL E ESTATÍSTICA .....	56
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
4.1    EXPERIMENTO 1 .....	58
4.1.1    CARACTERIZAÇÃO INICIAL .....	58
4.1.2    ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS .....	60
4.1.3    NITROGÊNIO TOTAL .....	61
4.1.3.1    AMOSTRAS SECAS.....	61

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
4.1 EXPERIMENTO 1 .....	58
4.1.3.2 AMOSTRAS ÚMIDAS .....	63
4.1.4 NITROGÊNIO MINERAL.....	66
4.1.5 CARBONO .....	67
4.1.6 RELAÇÃO CARBONO:NITROGÊNIO.....	69
4.1.6.1 AMOSTRAS SECAS .....	69
4.1.6.2 AMOSTRAS ÚMIDAS .....	71
4.1.7 PH EM ÁGUA E PH EM CLORETO DE SÓDIO.....	72
4.1.8 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	75
4.1.9 UMIDADE.....	77
4.1.10 TEMPERATURA .....	81
4.1.11 OCORRÊNCIA DE HELMINTOS .....	83
4.1.12 OCORRÊNCIA DE MICRORGANISMOS ENTEROPATOGÊNICOS.....	84
4.1.13 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	85
4.1.14 METAIS TÓXICOS .....	87
4.2 EXPERIMENTO 2 .....	88
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	94
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE 1 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA (EXPERIMENTO 1).....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE 2 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA (EXPERIMENTO 1).....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE 3 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA (EXPERIMENTO 1).....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE 4 RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA (EXPERIMENTO 2).....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE 5 RESULTADO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA (NITROGÊNIO TOTAL ÚMIDO EXPERIMENTO 1) .....</b>	<b>103</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> –	Varição da temperatura em pilhas de compostagem, ao longo do tempo.....	26
<b>Figura 2</b> –	Ciclo interno de transformação biológica do N. ....	34
<b>Figura 3</b> –	Reunião de N orgânico no solo e suas interações. ....	34
<b>Figura 4</b> –	Esquema de transformações pelo qual passa o N no solo.....	35
<b>Figura 5</b> –	Crescimento do consumo anual de chapas de gesso no Brasil. ....	42
<b>Figura 6</b> –	Comparativo do consumo anual de chapas de gesso entre o Brasil e outros países.....	42
<b>Figura 7</b> –	Fluxograma do experimento 1. ....	47
<b>Figura 8</b> –	Esquema ilustrativo da distribuição das pilhas de compostagem na área do experimento 1.....	49
<b>Figura 9</b> –	Pilhas de compostagem de esterco de ave poedeira. A esquerda da foto, parte de cima do terreno, as pilhas sem revolvimento e, a direita, as pilhas revolvidas. As pilhas mais claras, são as com gesso.....	49
<b>Figura 10</b> –	Realização do revolvimento com retroescavadeira, em pilha de esterco de ave com gesso. ....	50
<b>Figura 11</b> –	Medição da temperatura das pilhas de compostagem de esterco de ave poedeira com auxílio do termômetro digital. ....	51
<b>Figura 12</b> –	Fluxograma do experimento 2. ....	54
<b>Figura 13</b> –	Micro-pilhas de 5 kg de esterco de ave poedeira, com adição de superfosfato simples, em caixa de madeira com lona plástica.....	56
<b>Figura 14</b> –	Nitrogênio (N) total em esterco de aves poedeiras submetido a diferentes tratamentos de compostagem.....	62
<b>Figura 15</b> –	Teor de nitrogênio (N) total em pilhas de esterco de aves poedeiras em função do tempo inicial de compostagem e do revolvimento. (a) pilhas sem gesso; (a) pilhas com gesso. ....	63
<b>Figura 16</b> –	Teor de nitrogênio (N) total, obtido em amostras úmidas de esterco de aves poedeiras, em função dos dias de compostagem. ....	65
<b>Figura 17</b> –	Teor de nitrogênio (N) mineral em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras, em função do tempo e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.....	67
<b>Figura 18</b> –	Teor de carbono (C) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem, e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.....	68
<b>Figura 19</b> –	Relação carbono:nitrogênio (C:N) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) sem revolvimento; (b) com revolvimento. ....	70
<b>Figura 20</b> –	Relação carbono:nitrogênio (C:N) em pilhas de esterco de aves poedeiras, com valores de N total úmido, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) sem revolvimento; (b) com revolvimento. ....	72
<b>Figura 21</b> –	Valor de pH, em água, em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.....	73
<b>Figura 22</b> –	Valor de pH, em cloreto de cálcio (CaCl <sub>2</sub> ), em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso: (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.....	74

<b>Figura 23</b> – Condutividade elétrica (CE) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.....	76
<b>Figura 24</b> – Teor de umidade (65°C) em pilhas de esterco de ave poedeira, em função do tempo de compostagem: (a) pilhas com e sem adição de gesso (para a média do fator revolvimento); (b) pilhas com e sem revolvimento (para a média do fator adição de gesso).....	78
<b>Figura 25</b> – Altura das pilhas, de esterco de ave poedeira, sem adição de gesso durante o processo de compostagem.....	79
<b>Figura 26</b> – Altura inicial da pilha de esterco de ave poedeira com gesso no início do processo de compostagem.....	80
<b>Figura 27</b> – Temperatura medida em pilha revolvida de esterco de ave poedeira, com a utilização de termômetro digital. ....	81
<b>Figura 28</b> – Temperatura em pilhas de esterco de ave poedeira, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas com revolvimento; (b) pilhas sem revolvimento. ....	83
<b>Figura 29</b> – Percentual de nitrogênio (N) total em pilhas de esterco de ave poedeira, com diferentes níveis e fontes de enxofre (S), no final do Experimento 2. ....	90

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem. ....	24
<b>Tabela 2</b>	Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos pela Instrução Normativa N° 27/2006.....	31
<b>Tabela 3</b>	Classificação dos fertilizantes de acordo com a matéria prima utilizada em sua produção, estipulada pela Instrução Normativa N° 23/2005. ....	31
<b>Tabela 4</b>	Especificações dos fertilizantes orgânicos simples, limites mínimos aceitos pela Instrução Normativa N° 23/2005.....	32
<b>Tabela 5</b>	Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. Estabelecida pela Instrução Normativa N° 23/2005. ....	32
<b>Tabela 6</b>	Entrada, saída e ciclo do N, no solo, planta e atmosfera. ....	33
<b>Tabela 7</b>	Distribuição dos tratamentos e os níveis de quantidades adicionadas enxofre (S), gesso e superfosfato simples (SFS), em pilhas com 5 kg de esterco de ave poedeira. ....	55
<b>Tabela 8</b>	Atributos físico-químicos de esterco de aves poedeiras, obtidos no início da compostagem e expressos em base seca. ....	59
<b>Tabela 9</b>	Teor de nitrogênio total, obtido em amostras de esterco de ave poedeira, coletado em pilhas de compostagem, em função da secagem em estufa das alíquotas analisadas.....	64
<b>Tabela 10</b>	Condutividade elétrica de pilhas de esterco de aves, em função do revolvimento, da adição de gesso e dos dias de compostagem.....	75
<b>Tabela 11</b>	Ocorrência de ovos e larvas de helmintos em composto de esterco de aves de diferentes tratamentos de compostagem. ....	84
<b>Tabela 12</b>	Ocorrência de enteropatogênicos, antes e após a compostagem, de esterco de ave poedeira. Média dos tratamentos testados. ....	85
<b>Tabela 13</b>	Percentual de distribuição do composto em frações granulométricas. ....	86
<b>Tabela 14</b>	Classificação de fertilizantes orgânicos, de acordo com a granulometria. ....	86
<b>Tabela 15</b>	Teor de metais tóxicos em composto de esterco de ave poedeira, obtido com diferentes tratamentos de compostagem. ....	87
<b>Tabela 16</b>	Classificação de qualidade de composto e limites para conteúdos de metais tóxicos.....	88
<b>Tabela 17</b>	Atributos físico-químicos do esterco de ave poedeira utilizado no Experimento 2.....	88
<b>Tabela 18</b>	Valor final de pH em pilhas de esterco de ave poedeira, tratadas com diferentes fontes e níveis de enxofre.....	91
<b>Tabela 19</b>	Quantidade e teor de enxofre (S) adicionado com gesso e supersimples e teor final desse elemento, em pilhas de esterco de ave poedeira, do Experimento 2.....	92
<b>Tabela 20</b>	Resultados da análise da variância efetuada com os valores de umidade (65 °C), obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	99
<b>Tabela 21</b>	Resultados da análise da variância efetuada com os valores do carbono, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.....	99
<b>Tabela 22</b>	Resultados da análise da variância efetuada com os valores de nitrogênio mineral, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.....	99
<b>Tabela 23</b>	Resultados da análise da variância efetuada com os valores de pH em água, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	100

<b>Tabela 24</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores de pH em cloreto de cálcio, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	100
<b>Tabela 25</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores de condutividade elétrica, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	100
<b>Tabela 26</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores de Nitrogênio total, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	101
<b>Tabela 27</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores da temperatura, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	101
<b>Tabela 28</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores da relação C:N, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	101
<b>Tabela 29</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores de N total, obtidos em pilhas de esterco de ave poedeira, após 45 dias em estufa plástica. ....	102
<b>Tabela 30</b> – Resultados da análise do Teste “T” efetuada com os valores de S, obtidos em pilhas de esterco de ave poedeira, após 45 dias em estufa plástica. ....	102
<b>Tabela 31</b> – Precipitação pluvial e temperatura no período de compostagem do Experimento 1. ....	102
<b>Tabela 32</b> – Resultados da análise da variância efetuada com os valores de Nitrogênio total úmido, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras. ....	103

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Microrganismos quimiolitotróficos, responsáveis pela nitrificação do amônio no solo.....	37
--	----

## LISTA DE SIGLAS

<b>C</b>	–	Carbono
<b>Ca</b>	–	Cálcio
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	–	Cloreto de Cálcio
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	–	Carbonato de Cálcio
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	–	Sulfato de Cálcio
<b>CE</b>	–	Condutividade Elétrica
<b>CONAMA</b>	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CO<sub>2</sub></b>	–	Dióxido de Carbono
<b>C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></b>	–	Aminoácido Pirolina
<b>CN<sub>2</sub><sup>2-</sup></b>	–	Cianeto
<b>Cd</b>	–	Cádmio
<b>Cr</b>	–	Cromo
<b>EMBRAPA</b>	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAMV</b>	–	Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
<b>FINEP</b>	–	Financiadora de Estudos e Projetos
<b>H<sup>+</sup></b>	–	Hidrogênio
<b>H<sub>2</sub>S</b>	–	Sulfeto de Hidrogênio
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	–	Ácido Sulfúrico
<b>K</b>	–	Potássio
<b>K<sub>2</sub>O</b>	–	Óxido de Potássio
<b>MAPA</b>	–	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>Mg</b>	–	Magnésio
<b>MO</b>	–	Matéria Orgânica
<b>N</b>	–	Nitrogênio
<b>N<sub>2</sub></b>	–	Nitrogênio Gasoso
<b>N<sub>2</sub>O</b>	–	Oxido Nitroso
<b>Ni</b>	–	Níquel
<b>NH<sub>2</sub></b>	–	Amina
<b>NH<sub>3</sub><sup>0</sup></b>	–	Amônia
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	–	Amônio
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	–	Carbonato de Amônio
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	–	Sulfato de Amônio
<b>NO<sub>2</sub><sup>2-</sup></b>	–	Nitrito
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	–	Nitrato
<b>O<sub>2</sub></b>	–	Oxigênio
<b>OH<sup>-</sup></b>	–	Oxidrila
<b>P</b>	–	Fósforo
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	–	Pentóxido de Fósforo
<b>Pb</b>	–	Chumbo
<b>RCD</b>	–	Resíduo de Construção e Demolição
<b>S</b>	–	Enxofre
<b>Se</b>	–	Selênio
<b>SFS</b>	–	Superfosfato Simples
<b>UFC</b>	–	Unidade Formadora de Colônia
<b>UFRGS</b>	–	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>UPF</b>	–	Universidade de Passo Fundo

## 1 INTRODUÇÃO

O impacto ambiental das práticas tradicionais de tratamento de resíduos sólidos tem motivado a busca de tecnologias e de infra-estrutura, compatíveis com o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida.

A indústria de produção de ovos, em aviários de postura, utiliza uma variada infra-estrutura para manter padrões sanitários, viabilizar o transporte e o armazenamento da produção, além de condições especiais, como controle de temperatura e luminosidade dos aviários. A produção de ovos realizada pela indústria Naturovos atinge cerca de 1 milhão de ovos por dia, sendo esse processo, realizado de forma totalmente automatizada. A primeira etapa do processo produtivo é a postura de ovos, onde as aves ficam acomodadas em gaiolas nos aviários. Cada aviário possui quatro linhas e seis andares de gaiolas, abrigando cerca de 110.000 aves. Nesta etapa, alguns resíduos sólidos são gerados, como o esterco das aves, carcaça de aves mortas, restos de ração e ovos quebrados. O manejo desses resíduos, principalmente, o do esterco, devido a grande quantidade gerada, requer uma infra-estrutura específica. Na infra-estrutura relacionada com o tratamento deste resíduo, inclui-se os itens associados com a compostagem, a qual é sugerida como forma de transformar esse resíduo em material estabilizado ou fertilizante orgânico.

Atualmente, o esterco de aves gerado na Naturovos retirado dos aviários por esteiras automatizadas, a cada 4 ou 5 dias, ocasião em que é adicionado 6 % de gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4+2\text{H}_2\text{O}$ ). Após a coleta, o esterco é armazenado em um galpão, no qual permanece por um período de 5 a 7 dias, ou é imediatamente transportado para lavouras, no qual é aplicado in natura, em solos agrícolas.

Na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, o esterco de aves poedeiras tem sido utilizado, de forma crescente, em solos agrícolas, sendo aplicado sem prévio tratamento. Essa prática tem sido adotada, embora inexistam pesquisas oficiais sobre o impacto do uso in

natura desses resíduos. Mesmo sendo uma das tecnologias mais utilizadas para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, a compostagem do esterco de aves não tem sido estudada. Assim, são desconhecidos os efeitos desse processo, bem como o efeito da aeração e de fontes de enxofre, sobre a qualidade do composto.

Conforme a Instrução Normativa Nº 27, de 05 de junho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, e pesquisas publicadas, o revolvimento é indispensável ao processo de compostagem de resíduos sólidos, incluindo o esterco de aves poedeiras. Por outro lado, este material tem sido utilizado e comercializado in natura, sem qualquer tratamento, com a justificativa que dessa forma aplica-se maior quantidade de N aos solos agrícolas. Desta forma o segundo problema de pesquisa deste projeto consiste avaliar o efeito do revolvimento no processo de compostagem e na qualidade do composto de esterco de aves poedeiras.

O gesso tem sido utilizado no processo de compostagem de resíduos orgânicos, como um aditivo, para a redução das perdas de N amoniacal. Na compostagem do esterco de aves poedeiras, entretanto, este material não tem sido utilizado. Por outro lado, o gesso tem sido misturado ao esterco de aves poedeiras, gerado e comercializado pela indústria de ovos Naturovos. Esta mistura é realizada com base em observações empíricas realizadas pela empresa, a qual alega que este material melhora a qualidade do esterco, diminui a volatilidade do N e o odor, o qual não é compostado, mas disposto in natura em solos agrícolas.

Desta forma, as hipóteses desta pesquisa são:

- a adição de gesso ao esterco de ave poedeira diminui as perdas de N quando este é compostado, sendo este efeito dependente do revolvimento das pilhas;
- o superfosfato simples e o gesso de RCD reduzem as perdas de N em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, sendo esse efeito dependente das quantidades adicionadas.

Como a resolução nº do CONAMA classifica o gesso da construção civil como resíduo classe C, ou seja, resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação, este trabalho aborda uma forma para a reutilização deste resíduo da construção civil, como aditivo no processo de compostagem.

Como objetivo geral, essa pesquisa visa avaliar a compostagem como forma de tratamento do esterco de aves poedeiras, detalhando-se o efeito da aeração e da adição de fontes de enxofre sobre a qualidade do composto.

Como objetivos específicos, a pesquisa pretende:

- avaliar o efeito do revolvimento e da adição de gesso sobre o teor de nitrogênio e a qualidade do composto obtido
- avaliar o efeito de fontes e de níveis enxofre sobre o teor de nitrogênio total de micro-pilhas de esterco de ave poedeira.

A estrutura metodológica da dissertação é composta por cinco capítulos. Além do presente capítulo, no qual se apresenta o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e as delimitações do trabalho, esta dissertação está composta por mais quatro capítulos. No capítulo 2, apresenta-se a revisão da literatura onde são apresentados conceitos sobre a compostagem e sua utilização como infra-estrutura para tratamento de resíduos sólidos orgânicos, assim como a legislação existente para a produção de fertilizantes orgânicos; o ciclo do nitrogênio e suas transformações, como os processos de nitrificação, amonificação, desnitrificação, imobilização e volatilização; conceitos sobre a utilização do gesso como matéria prima na construção civil, legislação para armazenamento de resíduos de construção e demolição – RCD e possíveis utilizações para a reutilização do gesso da construção civil; o superfosfato simples também é estudado como forma de obtenção de enxofre – S em comparação a utilização do gesso; e por fim uma breve revisão sobre trabalhos realizados com adição de gesso no processo de compostagem com revolvimento. No capítulo 3, descreve-se o método de pesquisa utilizado no presente trabalho. Ainda, nesse capítulo detalha-se, a estratégia, o delineamento da pesquisa, assim como as atividades realizadas. Apresenta-se também a metodologia de coleta de amostras, as análises realizadas e descreve os materiais utilizados no experimento. No capítulo 4, são apresentados e analisados os resultados da pesquisa. No capítulo 5, apresentam-se as conclusões da pesquisa.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Esterco de aves**

Atualmente, fontes de nutrientes de origem orgânica estão sendo utilizadas nas lavouras com muito êxito, como os esterco de suínos e de aves, principalmente, o de galinhas poedeiras. Além de representar uma fonte mais barata, o uso desses materiais representa uma alternativa à preocupação sobre o destino dado aos dejetos animais, devido ao alto potencial poluidor dos mesmos. No cenário da avicultura de postura comercial, da brasileira em particular, a preocupação com os dejetos das aves tem crescido, devido às novas tecnologias de produção, que dão ao setor a oportunidade de aumento na produção de aves. Segundo Moreng & Avens (1990), para 100.000 galinhas poedeiras ocorre uma geração de 12 t/dia de esterco úmido. Segundo a União Brasileira de Avicultores – UBA em seu relatório anual 2006/2007, o plantel médio mensal de aves poedeiras no ano de 2006 no Brasil foi de 93.206.329,0. Esse número de aves representa um plantel médio anual de mais de 1,1 bilhão de poedeiras. Ainda, segundo a UBA, em 2006, só no estado do Rio Grande do Sul o plantel médio de aves poedeiras mensal foi de 5.548.426. Considerando este plantel médio no estado e a geração de 120 g de esterco por ave/dia, estima-se que, aproximadamente, 665 t/dia de esterco de aves poedeiras são geradas no Rio Grande do Sul.

O esterco de ave poedeira é um dos mais ricos em nutrientes, pois contém as dejeções líquidas e sólidas misturadas e provém de aves criadas na maioria das vezes com rações concentradas, contendo alto teor de proteína. Somando os teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) contidos no esterco destas aves e comparando com o total encontrado nas dejeções dos mamíferos, verifica-se que o de galinha é duas ou três vezes mais concentrado em nutrientes (KIEHL, 1985). De acordo com Kiehl (1985), o teor elevado de nitrogênio no esterco de poedeira pode causar danos a plantações se não for devidamente tratado, antes de

ser usado como adubo no solo, além de representar um desperdício de materiais muito valiosos do ponto de vista biológico.

## **2.2 Compostagem**

A compostagem é definida como um processo de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica em estado sólido e úmido, tendo como resultado desta decomposição o húmus. O processo de compostagem faz com que a matéria orgânica passe por três fases distintas: uma fase inicial ou fitotóxica, onde o composto ainda está cru ou imaturo, seguida de uma fase de bioestabilização ou semicura e finalmente a fase de humificação, também comumente conhecida como cura ou maturação (KIEHL, 2002, p.1; DIAZ, 1999; BUDZIAK et al. 2004).

O processo de compostagem é um processo controlado e isto é feito através de algumas variáveis, que podem ser medidas e manipuladas com os diferentes métodos de compostagem. As variáveis mais comuns são a umidade, a oxigenação e a temperatura, sendo que em cada fase do processo estas variáveis possuem valores distintos que as caracterizam (HSU et al., 2001; PEREIRA NETO, 1996).

O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição biológica, transformando-se em um produto mais estável, melhor utilizável como fertilizante orgânico e em melhores condições sanitárias (PARCHEN, 1988 apud OITINK e FAHY, 1986).

A compostagem tem como objetivo principal a produção do composto, cujo produto normalmente é utilizado como fertilizante para solos agrícolas (HSU et al., 2001). Por outro lado, também são objetivos da compostagem a redução de matéria orgânica destinadas a aterros sanitários, já que neste processo há uma redução entorno 50 % do volume do material compostado (OLIVEIRA et al., 2003); e o controle da população de patogênicos presentes no material a ser compostado (REIS et al., 2003). Já a compostagem do esterco de aves, justifica-se também devido a regulamentação do uso do esterco como fertilizante, estabelecida pela lei Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006, que não permite o seu uso in natura (BRASIL, 2006).

### **2.2.1 Fases da compostagem**

O processo de compostagem apresenta três diferentes fases, sendo a primeira fase correspondente à decomposição dos componentes facilmente degradáveis, a segunda fase,

termófila, onde a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microrganismos e por último uma fase de maturação/estabilização (REIS et al, 2003).

**Primeira fase (Fitotóxica)** – Conforme Kiehl (2002), esta fase é caracterizada, principalmente, pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO<sub>2</sub> da matéria orgânica. No início da decomposição biológica destes materiais, desenvolve-se vários ácidos minerais e orgânicos e principalmente o ácido acético. O desenvolvimento deste ácido faz com que o uso agrônomico deste material nesta fase seja prejudicial a germinação de sementes e na formação de raízes. Kiehl (2002) mostra que testes realizados com agrião apontam para uma influência negativa do ácido acético, a partir de concentrações de 300 ppm, na germinação das sementes, e que com 2000 ppm desse ácido a germinação deixa de ocorrer.

O alto teor de umidade também pode interferir negativamente na germinação das plantas. Presente em alguns materiais especiais, como esterco de aves e lodos de esgoto, estes altos níveis de água podem levar a uma anaerobiose, tendo excesso de amônia, por falta de oxigênio necessário para a nitrificação, levando assim a um excesso de nitrogênio amoniacal.

**Segunda fase (Semi-cura)** – Esta é a fase em que o composto deixa de apresentar as características danosas as plantas, também conhecida como fase da bioestabilização, ela pode ocorrer cerca de 10 a 20 dias, após a fase anterior (REIS et al., 2003).

**Terceira fase (Maturação)** – É importante salientar que nesta fase o composto fica pronto, humificado, mas isto não garante a qualidade do produto obtido com a humificação, pois um composto pode ser de ótima qualidade ou não. É nesta fase que o composto atinge as características necessárias para se tornar maduro (KIEHL, 2002).

### 2.2.2 Métodos de compostagem

No começo de sua utilização, o processo de compostagem era feito de forma primitiva acumulando matérias putrescíveis para a sua degradação. Este processo era feito sem controle ou uso de tecnologias e não garantia a qualidade do produto final. Esta forma de compostagem atualmente não é mais aceita ambientalmente, por não cuidar destes fatores. Hoje o processo de compostagem pode ser dividido entre a compostagem natural e a compostagem acelerada (REIS et al., 2003).

### 2.2.2.1 Compostagem natural

O método de compostagem natural é realizado de forma simples, sem uso de equipamentos sofisticados, normalmente este processo exige apenas o espaço físico, no qual as pilhas ficarão expostas ao processo de digestão, e uma máquina para fazer o revolvimento das pilhas, necessário para a sua aeração. O processo de aeração nas pilhas é feito através de difusão e convecção (GOTAAS, 1971).

A utilização desta técnica é muito comum, sendo também conhecida como *windrow*, e sua principal característica é o baixo custo de investimento, visto que quase nenhum investimento em equipamentos, além da máquina para o revolvimento, é necessário. Utilizado principalmente como uma alternativa para o aumento da vida útil dos aterros sanitários, em cidades de porte médio até 200 mil habitantes, onde após a coleta e separação dos materiais que podem ser reciclados, a matéria orgânica é disposta em um pátio, para que ocorra a transformação da matéria orgânica em húmus. Os revolvimentos são realizados semanalmente, até diariamente nas primeiras semanas, dependendo do tipo de matéria orgânica, e normalmente são feitos por retroescavadeiras. Existem máquinas específicas e apropriadas para o revolvimento de pilhas de compostagem, mas estas possuem um custo maior. Além disto, a utilização dessas máquinas é somente para o revolvimento de pilhas, enquanto que outras máquinas, como as retroescavadeiras, podem ter outras finalidades, gerando maior utilidade ao capital investido. Entretanto, para a produção comercial do húmus, o investimento em uma máquina especializada tem como vantagem o fato de o revolvimento na pilha ser realizado da forma mais correta fazendo melhor a mistura entre as camadas externas e internas da pilha, e possibilita revolver maior quantidade de composto/hora (maior eficiência) (REIS et al, 2003; KIEHL, 1985).

### 2.2.2.2 Compostagem acelerada

O método de compostagem acelerada é realizado com o auxílio de equipamentos, como por exemplo, aeradores e digestores e também de uma metodologia especial para o tratamento do resíduo. A compostagem acelerada é recomendada, devido ao alto custo, para grandes quantidades de resíduos orgânicos, por exemplo, para cidades com mais de 200 mil habitantes (KIEHL, 2002).

### 2.2.2.3 Compostagem com reatores biológicos (*In-Vessel*)

Por ser um processo fechado, o sistema *In vessel* propicia um melhor controle sobre todas as variáveis envolvidas no processo. A temperatura é equilibrada em toda a massa, o que faz com que o tempo gasto na fase termófila seja reduzido, por isso também é chamada de compostagem acelerada. Com o controle da temperatura, e esta estando distribuída na massa de forma homogênea, a eliminação de patogênicos é feita de forma mais eficiente.

A aeração nos reatores biológicos é feita através da entrada de ar sob uma determinada pressão, onde a taxa de ar no seu interior é facilmente controlável já que o sistema é fechado.

O tempo de permanência do composto no reator é variado, devido as características dos resíduos e ao tipo do reator, mas varia entre 7 a 20 dias. A saída de gases de dentro do reator é monitorada. Para evitar anaerobiose, taxas de saída de O<sub>2</sub> inferiores a 2 % requerem aumento da vazão do ar colocado dentro do reator (KIEHL, 2002).

Por ter uma consistência bastante heterogênea, os resíduos, principalmente os domiciliares, que apresentam granulometria variada, além de materiais de fácil decomposição a materiais mais “duros”, os reatores tem a função de tratar estes resíduos movimentando-os. Segundo Kiehl (2002) é função dos reatores:

- movimentar os resíduos fazendo com que os materiais sofram tombamento, quebrando o material transformando-o em uma massa mais homogênea;
- esfacelar os materiais frágeis com o auxílio de facas colocadas no interior das pilhas ou até mesmo pelo amassamento por materiais mais pesados e duros;
- uniformizar a umidade do resíduo levando umidade dos materiais úmidos para outras massas secas;
- promover a aeração do resíduo por sua movimentação e ingestão de ar nos reatores;
- uniformizar a temperatura da massa favorecendo a eliminação dos patogênicos.

Mesmo tendo fase termófila curta, o composto ainda precisa passar por uma fase de maturação, semelhante aos processos com pilhas de, aproximadamente, 60 dias antes de poder ser utilizado.

Existem vários tipos de reatores para o processo de compostagem acelerada e eles se enquadram em três categorias: reatores de fluxo vertical, onde o resíduo entra pela parte superior do reator e sai por sua base, fazendo um caminho descendente. A aeração pode ser realizada tanto da base ou nos vários níveis do reator; reatores de fluxo horizontal, também

conhecidos como túneis por sua forma cilíndrica, os resíduos entram por uma extremidade e saem por outra, recebendo ar ao longo do trajeto; reatores de batelada, onde o resíduo fica confinado no mesmo local dentro do reator, sem deslocamento, mas com agitação do massa de resíduos realizada por uma rotação lenta do reator ao redor do próprio eixo ou ainda por sistema de misturador interno. Isto faz com que os caminhos preferenciais do ar fiquem limitados (REIS et al, 2003).

#### 2.2.2.4 Compostagem em pilhas estáticas e aeradas

O método foi desenvolvido na Estação Experimental de Beltsville, no Estado de Maryland, USA, sendo conhecido também como método da pilha estática, aplicado inicialmente para lodo de esgoto (REIS et al. 2003 apud KIEHL, 1998). Este processo se difere do processo *windrow*, por não sofrer revolvimento. O processo de compostagem depende do tipo de material a ser compostado. É preciso manter um controle de qualidade no material a ser compostado, com o monitoramento do processo, para garantir uma produção eficiente e ambientalmente correta e um composto de qualidade. A tecnologia correta a ser utilizada varia conforme a situação. Na tabela 1 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos sistemas apresentados.

**Tabela 1** – Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
<b>Pilhas revolvidas (<i>windrow</i>)</b>	Baixo investimento inicial; Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; Simplicidade de operação; Uso de equipamentos simples; Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento;	Maior necessidade de área, pois as pilhas tem que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura;

<b>Pilhas estáticas aeradas</b>	Melhor controle de odores; Fase de estabilização mais rápida que o sistema anterior; Possibilidade de controle da temperatura e da aeração; Melhor uso da área disponível que o sistema anterior;	Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; Operação também influenciada pelo clima;
<b>Compostagem em reator biológico</b>	Menor demanda da área; Melhor controle do processo de compostagem; Independência de agentes climáticos; Facilidade para controlar odores; Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema).	Maior investimento inicial; Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção; Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada.

Fonte: Fernandes e Silva (1999).

## 2.2.3 Fatores de controle

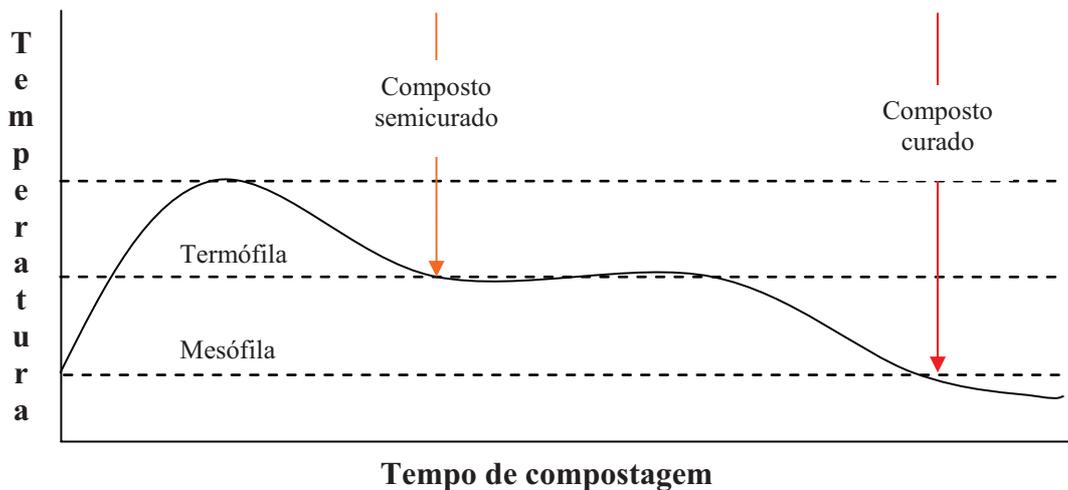
### 2.2.3.1 Temperatura

A temperatura nas pilhas de compostagem, nos processo *windrow* ou aeração forçada, é um dos principais indicativos de que o processo de compostagem iniciou (PEREIRA NETO, 1988).

A elevação da temperatura nas pilhas indica a ação dos microrganismos e acontece de forma gradual, caracterizando a ação de dois grupos de bactérias que dão nome as fases da temperatura: mesófila e termófila. É muito comum também relacionar as três fases da compostagem com base na fase de temperatura das pilhas, já que a temperatura das pilhas oscila em três períodos ao longo do processo de compostagem, aumentando até atingir a fase termófila, 50<sup>0</sup>C a 55<sup>0</sup>C, e depois baixando até a temperatura ambiente novamente (TIQUIA et al., 2000) .

A temperatura é uma causa da compostagem e não sua consequência, portanto, a definição das fases da compostagem, através da temperatura, é desaconselhável, embora este valor de controle esteja diretamente ligado à fase em que o composto se encontra (KIEHL, 2002).

As fases da temperatura nas pilhas se caracterizam pelo ponto ótimo relacionado com maior atividade de grupos de bactérias. Este valor ótimo de temperatura varia em alguns graus Celsius, dependendo do autor, o *Institute for solid wastes of american public works assossiation*, (1970) apud (KIELH, 2002, p.6) define valores para estas fases, como sendo entre 25<sup>0</sup>C a 40<sup>0</sup>C, para a fase mesófila, tendo como ponto máximo 43<sup>0</sup>C. Já para a fase termófila a temperatura ótima está entre 50<sup>0</sup>C a 55<sup>0</sup>C e atinge o seu ponto máximo em 85<sup>0</sup>C.



**Figura 1**– Variação da temperatura em pilhas de compostagem, ao longo do tempo. Adaptado de Kiehl (2002).

Na fase termófila, é importante cuidar para que a leira não atinja altas temperaturas, em torno de 70<sup>0</sup>C, pois nesse valor ocorre maior perda de nitrogênio, por volatilização da amônia. Este é um fato muito comum com esterco de aves, que possuem baixa relação C:N e pH alcalino (KIEHL, 2002, p.9).

#### 2.2.3.2 Aeração

A aeração é o fator mais importante para o processo de compostagem, a falta ou presença de oxigênio é que indica a forma da decomposição da matéria orgânica nas pilhas, que pode ser anaeróbia ou aeróbia (LAU et al.1988; GÓMEZ & FERRER, 2006).

Quando existe a presença de oxigênio na pilha de matéria orgânica, este processo de decomposição é conhecido como aeróbio, onde o oxigênio é essencial para o desenvolvimento dos organismos aeróbios, responsáveis pela transformação da matéria orgânica em humus. A compostagem aeróbia é caracterizada pelas altas temperaturas no interior das pilhas em torno de 55<sup>0</sup>C, diminuição de moscas e maus odores, redução do

período necessário a compostagem e pH maior que 7,0 (KIEHL, 1985; MARAGNO et al., 2007).

A aeração no processo aeróbio pode ser feita de várias formas, como o revolvimento manual, indicado para pequenas pilhas, principalmente, domésticas, ou o uso de máquinas especiais, desenvolvidas especificamente para este trabalho, com um maior custo, em processos *windrow*. O revolvimento é importante, pois permite: a entrada de ar novo, e por consequência oxigênio novo dentro da pilha; a retirada do gás carbônico, gerado pela respiração dos organismos dentro da pilha; homogeneizar as camadas externas e internas da pilha, o que faz com que os organismos patogênicos, presentes nas camadas externas da pilha, mais fria, sejam destruídos pela alta temperatura do interior; dar uniformidade a umidade e as comunidades de micro organismos existentes, além da quebra de torrões (KIEHL, 2002).

Também pode ser utilizada a aeração forçada, sem revolvimento, onde o ar é insuflado ou aspirado fazendo com que o fluxo de ar leve oxigênio para dentro da pilha. Neste tipo de aeração, é importante que a aspiração e a insuflação sejam realizadas de forma alternada, já que o fluxo de ar na insuflação, de baixo para cima, faz com que o ar fique mais frio no topo da pilha condensando aumentando a umidade neste ponto, o que também acontece na aspiração de cima para baixo, formando uma camada fria e úmida na base da pilha. Outro fato que deve ser bem observado é que a aeração acaba secando a pilha demasiadamente por isto é aconselhável que este processo seja intercalado com o desligamento do processo por alguns períodos.

### 2.2.3.3 Umidade

A água nas pilhas de compostagem é essencial, sem ela os organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica não sobrevivem. A água também pode influenciar no tempo de compostagem, onde taxas de umidade abaixo de 40 % fazem com que o processo de compostagem seja mais lento, predominando a ação dos fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1985; FERNANDES et al., 1988).

A capacidade de armazenamento de água nas matérias orgânicas submetidas ao processo de compostagem se faz, em condições normais, por capilaridade nos microporos e o armazenamento de ar nos macroporos. O aumento da umidade nas pilhas de compostagem modifica o processo, ou seja, faz com que a decomposição seja em parte anaeróbia, gerando odores desagradáveis, isto acontece com taxas de umidade superiores a 60 %. Com este teor

de umidade a água ocupa os espaços antes ocupados pelo ar, saturando estes espaços com água. Como os microrganismos são aeróbios, precisam de oxigênio, sua população acaba sendo diminuída a níveis muito baixos, e a decomposição da matéria orgânica começa a ser feita por fermentação. É muito importante para o processo de compostagem que se tenha uma dosagem certa entre a umidade e oxigênio (KIEHL, 2002).

Quando uma pilha de compostagem está com sua umidade alta, existem algumas técnicas que podem retirar esta umidade da pilha. A forma mais comumente utilizada é o aumento do número de revolvimentos, mas também pode ser utilizada a técnica de aeração forçada, assim como a diminuição do tamanho da pilha, onde a entrada de ar é responsável pela diminuição da umidade. Por outro lado, em pilhas secas, com baixa umidade, é necessária a irrigação das pilhas. Esta deve ser feita sempre juntamente com revolvimento, utilizando um jato na forma de um chuveiro fino para que a pilha possa ser molhada como um todo. A irrigação não deve ser realizada sem o revolvimento, onde a água e/ou chorume vai escorrer por caminhos preferenciais no interior da pilha, até a sua base, escorrendo junto com o chorume, o que faz com que partes da pilha ainda continuem tão secas, quanto antes da rega (FERNANDES et al., 1988; KIEHL, 2002; NUNES, 2003).

#### 2.2.3.4 Relação carbono/nitrogênio (C:N)

A relação C:N é um grande indicativo do nível de maturidade de um composto orgânico e afeta significativamente as atividades microbiais (REIS et al., 2003). Segundo Kiehl (2002) e Pereira Neto (1996), para o produto acabado, húmus, a relação C:N deve estar entre 8:1 e 12:1, com média de 10:1. Para o composto semicurado esta relação deve estar próxima de 18:1.

Os microrganismos absorvem carbono (C) e nitrogênio (N) na relação de 30:1, ou seja, para cada 30 partes de C uma parte de N é absorvida. Destas 30 partes de C 10 são imobilizadas, convertida da forma mineral para a orgânica, incorporadas ao protoplasma dos microrganismos vindo a constituir posteriormente o húmus; e 20 são eliminadas na atmosfera como gás dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O nitrogênio é consumido pela proporção 10:1 (BIDONE et al., 2001).

Quando o teor de carbono é elevado e o de nitrogênio baixo, por exemplo, 60:1, o processo de compostagem leva mais tempo, pois as partículas de carbono devem ser eliminadas para que a quantidade de N aumente proporcionalmente. Isto ocorre devido ao fato

do nitrogênio dos organismos que morrem ser reaproveitado pelos microrganismos, e também pela utilização do N mineral do solo. Os microrganismos emprestam N, quando esta relação voltar a normalidade, ou seja, houver a eliminação do C em excesso, o material estará sendo mineralizado (REIS et al., 2003; KIEHL, 2002; GOTAAS, 1971).

Reis et al. (2003) afirmam que com uma relação C:N na proporção de 60:1, o tempo médio do processo de bioestabilização é de 30 a 60 dias. Nas proporções entre 66:1 até 33:1, o nitrogênio solúvel é imobilizado, transformado em orgânico, ficando imobilizado, por exemplo, na forma de  $C_5H_7NO_2$  no tecido celular. A bioestabilização será alcançada em 15 a 30 dias se a relação C:N for 33:1; entre 33:1 e 17:1, quando se esta processando a biestabilização, não haverá imobilização do nitrogênio mineral no solo, mas também não terá a devolução do N emprestado, processo de mineralização o que acontece somente a partir de 17:1 (SHARMA et al., 1997).

Quando a relação C:N é baixa ocorrem grande perdas de N em forma amoniacal, principalmente nos revolvimentos.

#### **2.2.4 Qualidade do composto**

Um composto não deve apenas estar maturado, já que a maturação pode ocorrer com qualquer matéria orgânica que for compostada da maneira correta, mas também possuir características que não o torne inapto ao consumo agrícola, como fertilizante e nem cause danos ao meio ambiente. Esta aptidão agrícola e ambiental é denominada qualidade do composto.

Sharma et al. (1997) relacionam a qualidade do composto à origem dos substratos orgânicos utilizados, portanto, a utilização de materiais não segregados na compostagem pode gerar um produto de péssima qualidade. Os principais contaminantes presentes nos resíduos sólidos, ricos em matéria orgânica, são os metais tóxicos, presentes principalmente, em componentes não orgânicos, bem como outros inertes como vidro, plásticos e outros. As unidades de triagem de resíduos sólidos têm papel muito importante na qualidade do composto, e hoje possuem condições de realizar a separação da matéria orgânica e inorgânica. O uso de políticas de coletas seletivas com a separação dos tipos destas matérias também leva a obtenção de compostos de excelente qualidade, assim como a reciclagem dos materiais secos como vidros, plásticos, papeis, metais, entre outros.

A qualidade de um composto é determinante para a sua utilização (Kiehl, 2002). Este autor afirma que compostos com leve contaminação de metais tóxicos podem ser utilizados na adubação de florestas, plantas ornamentais e projetos paisagísticos, desde que estas plantas não sejam utilizadas como produtos comestíveis.

A legislação brasileira define as características necessárias ao composto para a sua comercialização e utilização. Até 1982, os fertilizantes orgânicos não eram regulamentados, mas o Decreto Federal nº 75.583, de 09/04/1975, que regulamentou a Lei 6.138, de 08/04/1974, referiu estes insumos, em seu artigo 13, como: “ficam dispensados de registro: esterco curado, resíduos sólidos fermentados, cinzas, fuligens e outros resíduos, quando vendidos com a sua denominação exata”.

Já o Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, regulamentou os fertilizantes organominerais e estabeleceu a seguinte definição “fertilizante organomineral – fertilizante proveniente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”.

Atualmente a Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

“dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados e comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos [...] desta Instrução Normativa, que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas”.

Esses limites para os fertilizantes orgânicos, constam na tabela 2 e devem ser observados para a obtenção de compostos de boa qualidade.

Outra Instrução Normativa brasileira, que dispõe sobre os fertilizantes, é a nº 23, de 31 de agosto de 2005, que aprova as

“definições e 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, que define os tipos de fertilizantes orgânicos como: Simples, misto: dois ou mais fertilizantes, composto: mais de uma matéria prima, lodo de esgoto, vermicomposto, composto de lixo, organomineral”.

No caso específico do esterco de aves, ele é definido pela legislação como fertilizante orgânico do tipo simples, ou seja, “produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um

ou mais nutrientes de plantas”. A Instrução Normativa N° 23, de 31 agosto de 2005, também classifica os fertilizantes em classes (Tabela 3), de acordo com a matéria prima utilizada em sua produção. Essa Instrução Normativa também estabelece características físico-química dos fertilizantes orgânicos simples (Tabela 4), além dos fertilizantes mistos e compostos.

**Tabela 2** – Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos pela Instrução Normativa N° 27/2006.

<b>Contaminante</b>	<b>Valor máximo admitido em mg/kg na massa total do fertilizante</b>
Arsênio (As)	20,00
Cádmio (Cd)	3,00
Chumbo (Pb)	150,00
Cromo (Cr)	200,00
Mercúrio (Hg)	1,00
Níquel (Ni)	70,00
Selênio (Se)	80,00
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g MSD)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Brasil (2006).

**Tabela 3** – Classificação dos fertilizantes de acordo com a matéria prima utilizada em sua produção, estipulada pela Instrução Normativa N° 23/2005.

<b>Classe</b>	<b>Matéria Prima</b>
“A” Sem Na, metais pesados , elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo	Vegetal, animal, agroindústria
“B” Presença de Na, metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo	Industrial e agroindústria
“C”	Lixo domiciliar
“D”	Despejos sanitários

Fonte: Brasil (2005).

**Tabela 4** – Especificações dos fertilizantes orgânicos simples, limites mínimos aceitos pela Instrução Normativa N° 23/2005.

<b>Orgânico simples processado</b>	<b>Umidade % máx</b>	<b>pH</b>	<b>* C org % mínimo</b>	<b>N % mínimo</b>	<b>* CTC mínimo</b>	<b>* CTC/C mínimo</b>
Estercos e camas	30	Conforme declarado	20	1	Conforme declarado	10

\* Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C.

Fonte: Brasil (2005).

Em relação aos macronutrientes primários, secundários e micronutrientes, estes terão as especificações, garantias e características mínimas estabelecidas também pela Instrução Normativa N° 23 (Tabela 5). Nesta Instrução Normativa foi definido que quanto aos teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg e S forem menores que 5 %, há uma tolerância de 15 % dos valores declarados. Quando os teores desses nutrientes forem de até 40 %, esta tolerância passa para 10 %, sem exceder uma unidade. Quando os teores forem maiores que 40 %, a tolerância é de 1,5 unidades. Quanto a soma do NPK, NP, PK ou NK for menor que 5 %, a tolerância será de duas unidades.

**Tabela 5** – Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. Estabelecida pela Instrução Normativa N° 23/2005

<b>Garantia</b>	<b>Misto/composto</b>				<b>Verminocomposto</b>
	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>	<b>Classe D</b>	<b>Classes A, B, C, D</b>
Umidade (máx)	50	50	50	70	50
N total (mín)	1				
* Carbono org. (mín)	15				10
* CTC	Conforme declarado				
pH (mín)	6,0	6,5		6,0	6,0
Relação C:N (máx)	18				12
Relação CTC/C (mín)	20			30	20
Soma NPK, NP, NK, PK	Conforme declarado				

\* Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C. Fonte: Brasil (2005).

## 2.3 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente que mais freqüentemente é deficiente em lavouras de produção, precisando ser adicionado ao solo para a produção de algumas culturas. Entender o comportamento do N no solo é essencial do ponto de vista agrônomo, aumentando a produtividade, e ambiental, reduzindo os impactos ao meio ambiente pela utilização de fertilizantes para a adição do N. Existem muitas formas de suprir esta necessidade de N, fertilizantes inorgânicos, orgânicos e também o N<sub>2</sub> que pode ser absorvido pelas plantas (TISDALE, 1993).

O ciclo do N pode ser dividido em entradas ou ganhos de N, saídas ou perdas de N, e o ciclo do N no solo (Tabela 6).

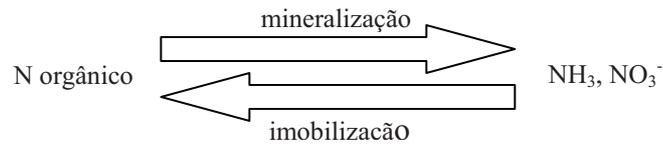
**Tabela 6** – Entrada, saída e ciclo do N, no solo, planta e atmosfera.

Entradas de N	Saídas de N	Ciclo do N
Fixação:	Gasto pela planta	Imobilização
Biológica	Desnitrificação	Mineralização
Industrial	Volatilização	Nitrificação
Elétrica	Fixação de amônia	
Combustão	Lixiviação	
Esterco de animais		
Resíduos de plantações		

Fonte: Tisdale (1993).

### 2.3.1 Ciclo do nitrogênio no solo

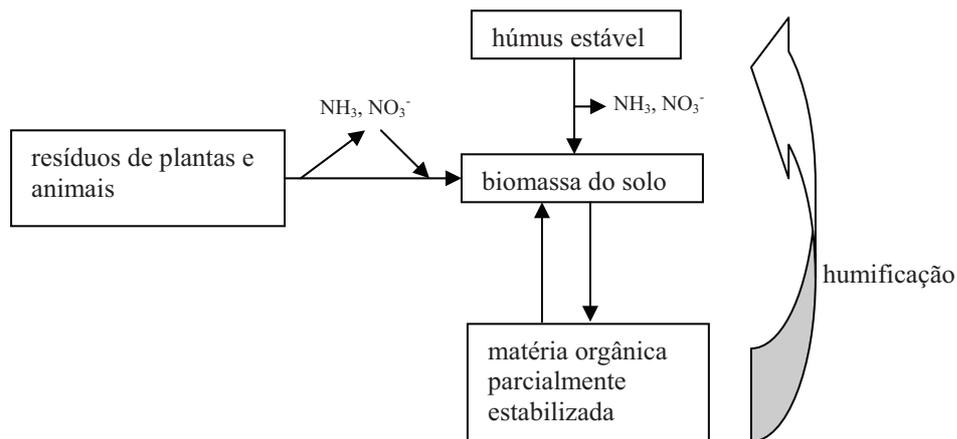
Stevenson (1986), no capítulo 5 de seu livro, afirma existir um ciclo interno do N no solo, e que este ciclo se diferencia do ciclo geral do N, mas existindo uma interação entre eles. Segundo o autor, a chave para este ciclo interno são mudanças biológicas do N através da mineralização e imobilização, figura 2. Onde esta mudança, através da mineralização e imobilização, leva a um intercâmbio de formas inorgânicas do N com as formas orgânicas do N. O decréscimo nos níveis de N mineral com o passar do tempo indica imobilização; ao contrário, o acréscimo de minerais leva a indicação de mineralização. Quando o nível de N mineral permanecer inalterado, não significa que o ciclo interno do N não está funcionando, e sim que o balanço entre imobilização e mineralização está equilibrado.



**Figura 2** – Ciclo interno de transformação biológica do N.

Fonte: Stevenson (1986).

Várias frações de matérias orgânicas interrelacionadas devem ser levadas em consideração quando considerar o N, interação da matéria orgânica com o solo (figura 3). A matéria orgânica passa por decomposição no solo e o N inorgânico é incorporado no tecido microbial (biomassa), uma parte que é convertida para a recém formada substância parcialmente estabilizada, e no final transformada em húmus estável.



**Figura 3** – Reunião de N orgânico no solo e suas interações.

Fonte: Stevenson (1986).

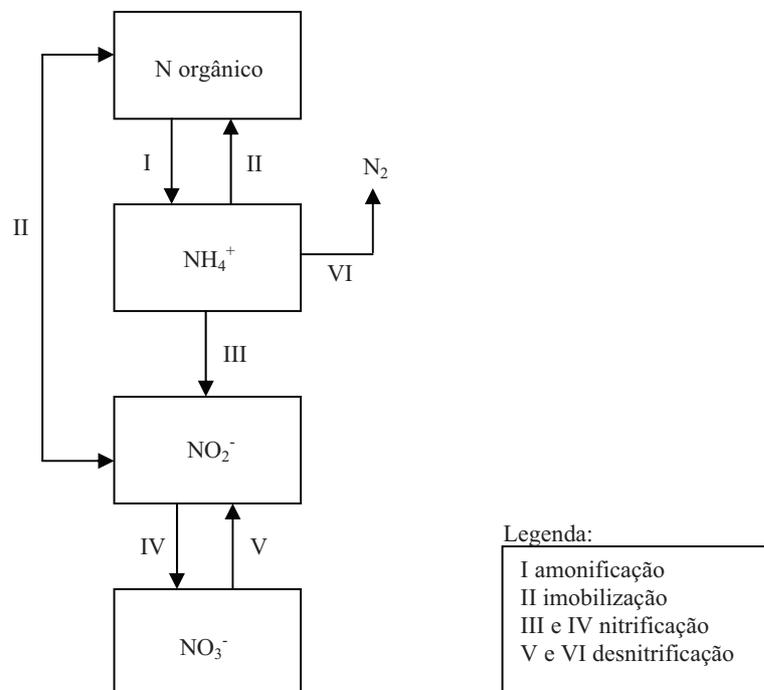
Processos bioquímicos como amonificação, nitrificação, desnitrificação e assimilação são responsáveis por muitas das transformações que ocorrem dentro do solo. No entanto, reações de fixação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pelos minerais da argila e de NH<sub>3</sub> pelas matérias orgânicas do solo também tem um papel importante. As transformações que o N passa no solo podem ser vista na figura 4.

### 2.3.2 Mineralização

O processo de transformação do N orgânico em nitrato é chamado de mineralização e é composto pelos processos de amonificação e nitrificação. A amonificação é mediada por microorganismos quimiorganotróficos. A nitrificação ocorre sempre de maneira mais rápida, e por organismos quimiolitotróficos especializados (CARDOSO et al. 1992).

#### 2.3.2.1 Amonificação

É o processo de conversão do N orgânico em amônio  $\text{NH}_4^+$ , sendo o passo limitante da mineralização. Este processo se dá tanto de forma aeróbia como anaeróbia, devido a capacidade dos microrganismos quimiorganotróficos efetuarem esta transformação nas duas condições. As taxas no processo de transformação em condição anaeróbia são mais lentas que as taxas de transformação aeróbia. A formação de amônio é o primeiro produto da decomposição de matérias orgânicas e tipicamente o resultado de excreção de N celular durante esta decomposição. A mineralização aumenta com o aumento da temperatura e um bom suprimento de  $\text{O}_2$  (CARDOSO et al., 1992; TISDALE, 1992).



**Figura 4** – Esquema de transformações pelo qual passa o N no solo.

Fonte: Adaptado de Cardoso (1992).



A nitrificação, juntamente com a amonificação, exerce papel fundamental nos mecanismo de perdas de N nos solos, principalmente os de perda por via gasosa.

**Quadro 1** – Microrganismos quimiolitotróficos, responsáveis pela nitrificação do amônio no solo.

Espécie	Crescimento em cultura pura		Tempo para geração
	Temperatura	pH	Horas
	°C		
<b>Oxidação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>			
<i>Nitrosomonas europaea</i>	5 – 40	5,8 – 9,5	12,7
<i>Nitrosopira briensis</i>	25 – 30 (ótimo)	7,5 – 8,0 (ótimo)	20,9
<i>Nitrosolobus tenuis</i>	15 – 30	6,0 – 8,2	16,0
<i>Nitrosovibrio tenuis</i>	...	...	...
<b>Oxidação do NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>			
<i>Nitrobacter winogradskyi</i>	5 – 40	5,7 – 10,2	15,1
<i>Nitrobacter agilis</i>	...	...	13,2

Fonte: Cardoso et al. (1992); STEVENSON (1986); Foch e Verstraete (1977).

Alguns fatores especiais afetam a nitrificação nos solos, entre eles os principais são (CARDOSO et al., 1992):

1. Aeração: por ser um processo aeróbio de oxidação, a nitrificação depende da presença de O<sub>2</sub>. Portanto, a aeração do solo faz com que o processo de nitrificação aumente;
2. Temperatura: a temperatura ideal para a nitrificação está na faixa entre 26<sup>0</sup> C e 32<sup>0</sup> C. Com temperaturas acima de 51<sup>0</sup> C o processo é parado;
3. Umidade: o teor de umidade ótimo para a nitrificação deve estar, em geral, no mesmo nível ideal para o crescimento de vegetais superiores. O solo não dever estar com a umidade saturada ou reduzida;
4. Relação C:N: na incorporação de matéria orgânica no solo este é o fator mais importante nas transformações do N, em especial na nitrificação. Em altas realções C:N, por exemplo, 60:1, o N mineral fica retido no solo, temporariamente, podendo causar deficiência de N. Isto acontece devido a ação da microbiota quimiorganotrófica (bactérias, fungos e actinomicetos) que se reproduzem em grande quantidade, produzindo grandes quantidades de

CO<sub>2</sub>. Esta imobilização diminui com o decréscimo da relação C:N, ou seja, a produção de CO<sub>2</sub>, consome o C existente, enquanto o N mineral não é liberado ao consumo das plantas, formando a massa celular microbiana. Quando a relação C:N retorna a níveis em torno de 20:1, a nitrificação volta a acontecer, em níveis até superiores a condições iniciais. A produção de CO<sub>2</sub> também cai, isto ocorre devido a diminuição dos teores de C.

Victoria et al. (1992) afirmam que assim como o amônio, o nitrato também pode seguir vários caminhos: ser absorvido pelas plantas. O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é o íon nitrogenado absorvido preferencialmente pela maioria das plantas cultivadas; ser reutilizado pela atividade microbiana do solo, em condições de nova imobilização; ser lixiviado, em condições de alta umidade e fluxo vertical de água; ou ser perdido por desnitrificação em caso de baixa concentração de O<sub>2</sub>.

#### 2.3.2.3 Imobilização

O termo imobilização é utilizado para referir-se ao mecanismo de decréscimo do N mineral disponível no solo. A imobilização pode incluir processos biológicos, como assimilação por microrganismos e conversão para formas orgânicas; e não biológicos, como a fixação amônio em certos tipos de argila. Vários são os fatores que afetam a imobilização, salientando-se a temperatura e a relação C:N (VICTORIA et al., 1992).

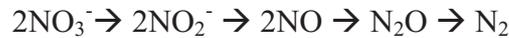
Broadbent (1957) apud Victoria et al. (1992) fez um estudo sobre a influência da temperatura na variação do N inorgânico marcado e total em solo franco-argiloso, e observou que a quantidade de N eventualmente imobilizada não é afetada de maneira marcante pela temperatura. Porém, as taxas de imobilização, medidas pelo coeficiente angular inicial das curvas de mudança do N inorgânico, são fortemente afetadas, isto ocorre mais fortemente em temperaturas mais altas. Já a mineralização do N marcado é muito menor, o que indica que o N mineralizado é preferencialmente de fontes nativas.

Como visto anteriormente a relação C:N tem forte ligação com a imobilização de N, pois o N retido é utilizado pelos microrganismos para a decomposição da matéria orgânica.

#### 2.3.2.4 Desnitrificação

A respiração anaeróbia de certos microrganismos capazes de utilizar nitrato ou nitrito como aceptores finais de elétrons em lugar do oxigênio é definido como desnitrificação (VICTORIA et al., 2003 apud FIRESTONE, 1982; FOCHT, VERSTRAETE, 1977).

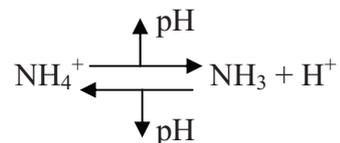
Desnitrificação nada mais é que a redução bioquímica do nitrato e nitrito principalmente a  $N_2$  e  $N_2O$ , pela seguinte seqüência de reações:



A desnitrificação acontece por anaerobiose, que pode ser causada por má aeração, altos teores de umidade, devido a sistemas de drenagem deficientes, também pode acontecer pela presença excessiva de nitrato. Valores de pH indicam a preferência da liberação dos compostos nitrogenados. pH alcalino, acima de 7,0, favorece a liberação de  $N_2$ , enquanto valores de pH abaixo de 6,0 favorecem a liberação de óxido de nitrogênio (CARDOSO, 1992).

#### 2.3.2.5 Volatilização

A perda de N no solo ocorre naturalmente pela volatilização de  $NH_3$ . A volatilização de  $NH_3$  também depende da quantidade de  $NH_3$  e  $NH_4^+$  na solução do solo. A quantidade de  $NH_3$  volatilizada de fertilizantes recebe a influência de alguns fatores, mas o principal fator de dependência é o pH. A relação da volatilização com o pH pode ser expressa na seguinte seqüência:



Onde quanto mais alto for o pH maior será a quantidade volatilizada de  $NH_3$ , segundo Tisdale(1993), as quantidades de  $NH_3$  só começam a aparecer de forma significativa quando o pH exceder 7,5, e atingem seu ponto máximo com pH acima de 11,0. A relação contrária é verdadeira para  $NH_4^+$ , que tem a sua aparição máxima quando o pH for abaixo de 7,5, enquanto que concentrações mínimas são encontradas com pH acima de 11,0. Isto é explicado pelo consumo do  $H^+$  em pH acima de 7,0, o que faz com que o equilíbrio da reação caia para a direita, favorecendo a perda por volatilização do  $NH_3$ . Entretanto a perda deste  $H^+$ , para o  $NH_3$  não é tão suscetível em pH neutro ou ácido.

## 2.4 Gesso da construção civil

O Conama (BRASIL, 1986) define impacto ambiental como

*“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetem a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais”.*

Os resíduos da construção civil, também conhecidos como resíduos de demolição e construção – RCD, têm sido alvo de estudo nos últimos anos, devido ao impacto ambiental gerado, tanto na extração de matérias virgens para a construção, como na deposição de forma inadequada dos resíduos provenientes de reforma e ou demolição. Pesquisas têm buscado a reutilização e ou reciclagem dos RCD (SCHNEIDER, 2003).

Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios, tais como:

- redução no consumo dos recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (ANGULO, 2002);
- redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50 % da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999);
- redução do consumo de energia durante o processo de produção (JOHN, 2000);
- redução da poluição: por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999).

No Brasil, estes resíduos não apresentam grandes problemas de contaminação, apesar de muitos estarem depositados de forma inadequada ou até mesmo ilegal. Em sua maioria os RCD, gerados aqui, são muito parecidos em suas características químicas e minerais, com agregados naturais do solo. Entretanto, a deposição irregular destes resíduos atrai também materiais orgânicos. O que acaba sendo habitat para espécies, que podem ser transmissores de doenças ao homem, como moscas, ratos, mosquitos e baratas (ANGULO, 2002).

A Resolução CONAMA nº 307, que define, classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos resíduos da construção e demolição, além de atribuir responsabilidades para o poder

público municipal e também para os geradores de resíduos no que se refere à sua destinação (BRASIL, 2002).

A Resolução nº 307, diz que, quanto a classificação e destinação:

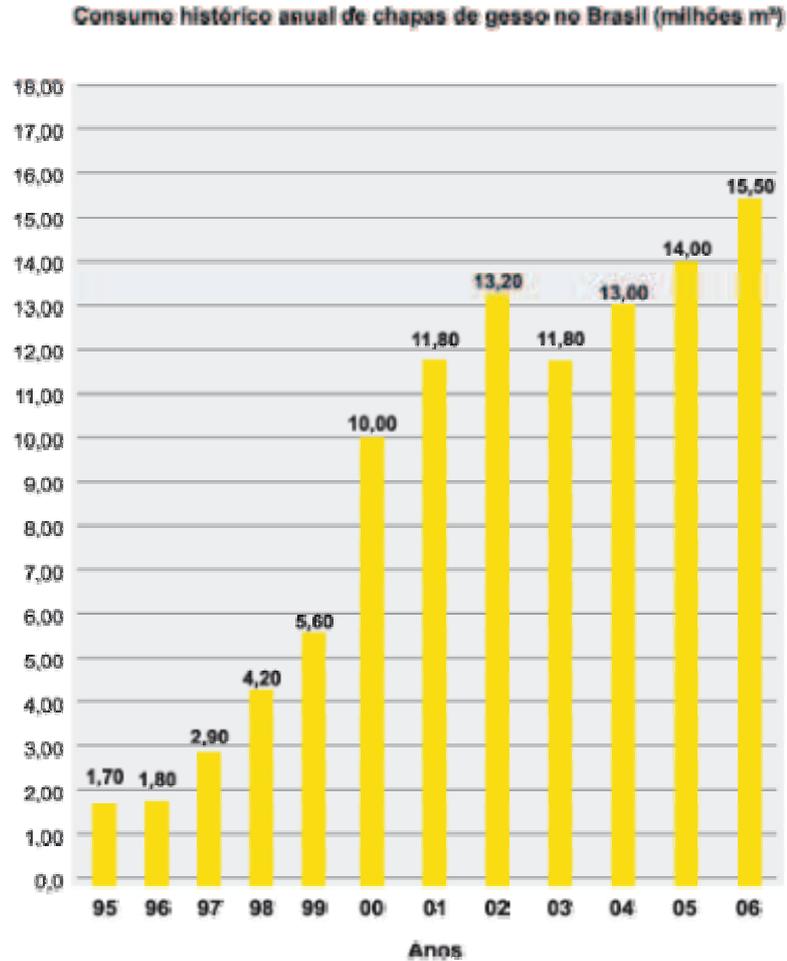
- classe A – alvenaria, concreto, argamassas e solos. Destinação: reutilização ou reciclagem com uso na forma de agregados, além da disposição final em aterros licenciados;

- classe B – madeira, metal, plástico e papel. Destinação: reutilização, reciclagem ou armazenamento temporário;

- classe C – produtos sem tecnologia disponível para recuperação (gesso, por exemplo). Destinação: conforme norma técnica específica;

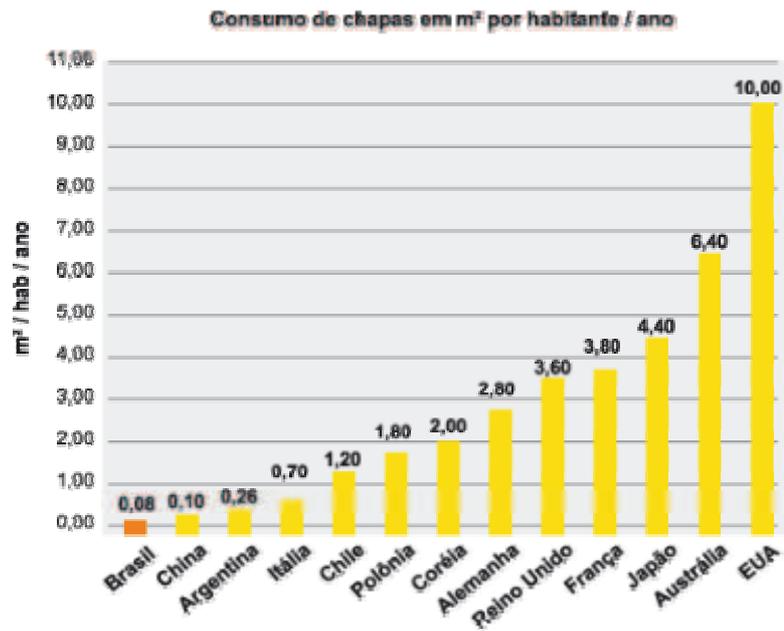
- classe D – resíduos perigosos (tintas, óleos, solventes etc.), conforme NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação). Destinação: conforme norma técnica específica.

De acordo com dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas de Gesso (Abragesso), o Brasil tem apresentado grande crescimento na utilização de chapas de gesso pela construção civil, aproximadamente, 912 % em 11 anos, (Figura 5). Este crescimento se deve principalmente a utilização do gesso como decoração e também o desenvolvimento de novas tecnologias baseadas em gesso, como o sistema de construção a seco, também conhecido como drywall, que permitem a utilização do gesso, combinado com outros materiais, para a construção de divisórias com isolamento acústico e térmico. Comparando com os Estados Unidos, por exemplo, que instala uma média de 2,5 bilhões de metros quadrados ao ano os números do Brasil ainda são baixos, em torno de 15,5 milhões de metros quadrados no ano de 2006. Outro fator que mostra esta diferença é o consumo de chapas de gesso por habitante, figura 6, enquanto os brasileiros consomem 0,08 metros quadrados de placas de gesso por ano, ficando atrás no consumo de países vizinhos como Chile e Argentina, os norte americanos, maiores consumidores de placas de gesso, consomem 10 metros quadrados por ano.



**Figura 5** – Crescimento do consumo anual de chapas de gesso no Brasil.

Fonte: Abragesso (2007).



**Figura 6** – Comparativo do consumo anual de chapas de gesso entre o Brasil e outros países.

Fonte: Abragesso (2007).

#### 2.4.1 Perdas de gesso na produção

As perdas na construção são significativas, devido às atividades de corte. Elas dependem muito da modulação da obra. Estima-se que entre 10 a 12 % do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a construção nos EUA (CAMPBELL, 2003). No Brasil a estimativa da indústria é de perdas de 5 % (JOHN, 2003).

O projeto FINEP HABITARE estimou que o desperdício na construção civil, é de 45 % (AGOPYAN, 1998), enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam perdas em torno de 30 % da massa de gesso. Na região da grande São Paulo, estima-se um consumo de gesso para revestimento de aproximadamente 20.000 toneladas/mês.

#### 2.4.2 Possíveis aplicações para o gesso

John (2003) destaca outras aplicações para os resíduos de gesso:

a) correção de solos (MARVIN, 2000; CWMB, 2003, CARR & MUNN, 1997). Com emprego na agricultura, recreação, marcação de campos de atletismo e plantação de cogumelos. A Gypsum Association USA propõe uma alternativa de moagem do gesso no canteiro, com aplicação do produto diretamente no solo, em até 22 ton/acre (Gypsum Association, 2003). Alguns estados norte-americanos não permitem o lançamento de gesso no solo (NAHB, 2003);

b) aditivo para compostagem (Marvin, 2000; CWMB, 2003);

c) forração para animais (Marvin, 2000; CWMB, 2003);

d) absorvente de óleo (Marvin, 2000; CWMB, 2003);

e) controle de odores em estábulos (CIWMB, 2003);

f) secagem de lodo de esgoto (CWMB, 2003).

Na compostagem, o gesso pode ser utilizado como um aditivo, visando o aumento do sulfato e, por consequência, a redução do processo de volatilização do  $\text{NH}_3$ , visto que este processo é reduzido quando o  $\text{NH}_4$  combina-se com o sulfato.

Existe uma discussão sobre o efeito do gesso no processo de compostagem de resíduos orgânicos, onde alguns autores afirmam que a adição do gesso não teve influência significativa no processo de volatilização de  $\text{NH}_3$  e outros afirmam o contrário.

Taucher & Adler (1965) apresentaram a seguinte reação para explicar este controle:



Oliveira et al. (2003) estudaram o efeito de diferentes aditivos no processo de compostagem de cama de frango. Este estudo visou determinar o teor de matéria seca, pH e a amônia volatilizada. Onde houve efeito dos aditivos ( $P < 0,05$ ) sobre o pH, sendo que o menor valor (6,97) foi obtido na cama de frango tratada com gesso agrícola. Este menor pH se deve ao fato de o produto ter sido usado em grande quantidade (40 % do peso da cama) e de sua alta capacidade em absorver umidade, o que reduz a atividade das bactérias produtoras de amônia, reduzindo, assim, o pH da cama. Os resultados foram comparados e semelhantes, segundo Oliveira et al. (2003), aos obtidos por Neme et al. (2000), que verificaram redução no pH das camas com o uso do gesso agrícola.

Neme et al. (2000), em trabalho com adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frango de corte, concordam na redução do pH das camas tratadas com gesso da construção civil, mas não conseguiram obter os mesmos resultados obtidos por Oliveira et al. e concluem com a seguinte afirmação “A adição de 43 % de gesso agrícola às camas, não influencia o desempenho das aves, bem como a qualidade das camas e não promove a fixação de nitrogênio às camas testadas, não justificando, portanto, o seu uso na proporção avaliada”.

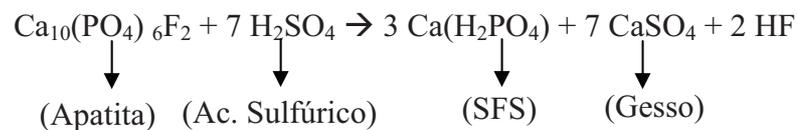
Gloria et al. (1991) avaliaram o gesso agrícola e outros produtos como inibidores da volatilização de amônia de três tipos de esterco; dentre eles, a cama de frango apresentou valores intermediários nas perdas de nitrogênio em relação ao esterco puro de galinhas poedeiras e aos esterco de bovinos em confinamento em mistura com bagaço de cana. O superfosfato simples foi melhor que o gesso, inibindo 58,9 e 39,3 % das perdas de nitrogênio respectivamente, sendo que os outros materiais testados não apresentaram ação inibidora.

Esses trabalhos possibilitaram avaliar alguns aspectos da dinâmica do N de substratos orgânicos na presença do gesso.

## 2.5 Superfosfato simples

Os principais fosfatos totalmente acidulados produzidos na indústria de fertilizantes pertencem ao grupo dos superfosfatos, constituído pelo superfosfato simples (SSP – *Single Superphosphate*) e pelo superfosfato triplo (TSP – *Triple Superphosphate*), ou a o grupo dos fosfatos amoniados e pelo fosfato diamônico.

A fabricação do superfosfato simples se dá pela reação da rocha fosfática moída com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). sendo expressa pela fórmula simplificada da reação da fluorapatita:



Os fertilizantes fosfatados são aplicados ao solo, normalmente, como uma fonte de P às plantas, visto que os solos brasileiros apresentam deficiência deste nutriente. Para o experimento 2, desenvolvido neste projeto, a utilização do SFS, como mistura ao esterco de aves, se deve à presença do enxofre neste fertilizante (PROCHNOW, 2004). O SFS vem sendo utilizado para minimizar as perdas de amônia durante o processo de compostagem a muito tempo, desde Collings (1955) até os dias atuais.

Assim, o SFS é uma alternativa, à adição de S realizada na indústria de ovos, com a aplicação de gesso, tanto para a diminuição das perdas de N amoniacal, como para a diminuição de odores provenientes do esterco das aves poedeiras. Esta substituição da fonte de adição de S no resíduo gerado pela indústria serve, principalmente, para a comprovação do efeito do S.

### **3 MÉTODOS E MATERIAIS**

O trabalho foi desenvolvido com a realização de dois experimentos (Figura 7). O primeiro experimento (Experimento 1) foi realizado na área experimental, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV) da Universidade de Passo Fundo, no município de Passo Fundo, RS. O segundo experimento (Experimento 2) foi realizado em estufa plástica, também na FAMV. O município de Passo Fundo se situa a 687 m de altitude sobre o nível do mar e apresenta precipitação pluvial média anual de 1.788 mm e uma temperatura média anual de 17,5° C. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo predominante temperado (C), úmido (f), variando a subtropical (Cfa) (CUNHA, 1997). O tempo de duração dos Experimentos 1 e 2 correspondeu a 95 e 37 dias, respectivamente. A figura 7 ilustra as principais etapas desenvolvidas nestes experimentos, envolvendo, análises químicas, físicas e biológicas e, na seqüência, os testes estatísticos.

O esterco de aves poedeiras, utilizado nos Experimentos 1 e 2, foi gerado na Indústria de Ovos Naturovos, da cidade de Salvador do Sul (RS). No experimento 1, foram adicionados 6 % de gesso ao esterco de ave poedeira, durante a retirada do esterco das esteiras da indústria.

### 3.1 Experimento 1

Este experimento teve como objetivo avaliar a dinâmica do N em pilhas de compostagem de esterco de ave poedeira, tendo em vista testar se a adição de gesso da construção civil e o revolvimento destas pilhas influenciam o teor final desse nutriente, bem como a qualidade do composto produzido. A figura 7 mostra o fluxograma do Experimento 1.

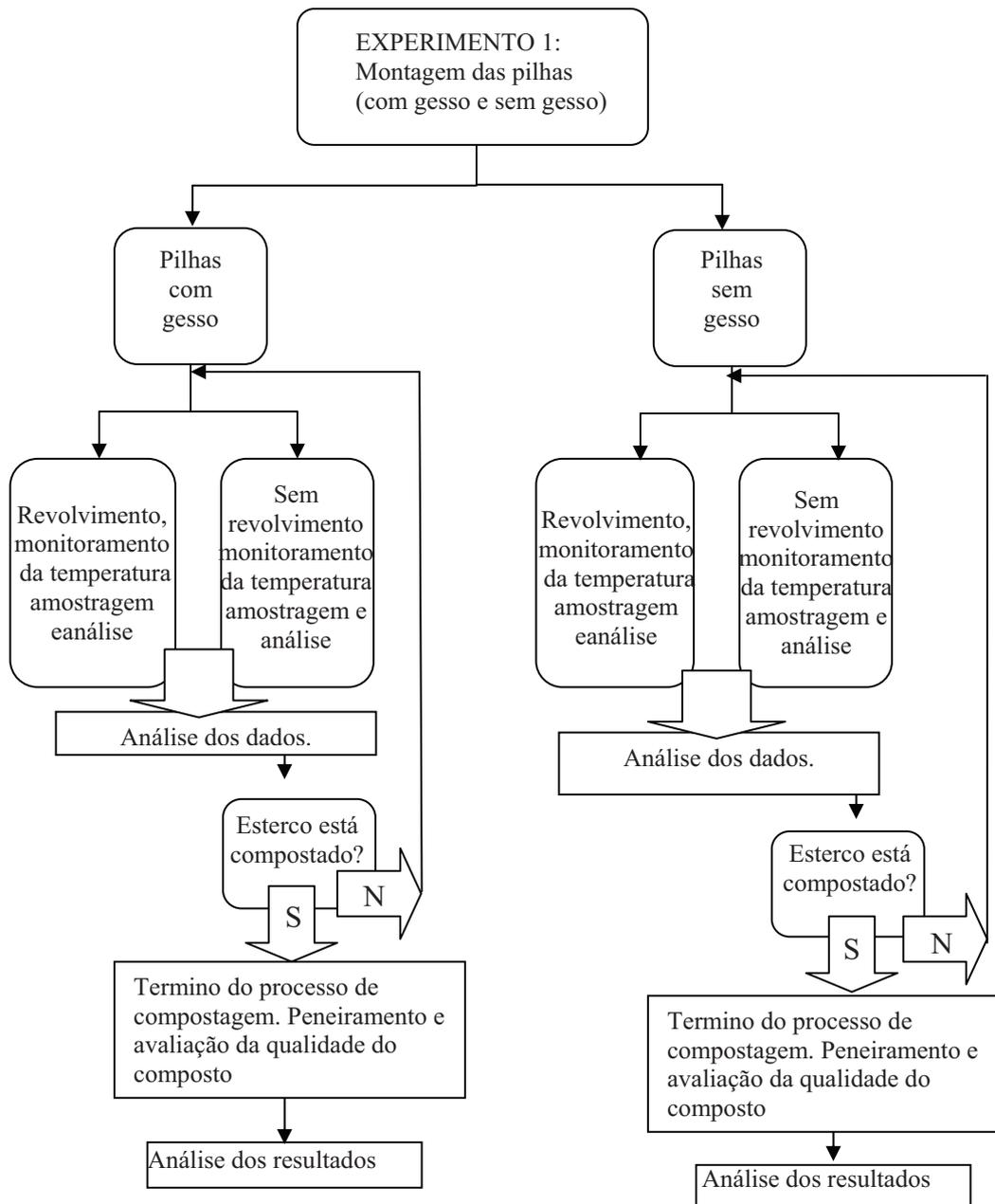


Figura 7 – Fluxograma do experimento 1.

### 3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos

O arranjo dos tratamentos constitui em um tri-fatorial (revolvimento, gesso e época), onde foram testados os seguintes tratamentos de compostagem do esterco de poedeira com três repetições:

1. sem gesso e sem revolvimento;
2. com gesso e sem revolvimento;
3. sem gesso e com revolvimento;
4. com gesso e com revolvimento.

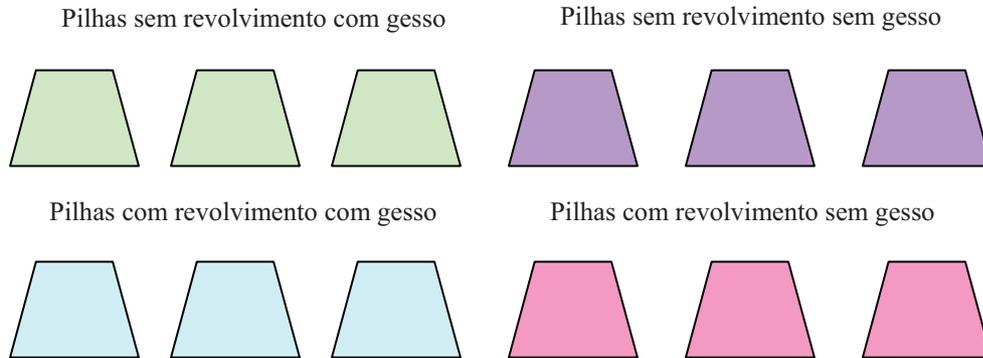
A disposição das pilhas no campo experimental obedeceu a facilidade da realização do revolvimento por parte da retroescavadeira, ficando as pilhas com revolvimento na parte mais baixa do terreno, devido as pilhas sofrerem espalhamento, devido a declividade do terreno, no momento da realização do mesmo, ficando assim, as pilhas sem revolvimento na parte superior do terreno.

A adição de 6 % de gesso ao esterco foi realizada na indústria de ovos, durante a coleta do esterco das esteiras dos aviários. Após esta adição de gesso, este esterco foi transportado até a área experimental foi realizado em caminhão coberto com lona, logo após a retirada desse resíduo das esteiras do aviário. O transporte foi separado em duas cargas (com e sem gesso), com diferença de sete dias entre elas, sendo que cada carga foi de 40 toneladas de esterco de aves. Assim, as pilhas sem gesso foram montadas com sete dias de antecedência às pilhas com gesso, devido ao processo de coleta e transporte do esterco, até a área experimental e a adição de gesso ser realizada na esteira de coleta desse resíduo, existente na indústria de ovos Naturovos. Embora às pilhas com gesso tenham sido montadas em datas diferentes das pilhas sem gesso a “idade” do esterco compostado foi padronizada, quando da comparação dos tratamentos de compostagem. Após a montagem, as pilhas, então, foram submetidas ao processo de compostagem.

### 3.1.2 Montagem e manutenção das pilhas (leiras)

Após a descarga do esterco das aves poedeiras na área experimental, uma retroescavadeira foi utilizada para a montagem das pilhas. A área experimental apresenta topografia levemente inclinada. Na parte mais alta dessa área foram locadas às pilhas sem revolvimento e, na parte mais inferior da área; as pilhas com revolvimento (Figuras 8 e 9). As dimensões iniciais das

pilhas foram: altura, 1,5 m; largura, 2 m; comprimento, 3 m; e o espaçamento entre pilhas foi de 5 m. Este espaçamento entre as pilhas foi necessário para possibilitar que a retroscavadeira pudesse realizar os revolvimentos.



**Figura 8** – Esquema ilustrativo da distribuição das pilhas de compostagem na área do experimento 1.



**Figura 9** – Pilhas de compostagem de esterco de ave poedeira. A esquerda da foto, parte de cima do terreno, as pilhas sem revolvimento e, a direita, as pilhas revolvidas. As pilhas mais claras, são as com gesso.

O revolvimento inicial nas pilhas foi semanal e com a retroescavadeira (Figura 10). Após as primeiras semanas, o revolvimento foi de três vezes por semana, até a temperatura das pilhas baixar, indicando o fim da fase termófila. Quando o composto foi estabilizado foi feito o peneiramento e estimado o volume do composto, para estimar o balanço de massa, comparando-se com a massa inicial e final do esterco compostado. Na operação de revolvimento, a concha fazia um corte na pilha, quase rente ao solo, e levantava o material, largando-o novamente, de maneira que toda a pilha fosse revolvida, procurando não raspar o solo e evitando não adicioná-lo a pilha (Figura 12).



**Figura 10** – Realização do revolvimento com retroescavadeira, em pilha de esterco de ave com gesso.

#### 3.1.2.1 – Monitoramento da umidade e da temperatura

Como visto anteriormente (item 6.3.3), a temperatura e a umidade são variáveis importantes, que indicam a fase da compostagem e também como estão as condições da pilha, tendo em vista otimizar a ação dos microrganismos.

A temperatura foi medida em cada uma das pilhas, antes do revolvimento, com auxílio de um termômetro digital e de uma sonda, que foi introduzida no interior da pilha, a

profundidade de 40-50 cm, cerca da metade da altura da pilha (Figura 11). Assim, foi possível evitar as camadas mais frias da pilha, que são as externas, a base e o cume.

Para a determinação da umidade, amostras foram coletadas, em todas as pilhas, e a umidade foi determinada, no laboratório. Esta coleta foi feita com o uso de sacos plásticos identificados e em cada revolvimento. Nas pilhas revolvidas, a amostra foi coletada no centro, após a primeira operação da retroescavadeira. Nas pilhas sem revolvimento, a coleta foi feita com o uso de uma pá de corte a 40 cm de profundidade, no interior da pilha.



**Figura 11** – Medição da temperatura das pilhas de compostagem de esterco de ave poedeira com auxílio do termômetro digital.

Após a coleta das amostras, estas foram levadas ao laboratório no qual foram pesadas duas alíquotas de 50 g do material úmido, retirado de cada pilha, que depois foram secadas em estufa, a 65<sup>o</sup>C e a 105<sup>o</sup>C, por 16 horas. Após o período de secagem, o material foi pesado novamente para a determinação de sua umidade a 65<sup>o</sup>C e a 105<sup>o</sup>C.

### 3.1.3 Método e análises laboratoriais e estatísticas

As análises laboratoriais foram realizadas conforme Tedesco et al. (1995) no Laboratório de Química do Solo e Resíduos Sólidos. Abaixo segue a descrição das rotinas das análises laboratoriais realizadas.

A condutividade elétrica foi realizada em um copo de Becker, no qual o esterco foi diluído na proporção de 1:10 com água deionizada. Após, essa solução foi agitada por 2 horas e a condutividade elétrica determinada em condutivímetro digital.

O carbono foi determinado por extração úmida, com solução sulfocrômica e a dosagem por titulometria de oxiredução com sulfato ferroso amoniacal e ferroin, como indicador.

O teor de N total do esterco foi obtido pelo método Kjeldahl, cujo princípio consiste em transformar o nitrogênio dos compostos orgânicos em sulfato de amônio por um ataque oxidante com ácido sulfúrico e em presença de catalisador (mistura de sulfatos de potássio, cobre e selênio). O sulfato de amônio assim obtido foi, em seguida, deslocado por destilação, em presença de hidróxido de sódio ( $10 \text{ moles L}^{-1}$ ), recolhido em solução de ácido bórico (4 %) e dosado por titulometria com  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ moles L}^{-1}$  (Tedesco et al., 1995). Para a realização deste método de análise, a preparação da amostra consiste na secagem do esterco, em estufa, a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período de 16 horas. Esse procedimento foi adotado na avaliação do N total desta dissertação, sendo denominado como N total seco. O teor de N total úmido foi realizado também pelo método Kjeldahl, no qual o procedimento de secagem do esterco no preparo da amostra foi omitido.

O teor de N mineral foi obtido pela destilação de 2g do esterco úmido, em um tubo de digestão, no qual foram adicionados 20 mL de água destilada, 0,200g de óxido de magnésio e 0,200g de Liga de Varda e recebidos em solução de ácido bórico (4 %). Após a destilação, a solução foi titulada com  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ moles L}^{-1}$ , para a determinação do N mineral (Tedesco et al., 1995).

O pH do esterco foi analisado através do método descrito por Tedesco et al. (1995), onde foi determinado de duas formas: em água e em cloreto de cálcio. Para a determinação do pH em água, foram colocadas 10 g de esterco, em copo plástico e, em seguida, adicionados 10 mL de água deionizada. A amostra foi agitada por 5 minutos e mantida em repouso por 30 minutos. A leitura foi realizada em potenciômetro. Para a determinação do pH em cloreto de cálcio, foram colocadas também 10g do esterco em copo plástico e, em seguida, 25 mL de cloreto de cálcio ???  $\text{moles L}^{-1}$ . A amostra ficou em descanso por 30 minutos e após foi

agitada por 15 minutos. Na seqüência, a leitura do pH foi realizada com o mesmo equipamento utilizado para a leitura do pH em água.

Os dados atmosféricos (temperatura do ar e precipitação pluvial) foram obtidos na EMBRAPA-Trigo, que esta muito próxima, representando as condições climáticas do local onde foi realizado o Experimento 1.

As análises de parasitas foram realizadas pelo Laboratório de Doenças Parasitárias da FAMV, UPF, enquanto que as análises dos indicadores de microrganismos enteropatogênicos foram efetuadas pelo Laboratório de Microbiologia, da UPF. A metodologia utilizada para a determinação de ovos e larvas de parasitas foram o Willis Mollay e o de Barmann, respectivamente (FISCHER, 2001). A determinação dos microrganismos enteropatogênicos foi efetuada com a contagem de Unidade Formadora de Colônia (UFC) (COSTA, 2006).

A extração dos metais (Cd, Cr, Ni, Pb e Se) do esterco compostado foi efetuado digerindo esse material em meio ácido ( $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ ), aquecido em bloco digestor (Tedesco et al., 1995). A quantificação desses metais tóxicos foi efetuada no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, com ICP-MS.

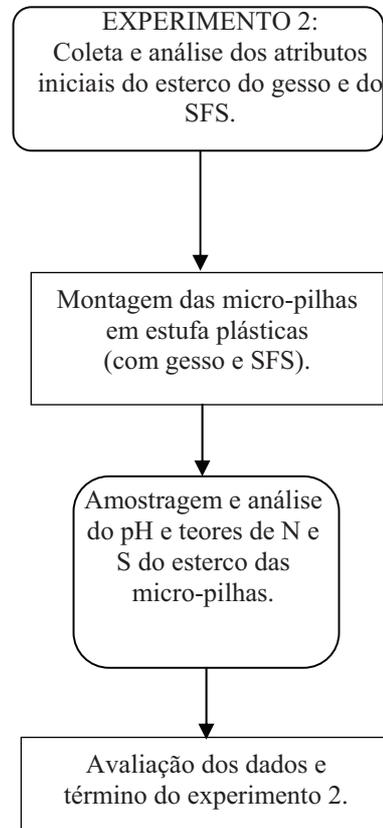
Foi efetuada a análise de variância e o teste de Tukey (fatores quantitativos) com o uso *software* computacional *SAS System*® *release 6.11* (SAS Institute, 1996).

### 3.2 Experimento 2

Este experimento teve como objetivo avaliar a dinâmica do N em pilhas de esterco de ave poedeira com diferentes doses e formas de aplicação de S as pilhas, simulando as condições reais de armazenamento do esterco em períodos de entre-safra onde pode ser armazenado em galpões ou cobertos com lonas plásticas no campo. A figura 12 mostra o fluxograma do Experimento 2.

Para o experimento 2, foram montadas micro-pilhas, com cinco quilos do mesmo esterco de ave poedeira, em uma caixa colocada no interior de estufa plástica. Nestas micro-pilhas, foram adicionadas e misturadas quantidades crescentes de gesso da construção civil e de superfosfato simples. Os níveis de gesso aplicados variaram desde 0 g/5kg, na “pilha testemunha”, até o nível de 15 % (massa/massa), o que equivale a um acréscimo de 126 g de enxofre S no esterco, considerando que o gesso da construção civil adicionado tem 16,8 % de S. Os níveis de superfosfato simples (SFS) variaram desde 0 g/5 kg até a adição de 19,5 % de

SFS, sendo que esse percentual equivale a 121,8 g de S, considerando que o SFS adicionado possui 12,5 % desse elemento.



**Figura 12** – Fluxograma do experimento 2.

### 3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

- 1) O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com duas repetições. O esquema experimental consiste em um bi-fatorial (fontes de S e níveis de S), onde foram testados: os níveis de adição de gesso; e 2) os níveis de adição de SFS.

Os níveis de S adicionados na forma de gesso e SFS foram iguais em cada tratamento testado, com essas duas fontes (Tabela 7). Logo após a montagem das micro-pilhas, elas foram colocadas em estufa plástica e não foram mais movimentadas ou revolvidas, até o fim do Experimento. As micro-pilhas foram mantidas estáticas com a finalidade de simular a situação típica de áreas de lavouras, onde o esterco de ave poedeira é, muitas vezes, armazenado no período entre-safra e coberto com lona plástica.

**Tabela 7** – Distribuição dos tratamentos e os níveis de quantidades adicionadas enxofre (S), gesso e superfosfato simples (SFS), em micro-pilhas com 5 kg de esterco de ave poedeira.

Gesso				SFS			
Tratamento	Porcentagem (%)	Peso (kg)	S (kg)	Tratamento	Porcentagem (%)	Peso (kg)	S (kg)
Testemunha	0	0	0	Testemunha	0	0	0
1	3	0,150	0,0252	6	3,9 4,9	0,195	0,0244
2	6	0,300	0,0504	7	7,8 9,8	0,390	0,0488
3	9	0,450	0,0756	8	11,7 14,62	0,585	0,0731
4	12	0,600	0,1008	9	15,6 19,5	0,780	0,0975
5	15	0,750	0,1260	10	19,5 24,36	0,975	0,1218

### 3.2.2 Transporte do esterco e obtenção do gesso

O transporte do esterco foi realizado em caminhão coberto com lona (Figura 9), logo após a retirada desse resíduo das esteiras do aviário. A coleta desse material foi realizada, após a descarga da carga na área experimental da FAMV, em sacos de 60 kg, que foram transportados à estufa plástica. As micro-pilhas foram montadas no dia posterior a sua descarga.

O gesso da construção civil foi coletado em uma indústria de gessos de Passo Fundo (RS), sendo constituído de descartes de material utilizado na fabricação de placas de gesso. Estes descartes foram levados à UPF, onde foram moídos e tamizados em peneira com abertura de malha de 200 mm, para que pudessem ser adicionados de forma homogênea nas micro-pilhas de esterco.

### 3.2.3 Montagem e manutenção das micro-pilhas (micro-leiras)

Para a montagem das micro-pilhas, foram utilizadas medidas volumétricas correspondentes às quantidades de gesso da construção civil, SFS, e esterco, já que não foi possível usar uma balança no local do experimento. As medidas volumétricas do SFS e do gesso foram constituídas com copos plásticos, onde uma quantidade específica de massa foi pesada e uma marca foi feita para que se pudesse ter o peso destes materiais na montagem das micro-pilhas. Para a pesagem do esterco, essa medida foi feita em vasilhame plástico.

Após a montagem das micro-pilhas, elas foram colocadas em uma caixa de madeira, com um estrado no fundo, revestido com uma lona perfurada, para circulação do ar e do chorume (Figura 13).

A distribuição do SFS e do gesso nas micro-pilhas foi realizada da mesma maneira que o esterco, sendo colocado a 1 kg de esterco no vasilhame de plástico e adicionadas as doses relativas à 1/5 da quantidade de SFS e de gesso no mesmo vasilhame. Após, os materiais foram misturados para a formação das micro-pilhas. Este procedimento foi repetido 5 vezes até que se pudesse obter a quantidade calculada para as micro-pilhas de esterco e do material a ser misturado (gesso ou SFS).



**Figura 13** – Micro-pilhas de 5 kg de esterco de ave poedeira, com adição de superfosfato simples, em caixa de madeira com lona plástica.

#### 3.2.4 Metodologia de coleta e análise laboratorial e estatística

A metodologia utilizada para o preparo das amostras e análises químicas foi a descrita no item 3.1.2 (Experimento 1). Neste experimento, foi realizada somente uma coleta de

amostras, ao final do processo de compostagem, quando, então, o material das micro-pilhas foi moído e peneirado, para análise dos teores de N total, N mineral, S e os valores de pH.

O teor de S foi analisado pelo Laboratório de Solos, da FAMV-UPF, conforme método descrito em Tedesco et al. (1995).

Foi efetuada a análise de variância e o teste de T com o uso dos *softwares* computacionais *SAS System* © release 6.11 (SAS Institute, 1996) e *Microsoft Excel* ©.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, são analisados e discutidos os resultados obtidos nos dois experimentos realizados nesta pesquisa. Estes experimentos serão relatados em itens específicos, sendo assim denominados: Experimento 1 e Experimento 2. No Experimento 1 será discutido a influência do revolvimento e do gesso na compostagem do esterco de aves poedeiras e no Experimento 2 será discutido o efeito de fontes e níveis de enxofre no teor de nitrogênio em micro-pilhas desse resíduo. Em ambos os experimentos, foi testada a utilização do gesso da construção civil, como fonte de S e forma de reduzir as perdas de nitrogênio do composto produzido com o esterco de aves.

### **4.1 Experimento 1**

#### **4.1.1 Caracterização inicial**

Os atributos químicos obtidos nos estercos de aves analisados, antes da compostagem, e utilizados no experimento 1, constam na tabela 8. Entre estes atributos, destaca-se o teor inicial de N total, que foi de 6,86 %, nas amostras de esterco sem gesso; e de 6,97 %, nas amostras com gesso. A diferença entre esses valores não foi significativa, pois o nível de probabilidade do teste T, obtido com esses teores, foi maior que 5 %. Contudo, houve uma tendência do teor de N ser levemente maior nas pilhas que contém gesso. Isto pode estar indicando uma menor volatilização de amônia, no período compreendido entre a adição de gesso (efetuada na indústria de ovos) ao esterco e o transporte desse até o pátio de compostagem, no qual o experimento foi conduzido. Essa tendência também está associada ao maior valor inicial de N mineral, obtido no esterco com gesso (2,54 %), comparado ao sem gesso (0,57 %), o que mostra que o esterco com gesso reteve mais N na forma de amônio ( $\text{NH}_4$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), até a chegada desse resíduo no pátio de compostagem. Estes teores de N total são considerados altos, quando comparados a outros resíduos sólidos (estercos)

compostados e usados como fontes de N às plantas (GOOTAS, 1971). Entretanto, sabe-se que muito do N total inicial existente em esterco de aves é volatilizado em forma de amônia (NH<sub>3</sub>) e isto diminuí o poder de fertilização desse resíduo, quando aplicado in natura. Esta perda também pode ser notada no processo de compostagem, deste material, como relatado em vários experimentos descritos na literatura. Sengik (2001) e Prochnow (2001) afirmam que esta volatilização é dependente de alguns fatores e pode ser reduzida com o controle da acidez residual dos aditivos ricos em enxofre, adicionados ao esterco e que irão produzir reações do N com o enxofre adicionado a este material, controlando as perdas de N na forma amoniacal.

**Tabela 8** – Atributos físico-químicos de esterco de aves poedeiras, obtidos no início da compostagem e expressos em base seca.

Atributo	Sem gesso	Com gesso	Significância
pH em água	8,78	7,88	NS
pH em CaCl <sub>2</sub>	8,72	7,39	NS
Condutividade elétrica (mS cm <sup>-1</sup> )	7,33	9,01	MS
Umidade (65 °C, %)	64,39	66,34	MS
Umidade (105 °C, %)	67,46	68,58	NS
Carbono orgânico* (%)	29,27	19,59	NS
Matéria orgânica** (%)	49,75	33,30	NS
Fósforo total (%)	3,55	4,21	NS
Potássio total (%)	2,00	1,54	S
Magnésio total (%)	1,59	1,62	NS
Cálcio total (%)	8,44	6,09	NS
Nitrogênio total (%)	6,86	6,97	NS
Nitrogênio mineral (%)	0,57	2,54	MS
Temperatura inicial (°C)	26,6	25,4	NS
Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )	0,85	0,71	NS
C:N	4,27	2,81	NS

\*Carbono orgânico (C), extraído com o método Walkley-Black. \*\*MO=(%C\*1,70). S: significativo estatisticamente (P < 0,05). MS: muito significativo (P < 0,01). NS não significativo estatisticamente (P > 0,05).

A baixa relação C:N e o alto valor do pH são os principais fatores que contribuem para aumentar a volatilização da amônia no esterco de aves (FONSECA, 2003). A baixa relação C:N, observada no esterco utilizado neste trabalho, principalmente, naquele sem gesso (C:N=3,2), deve ter favorecido o processo de amonificação e de volatilização do N. A mineralização do N orgânico pode gerar amônia (NH<sub>3</sub>), que é um gás e volatiliza; e amônio (NH<sub>4</sub>), que é um íon. O predomínio de uma dessas formas depende do valor do pH (KIEHL, 2002). Em valores de pH maiores que 7, a formação de amônia predomina; enquanto que em valores de pH menor que 7, predomina a formação de amônio. Assim, como o esterco de aves utilizado neste trabalho tem pH > 7,0 (Tabela 8), o N mineral desse resíduo deve predominar na forma de amônia. Com a adição de gesso, observou-se diminuição no pH do esterco. O valor de pH foi de 8,78 (em água) e 8,72 (em CaCl<sub>2</sub>), no esterco sem gesso; enquanto que com a adição de gesso esse valor foi de 7,88 (em água) e 7,39 (em CaCl<sub>2</sub>) (Tabela 8). Além disso, a baixa relação C:N também favorece essa forma de N, sendo isso esperado tanto com a adição de gesso ou não (Tabela 8). A baixa relação C:N pode ser corrigida através da adição de fontes de carbono ao esterco, como palhas e serragem, formando uma mistura conhecida como cama de esterco de aves, quando feito no aviário ou no material compostado (FONSECA, 2003).

#### 4.1.2 Atributos físico-químicos

Os atributos físico-químicos, obtidos nas leiras de compostagem do Experimento 1, foram analisados ao longo do tempo de compostagem (95 dias). Os resultados destas análises foram submetidos à análise estatística. A análise de variância desses resultados mostrou que a interação entre os três fatores estudados no experimento (época, gesso e revolvimento) não influenciou (P = 0,1506) os teores de N total das leiras, sendo que isso também ocorreu com as interações duplas, onde o fator revolvimento foi testado (P = 0,5256 e 0,8798, interação com a época e o gesso, respectivamente) e com o efeito isolado desse fator (P = 0,6535). Essa variável, por outro lado, foi influenciada de forma muito significativa pela interação entre a época de compostagem e a adição do gesso ao esterco (P = 0,0001) e pelos efeitos isolados dos fatores época e gesso (P = 0,0001 e 0,0412, respectivamente) (Apêndice 3; Tabela 26).

Nas demais variáveis analisadas (Apêndices 1, 2 e 3), a interação destes três fatores só não foi significativa para o atributo umidade (a 65°C). Por outro lado, foi verificado o efeito sobre esse atributo com a interação época e gesso e época e revolvimento (Apêndices 1; Tabela 20).

Os efeitos dos fatores estudados sobre os atributos avaliados serão discutidos nos itens 4.1.3 a 4.1.14, neste capítulo.

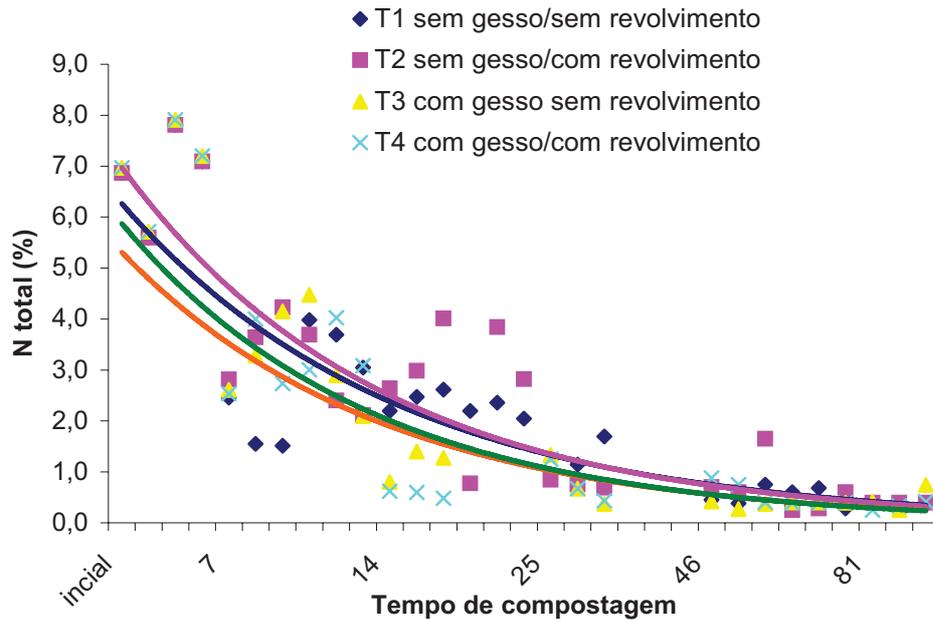
### **4.1.3 Nitrogênio total**

Com o passar do tempo de compostagem, os teores de N total, obtidos com o método Kjedahl de análise de fertilizantes orgânicos e organo-minerais, tenderam a diminuir. A análise do N total é feita após o preparo da amostra, o que inclui a secagem do material orgânico, a 65 °C, por um período de 16 horas. Após a secagem, o material seco é moído e tamizado, em peneira de 0,5 mm; antes de ser digerido, com ácido sulfúrico e, posteriormente, destilado em destilador de nitrogênio (TEDESCO et al., 1995). Entretanto, foi observado que a utilização desse procedimento de preparo da amostra gerou resultados improváveis. Após a terceira semana de compostagem, o teor de N mineral das amostras foi maior que o N total, o que não é possível, pois o primeiro é parte do segundo. Essa incongruência foi verificada mais de uma vez, repetindo-se as análises das amostras, sendo confirmada. Assim, considerou-se a hipótese de que o procedimento de preparo da amostra, utilizado para a análise do N total do esterco, pudesse ser inadequado para o esterco de aves em estudo. Tendo em vista entender este problema, testou-se o efeito da secagem da amostra de esterco na estufa, a 65 °C, comparando o teor de N obtido nas amostras secas com os obtidos nas amostras úmidas. Assim, os resultados de N total e da relação C:N serão discutidos em separado, considerando esses dois tipos de amostras.

#### **4.1.3.1 Amostras secas**

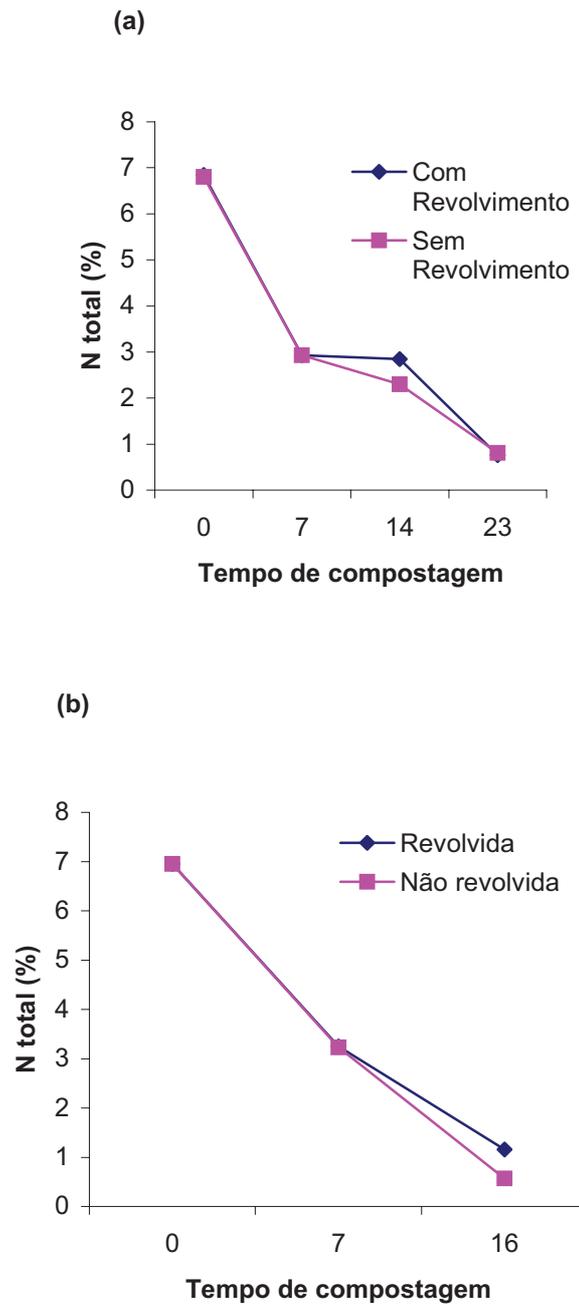
As maiores perdas de N total do esterco de aves, compostado no Experimento 1, ocorreram rapidamente nos primeiros dias de compostagem (Figura 14). Estas perdas devem estar relacionadas, principalmente, ao processo de volatilização deste nutriente, na forma de amônia, já que este processo ocorre com relação C:N baixa, pH elevado e alta umidade, sendo essas características observadas neste material (Tabela 8).

Na figura 15, são mostrados os teores de N total obtidos nos diferentes tratamentos, em função dos dias de compostagem. Estes teores tenderam a estabilizar em, aproximadamente, 46 dias, sendo esse resultado muito semelhante ao relatado por Prochnow et al. (2001), que obtiveram 84 % das perdas de amônia, nas primeiras 3 semanas do experimento e observaram que o teor de N tendeu a estabilizar aos 42 dias.



**Figura 14** – Nitrogênio (N) total em esterco de aves poedeiras submetido a diferentes tratamentos de compostagem.

Na figura 16, são mostrados os teores de N total das pilhas de compostagem, ao longo das três e duas semanas iniciais de compostagem, nas pilhas sem e com gesso (Figuras 15a e b). Nesses períodos iniciais, as perdas de N foram muito intensas, sendo que a porcentagem de N total inicial de 6,8 % passou a valores próximos a 1 %. Nas pilhas com gesso, essa diminuição no teor de N total ocorreu de forma mais rápida até o 16º dia de compostagem, aproximadamente. Enquanto nas pilhas sem gesso essas perdas foram observadas próximas ao 23º dia. Nesses períodos, o revolvimento não modificou as perdas de N, sendo que as pilhas revolvidas apresentaram valores muito próximos aos das pilhas sem revolvimento. Essas perdas devem ter ocorrido devido à alta taxa de mineralização do N, favorecida pela alta umidade inicial do esterco (> 60 %, tabela 8) e também pelas perdas no teor de C, que também ocorreram de forma mais intensa no início do processo (Item 4.1.5; Figura 18). Esses teores de N total ficaram abaixo do estabelecido pela Instrução Normativa Nº 23/2005 do MAPA (BRASIL, 2005).



**Figura 15** – Teor de nitrogênio (N) total em pilhas de esterco de aves poedeiras em função do tempo inicial de compostagem e do revolvimento. (a) pilhas sem gesso; (b) pilhas com gesso.

#### 4.1.3.2 Amostras úmidas

Os resultados obtidos com as análises secas e úmidas mostraram um maior percentual de N total nas amostras úmidas, em relação às amostras secas em estufa. Possivelmente, esta diferença se deva a volatilização de N durante a secagem do esterco na estufa. Os resultados da tabela 9 mostram que houve um decréscimo de, aproximadamente, três vezes no teor de N

total nas amostras analisadas, quando da secagem. Isso também pode ser visualizado na figura 16.

Ao não secar as amostras em estufa, pode-se comprovar o aumento nos teores de N total das amostras analisadas (Tabela 9). Assim, observou-se também que o teor de N total foi maior que o teor de N mineral, estando de acordo com o esperado, quando as amostras não foram secadas em estufa.

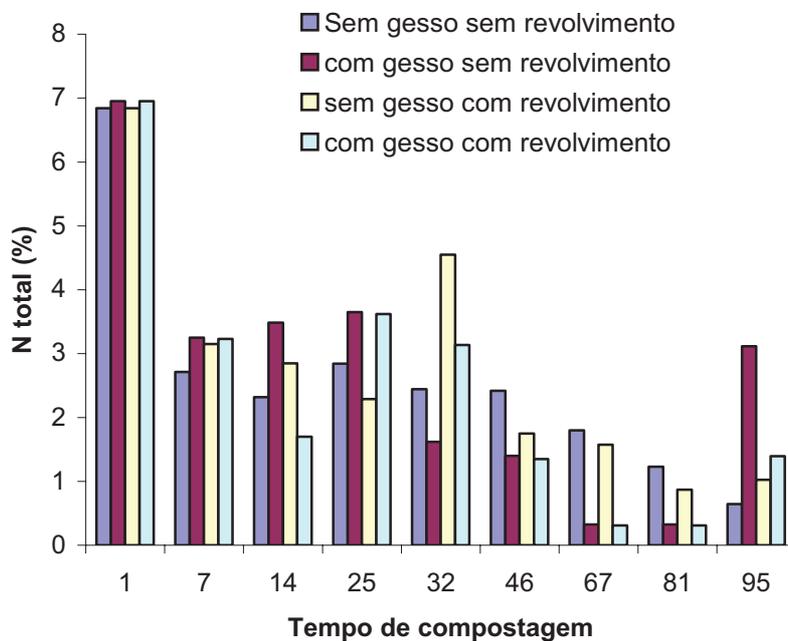
**Tabela 9** – Teor de nitrogênio total, obtido em amostras de esterco de ave poedeira, coletado em pilhas de compostagem, em função da secagem em estufa das alíquotas analisadas.

<b>Amostra</b>	<b>Com secagem</b>	<b>Sem secagem</b>	<b>Diferença</b>
	..... % .....		
<b>Sem gesso e sem revolvimento</b>	0,39	1,80	1,40
<b>Sem gesso e sem revolvimento</b>	0,39	1,57	1,18
<b>Sem gesso e sem revolvimento</b>	0,40	1,20	0,81
<b>Sem gesso e revolvimento</b>	0,39	1,35	0,96
<b>Sem gesso e revolvimento</b>	0,50	0,38	-0,12
<b>Sem gesso e revolvimento</b>	1,82	3,45	1,63
<b>Com gesso e sem revolvimento</b>	0,50	6,88	6,38
<b>Com gesso e sem revolvimento</b>	0,25	1,19	0,94
<b>Com gesso e sem revolvimento</b>	0,17	0,54	0,38
<b>Com gesso e revolvimento</b>	0,41	0,61	0,19
<b>Com gesso e revolvimento</b>	0,25	0,30	0,06
<b>Com gesso e revolvimento</b>	0,33	0,78	0,45
<b>Média</b>	0,48	1,67	1,19

Após a constatação da diferença do teor de N, em função da secagem ou não da amostra, as análises de N total, realizadas a partir da época equivalente a 51 dias de compostagem, foram efetuadas com o material úmido, o que gerou novos valores para este nutriente, como pode ser visto na figura 16. Os resultados dessa figura mostram que as pilhas com adição de gesso apresentaram maior teor de N total (3,12 % sem revolvimento e 1,39 % com revolvimento) no final do processo de compostagem, que as pilhas sem gesso (0,64 % sem revolvimento e 1,02 % com revolvimento). Além disso, esses resultados mostram que o teor de N das pilhas com gesso, nos tratamentos com e sem revolvimento, foram maiores que o valor mínimo de 1 %, exigido pela Instrução Normativa N° 23/2005 do MAPA (BRASIL,

2005). Por outro lado, nas pilhas sem gesso, isso só ocorreu nas pilhas com revolvimento. Esse maior teor de N total nas pilhas com gesso, principalmente, nas pilhas não revolvidas não foi observado nas avaliações feitas na épocas anteriores, sendo somente verificada no final do experimento. Além disso, a magnitude do aumento observado no teor de N dessas pilhas foi muito acentuado, sugerindo que o teor de N total obtido nessa época e nesse tratamento pode ser pouco provável. Isto pode ter sido causado pela heterogeneidade da pilha, aumentada pelo não revolvimento, o que pode ter favorecido erro de amostragem.

A análise da variância dos resultados apresentados na figura 16 mostrou que a interação entre os três fatores estudados no experimento (época, gesso e revolvimento) não influenciou ( $P = 0,2727$ ) os teores de N total das leiras, sendo que isso também ocorreu com as interações duplas, onde o fator revolvimento foi testado ( $P = 0,0748$  e  $0,3150$ , interação com a época e o gesso, respectivamente) e com o efeito isolado desse fator ( $P = 0,9934$ ). Essa variável, por outro lado, foi influenciada de forma significativa pela interação da época de compostagem e pela adição do gesso ao esterco ( $P = 0,0199$ ) e pelo efeito isolado do fator época ( $P = 0,0001$ ) (Apêndice 5; Tabela 32).



**Figura 16** – Teor de nitrogênio (N) total, obtido em amostras úmidas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem.

#### 4.1.4 Nitrogênio mineral

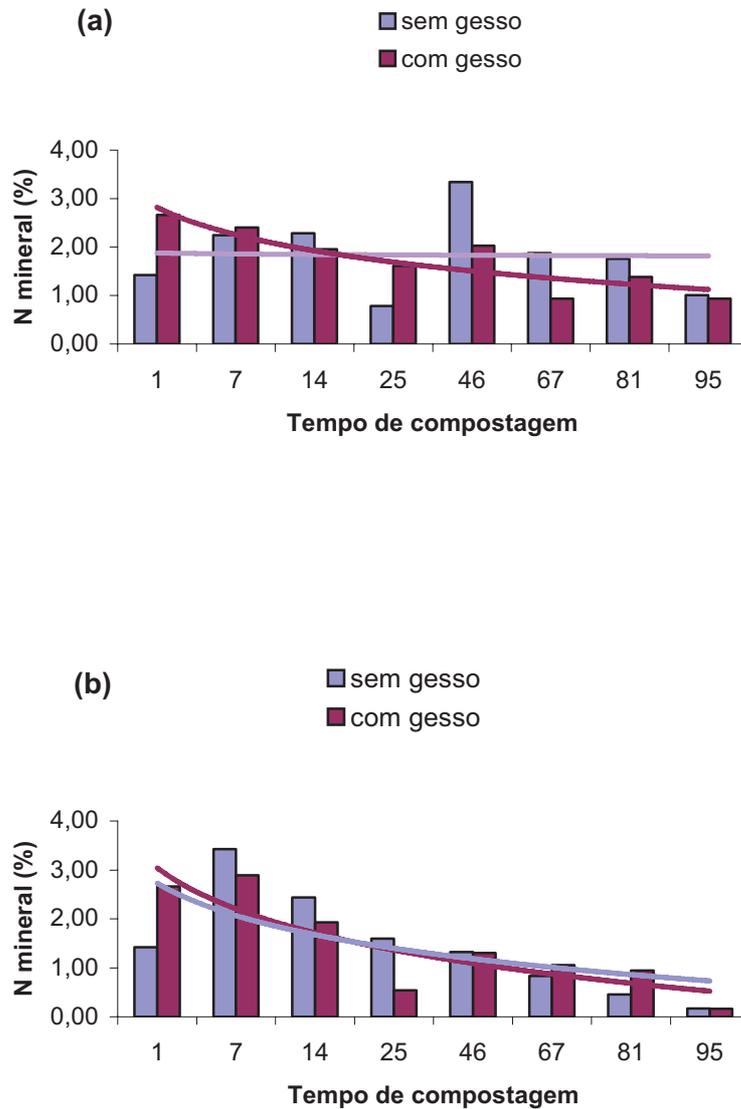
Ao contrário do teor de N total, o valor mínimo de N mineral não é exigido como garantia para o registro de fertilizantes orgânicos, no Brasil (BRASIL, 2005).

Nas pilhas sem revolvimento (Figura 17a), observou-se que até o 25° dia ocorreram perdas de N mineral, sendo esta redução de N, juntamente com o decréscimo do N total, uma das principais causas da variação da relação C:N (item 4.1.6; Figura 20), já que o teor de C nas pilhas mudou pouco até este período. A partir do 25° dia, com o aumento da relação C:N para valores próximos de 20:1, possivelmente, o N foi imobilizado, tendo aumentado o seu teor. Também se observou, neste período, um aumento no N total.

Observou-se ainda, nas pilhas sem revolvimento, maiores teores de N mineral que nas pilhas revolvidas, ao final do experimento. Isto deve estar relacionado às perdas de N, já que as pilhas com revolvimento tiveram maior valor de pH (Item 4.1.7; Figuras 20 e 21), maior temperatura nas pilhas (Item 4.1.10; Figura 28) e também menor umidade (Item 4.1.9; Figura 24). Também devido ao revolvimento da pilha, pois tanto o N total como o C não tiveram perdas significativas na análise estatística para o fator revolvimento (Apêndices 1 e 3; Tabelas 21 e 26).

Independentemente do revolvimento, no 1° dia de compostagem houve maior teor de N mineral nas pilhas com gesso (Tabela 8). Nessa época, observou-se no campo experimental, menor quantidade de moscas e menor odor nessas pilhas. Posteriormente, até o 25° dia de compostagem, a mineralização de N variou em função do revolvimento e da adição de gesso. Nas pilhas revolvidas e sem gesso houve maior teor de N mineral, ou seja, as pilhas com gesso proporcionaram menores teores dessa forma de N. Após este período, o teor de N mineral foi semelhante nas pilhas revolvidas com e sem gesso (Figura 17b), mas, nas pilhas sem revolvimento, o teor desse elemento variou com as épocas de amostragem, sendo semelhante nos tratamentos com e sem gesso, somente aos 95 dias de compostagem (Figura 18a).

No final do processo de compostagem, o teor de N mineral nas pilhas com revolvimento foi baixo, como esperado, e muito menor que o verificado nas pilhas sem revolvimento. Esta diferença está relacionada com o fato do processo de compostagem ter evoluído nas pilhas com revolvimento, obtendo-se um composto no final desse processo; enquanto que nas pilhas sem revolvimento o esterco não compostou de forma adequada.

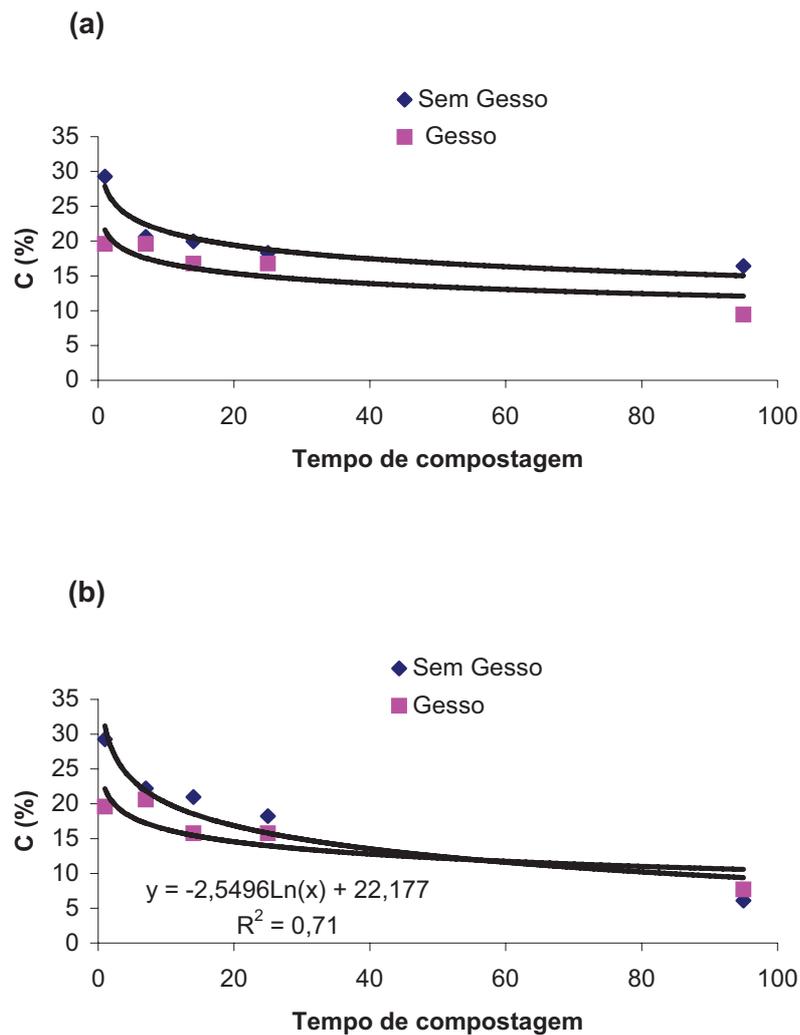


**Figura 17** – Teor de nitrogênio (N) mineral em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras, em função do tempo e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.

#### 4.1.5 Carbono

O teor de C no início do processo de compostagem, 1º dia, é menor nas pilhas com gesso. Este fato também explica menores perdas de N mineral, verificado no mesmo período, nessas pilhas (Item 4.1.4; Figura 17).

Os resultados da figura 18a mostram que, nas pilhas sem revolvimento, as perdas de C não diferiram muito entre os tratamentos com ou sem a adição de gesso, com redução final no teor de C de 52 e 44 %, respectivamente (Figura 18a). As reduções dos teores de C ocorreram de forma constante durante todo o período de compostagem.



**Figura 18** – Teor de carbono (C) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem, e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.

Por outro lado, houve efeito do gesso sobre os teores de C, nas pilhas com revolvimento, ao longo dos dias de compostagem (Figura 18b). Como ilustrado nessa figura, as pilhas com gesso perderam menos C em comparação com as pilhas sem gesso. Essas perdas ocorreram, assim como nas pilhas sem revolvimento, de forma constante durante todo o processo de compostagem

A porcentagem de C, obtida no final do processo de compostagem das leiras revolvidas, decresceu nos tratamentos com e sem gesso, foi cerca de 10 %. Isto mostra que o revolvimento reduz o teor de C em níveis semelhantes independentemente do valor inicial, estabilizando este teor para cerca de 10 %. Este valor de 10 %, abaixo do valor mínimo

exigido pelo MAPA de 15 %, para o registro de fertilizantes orgânicos, classe A (BRASIL, 2005).

Estas perdas de C nas pilhas de compostagem ocorrem, principalmente, pela liberação de CO<sub>2</sub>, resultante da respiração celular dos microorganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica em húmus (FONSECA, 2003).

O maior percentual de redução de C, comparando o teor desse elemento no início e no fim do processo de compostagem, foi observado nas pilhas sem revolvimento e sem gesso, correspondendo a 79 % de perda, em relação ao teor inicial. Já nas pilhas com revolvimento e com gesso houve redução de 61 % do C. Isto pode ser constatado também na redução da massa dessas pilhas, que atingiu níveis muito parecidos com a redução de C (Item 4.1.5; Figuras 18a e b).

Além disto, o revolvimento das pilhas favoreceu a redução da umidade (Item 4.1.9; Figura 24) o que também resulta em maior redução de massa. Do ponto de vista financeiro a maior redução mássica representa perda no valor comercial do esterco, pois o mesmo é vendido, como adubo, com base em sua massa úmida. Por outro lado, para o usuário deste material, a redução do teor de umidade possibilita maior eficiência na aplicação do composto, pois este contém menos torrões e grumos, o que permite dosar de forma mais uniforme a quantidade de esterco aplicado no solo.

#### **4.1.6 Relação carbono:nitrogênio**

##### **4.1.6.1 Amostras secas**

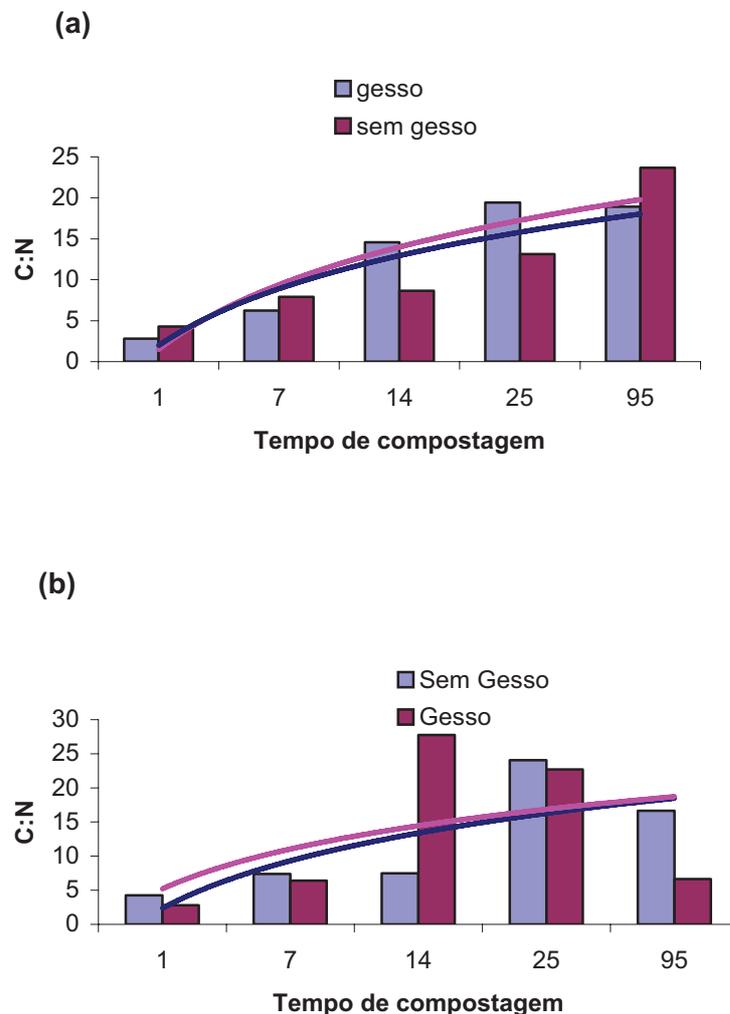
A relação carbono:nitrogênio (C:N) aumentou com o passar dos dias de compostagem, tanto nas pilhas com revolvimento como sem esse tratamento (Figuras 19a e b).

Para as pilhas sem revolvimento, e com gesso, a partir da terceira semana, a relação C:N das pilhas sem adição de gesso atingiu seu limite máximo, estabilizando nessa faixa (C:N = 19,4) até o final do experimento, onde atingiu o valor de 18,9 (Figura 19a). Já para as pilhas sem gesso a relação C:N continuou aumentando em função do tempo até o final do experimento chegando até 23,7.

Nas pilhas com revolvimento, também houve, assim como nas sem revolvimento, grande aumento da relação C:N, nas primeiras três semanas, atingindo os valores de 24,1 e 22,7, sem e com gesso respectivamente. Esses valores ao final da compostagem baixaram para 16,6 e

6,6, respectivamente (Figura 19b). Pode-se observar, neste caso, que as pilhas com gesso tiveram redução na relação C:N ao final do processo, o contrário do que foi constatado nas pilhas sem revolvimento. Isto aconteceu devido a diferenças no valor do N total (Item 4.1.3; Figura 16).

Como os esterco de aves, utilizados no experimento, apresentaram cerca de 10 % de diferença percentual inicial no teor de C das pilhas com gesso (19,6 %) e sem gesso (29,3 %) e a relação C:N deste material depende do teor de C, isso explica a diferença na relação C:N entre as pilhas com gesso (C:N = 2,81) e sem gesso (C:N = 4,27), já que o teor de N para as pilhas são parecidos (Tabela 8).



**Figura 19** – Relação carbono:nitrogênio (C:N) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) sem revolvimento; (b) com revolvimento.

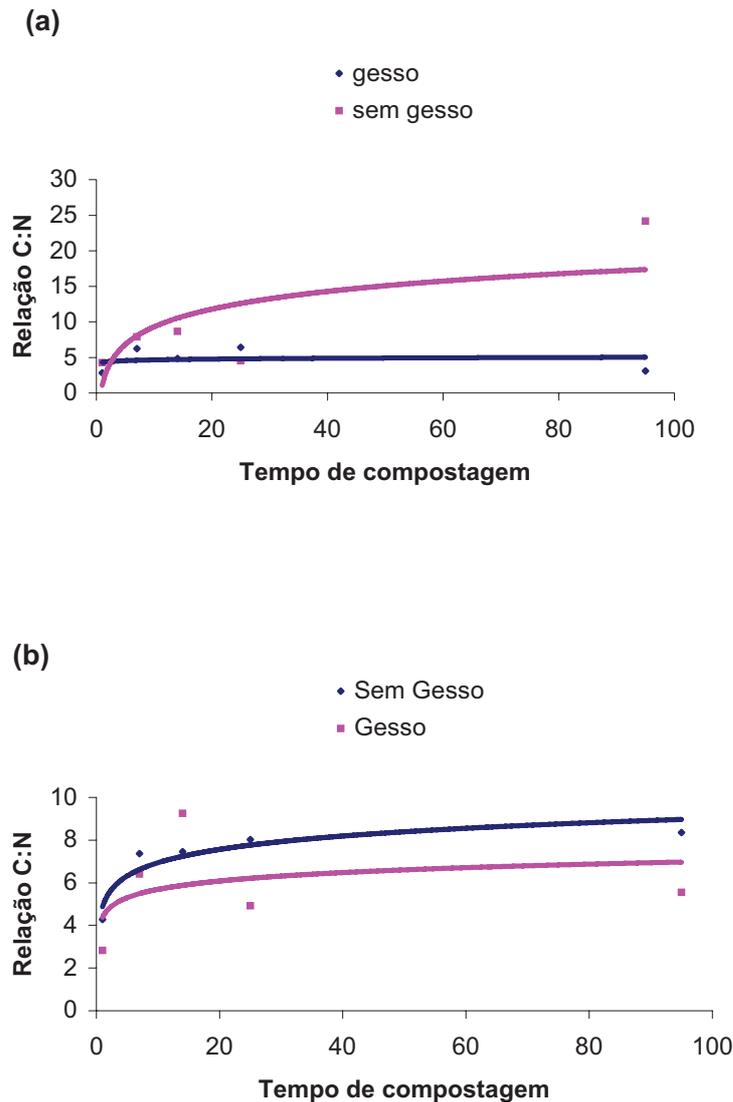
A maior relação C:N obtida no final do processo de compostagem deve-se as maiores perdas de nitrogênio total obtidas nesta etapa. O carbono, com o passar dos dias de compostagem, também têm seus teores reduzidos, mas esta redução é bem menor (Item 4.1.5, Figuras 18a e b) se comparada à redução que se dá nos teores de N total (Item 4.1.3; Figuras 14, 15a e b).

#### 4.1.6.2 Amostras úmidas

A variação da relação C:N obtida com as amostras úmidas teve comportamento diferente em comparação à mesma realizada com o teor de N total das amostras que foram secadas (Figura 20). Pode-se observar na figura 20a que nas pilhas sem revolvimento e com gesso a relação C:N manteve-se baixa, durante o período de compostagem, enquanto que nas pilhas sem revolvimento e sem gesso a relação C:N aumentou, no final do processo (C:N = 24:1), sendo esse valor maior que o limite máximo (C:N = 18:1) estabelecida na Instrução Normativa N° 23/2005, do MAPA, para fertilizantes orgânicos (BRASIL, 2005).

Possivelmente, a maior C:N obtida no composto das pilhas sem gesso se deve ao menor teor de N total constatado nesse tratamento (Figura 16). Isso evidencia a importância da adição do gesso para a retenção do N do esterco compostado e, principalmente, para a obtenção de um valor de C:N que atenda os padrões de registro de adubos orgânicos do MAPA.

Nas pilhas com revolvimento, independente da adição de gesso, os valores da relação C:N foram menores que 10:1, nos primeiros 25° dias e no final do processo de compostagem (Figura 20b). Esses resultados se devem ao aumento do teor de N total obtido na amostra úmida, em relação ao obtido nas amostras secadas em estufa.



**Figura 20** – Relação carbono:nitrogênio (C:N) em pilhas de esterco de aves poedeiras, com valores de N total úmido, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) sem revolvimento; (b) com revolvimento.

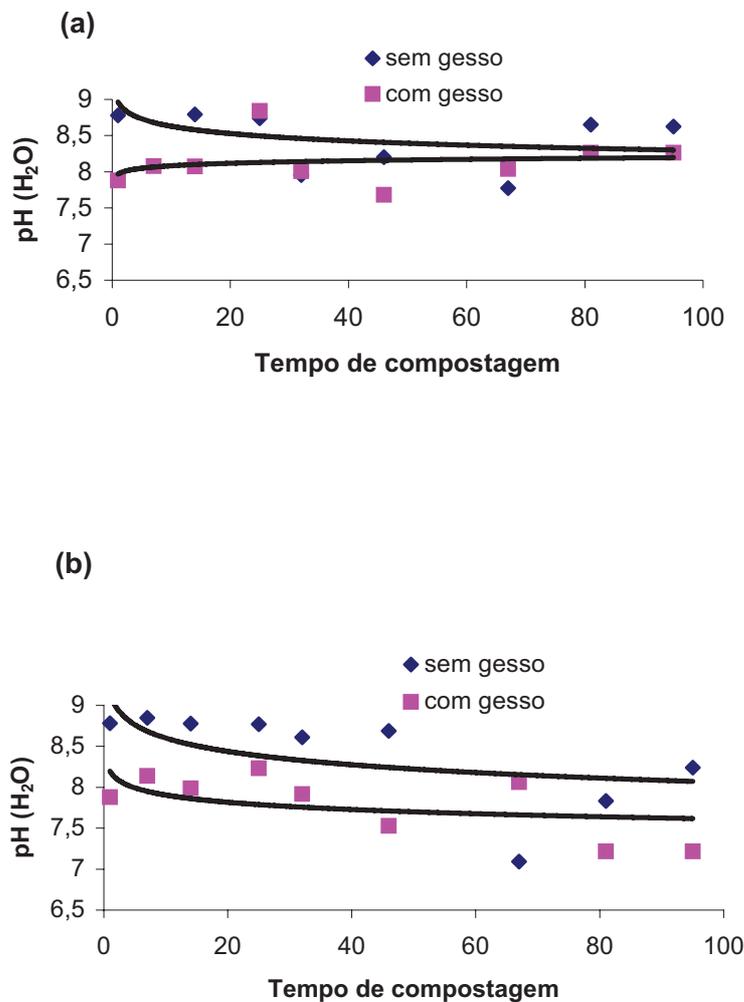
#### 4.1.7 pH em água e pH cloreto de cálcio

O pH é um dos indicadores de maturação do composto, pois a maioria dos materiais submetidos a compostagem apresentam pH ácido, enquanto que o composto maduro apresenta pH básico (KIEHL, 1995). O esterco de aves é uma exceção, pois, geralmente, o valor do pH é maior que 8, ou seja, já tem pH básico antes de ser compostado. O pH, geralmente, é medido de duas formas: em água e em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01 moles  $\text{L}^{-1}$ , sendo esse último o método oficial de análise, utilizado no Brasil (BRASIL, 2007).

Como já comentado, a volatilização de N em esterco de aves ocorre em função de vários fatores, incluindo o fato deste material possuir alto valor de pH. Por outro lado, a adição de gesso também pode diminuir o pH e, assim minimizar esta perda de N.

O alto valor de pH em água do esterco de aves decresceu com o passar do tempo de compostagem em três tratamentos, exceto nas pilhas que não foram revolvidas e que receberam a adição de gesso onde o valor do pH aumentou (Figura 21a). Como mostram os resultados dessa figura, o valor de pH passou de 7,88 para 8,26, o que representa um acréscimo de 4,87 %.

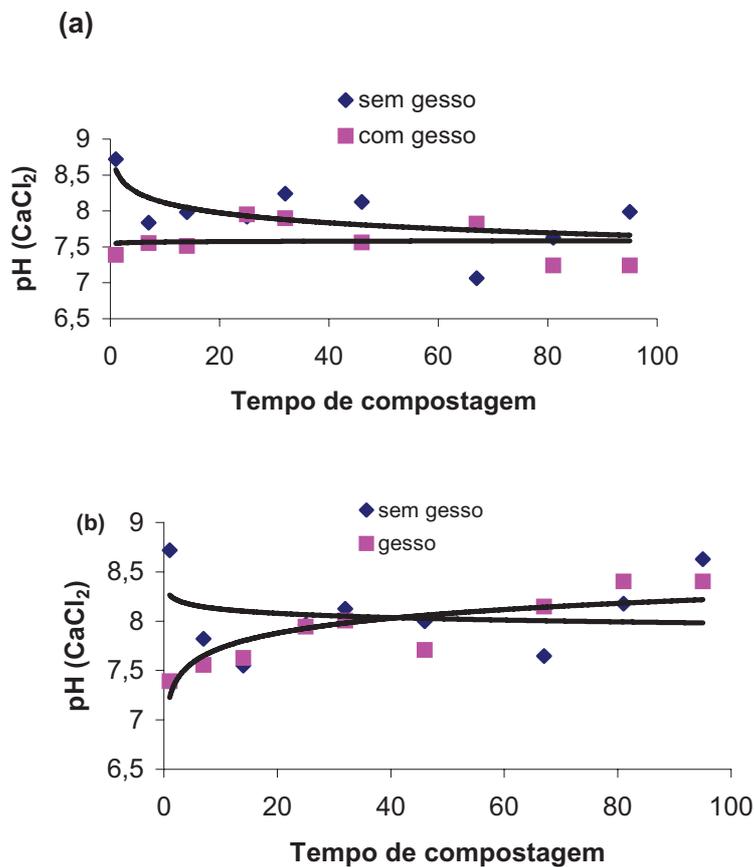
O maior decréscimo de pH foi observado nas pilhas com gesso e revolvidas (pH=7,22), enquanto que nas pilhas onde esse material não foi adicionado, mas houve revolvimento, o valor do pH foi de 8,24 (Figura 21b).



**Figura 21**– Valor de pH, em água, em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.

A Instrução Normativa N° 23, do MAPA, estipula o valor de pH 6, como sendo mínimo, para o valor do pH em  $\text{CaCl}_2$  de fertilizantes orgânicos compostos, classe A (BRASIL, 2005). Como mostram os resultados da figura 22, este limite mínimo foi atingido nos compostos produzidos em todos os tratamentos de compostagem utilizados no experimento (Figuras 22 a e b). Os resultados dessa figura também mostram que o gesso funcionou com fator de redução do pH das pilhas, independente do revolvimento, sendo esse efeito observado em quase todas as épocas da compostagem. Isso não ocorreu no 67° dia de compostagem, época em que pH, tanto em  $\text{H}_2\text{O}$ , como em  $\text{CaCl}_2$ , foi mais baixo nas pilhas sem gesso.

O valor de pH mais baixo nas pilhas com gesso, em relação as pilhas sem gesso, pode ser indicativo de favorecimento do decréscimo da volatilização de N, pois nos primeiros 7 dias de compostagem o valor do N, tanto mineral como total, foi maior nas pilhas com gesso.



**Figura 22** – Valor de pH, em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso: (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.

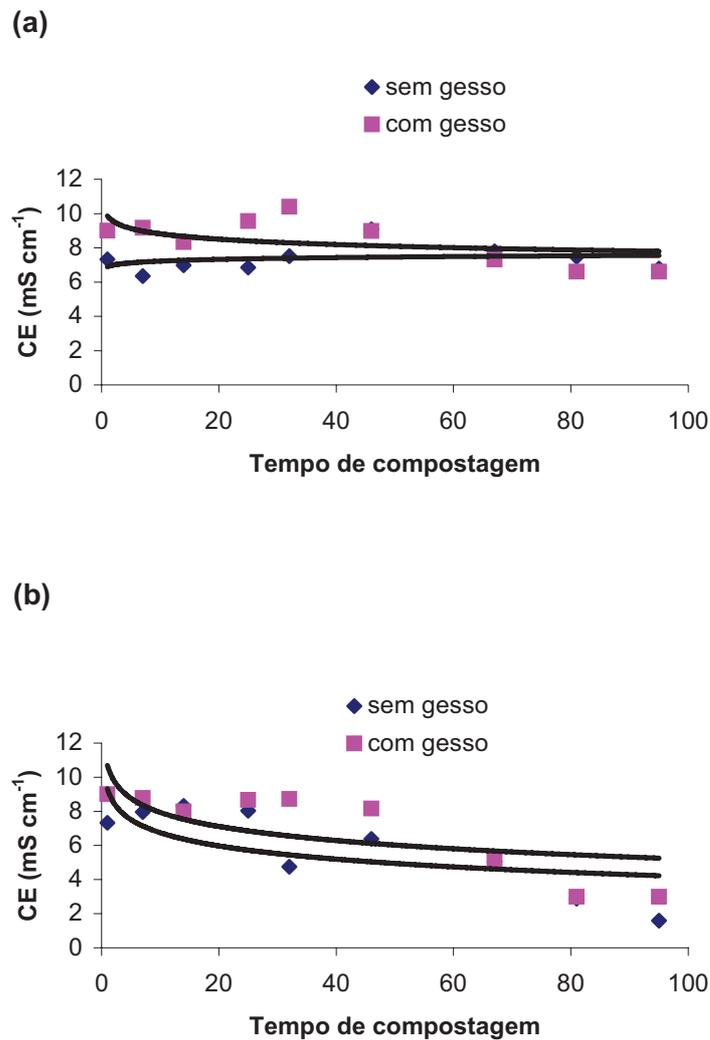
#### 4.1.8 Condutividade elétrica

A CE é um indicador do nível de salinidade do composto ou de outros materiais. Esta, por sua vez, tende a diminuir com o tempo de compostagem estabilizando, geralmente, em valores próximos a 50 % da leitura inicial, quando o composto está maduro. Ao final do processo de compostagem, a CE pode atingir valor maior que 50 % do inicial (KIEHL, 2002). Essa queda é devida a decomposição de ácidos orgânicos e não a lixiviação de sais do composto (AVENIMELECH et al., 1996; apud KIEHL, 2002). Nos compostos produzidos no Experimento 1, o decréscimo da CE, quando da estabilização do processo de decomposição e humificação do esterco, ocorreu somente nos tratamentos com revolvimento (Figura 23a e b). Nas pilhas sem revolvimento, não houve decréscimo suficiente da CE para atingir o valor recomendado de 50 % em relação a CE inicial (Tabela 10). Esse decréscimo da CE nas pilhas revolvidas, possivelmente, deve-se a maior taxa de decomposição dos compostos orgânicos e mineralização do N orgânico, além dos menores teores do N mineral, que ocorreram nestes tratamentos.

**Tabela 10** – Condutividade elétrica de pilhas de esterco de aves, em função do revolvimento, da adição de gesso e dos dias de compostagem.

Dias de compostagem	Sem revolvimento		Com revolvimento	
	Sem gesso	Com gesso	Sem gesso	Com gesso
	.....mS cm <sup>-1</sup> .....			
<b>1</b>	7,33	9,01	7,33	9,01
<b>7</b>	6,35	9,16	7,96	8,78
<b>14</b>	6,97	8,33	8,31	8,0
<b>25</b>	6,85	9,57	8,04	8,67
<b>32</b>	7,51	10,41	4,74	8,73
<b>46</b>	9,08	8,98	6,38	8,17
<b>67</b>	7,8	7,31	5,05	5,13
<b>81</b>	7,47	6,60	2,88	3,0
<b>95</b>	6,8	6,60	1,58	3,0
<b>Média</b>	7,35	8,44	5,81	6,94
<b>Remanecente (%)<sup>1</sup></b>	92,8	73,3	21,6	33,3

<sup>1</sup>: Percentual da condutividade elétrica (CE) obtida nos 95º dias de compostagem em relação ao valor inicial.



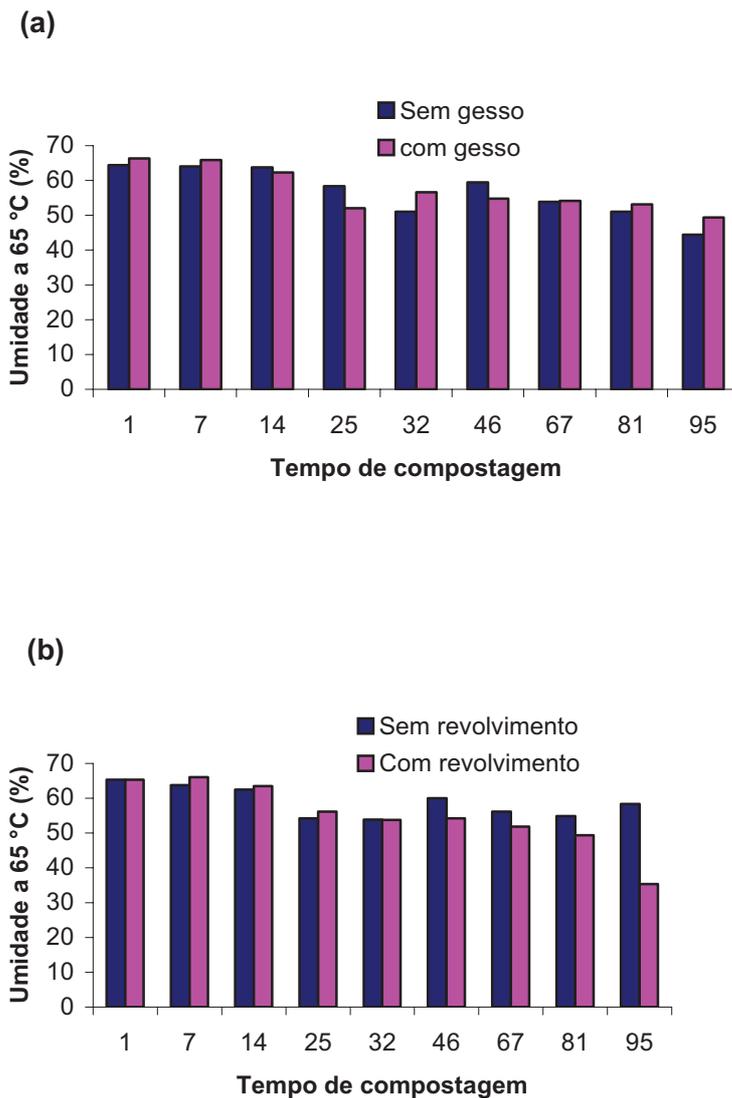
**Figura 23** – Condutividade elétrica (CE) em pilhas de esterco de aves poedeiras, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas sem revolvimento; (b) pilhas com revolvimento.

Outro aspecto que se pode constatar na figura 23, é que as pilhas sem gesso, tanto revolvidas como não revolvidas, possuem nos primeiros 7 dias de compostagem, menor valor de CE, que as pilhas com gesso. A partir do 67º dia de compostagem, as pilhas sem revolvimento apresentaram uma diminuição no valor da CE para  $7,31 \text{ mS cm}^{-1}$ , sendo que este valor corresponde a cerca de 70 % da diminuição total da CE, enquanto que para as pilhas sem gesso este valor continua muito próximo ao inicial. Ao final do processo de compostagem, as pilhas sem revolvimento tiveram pouca diminuição na CE, o que pode estar relacionado com a menor decomposição de compostos orgânicos nessas pilhas.

Nas pilhas com revolvimento, por sua vez, as diminuições da CE aconteceram de forma mais rápida. No 32º dia de compostagem, as pilhas sem gesso já apresentavam diminuição de cerca de 45 % do valor inicial da CE, enquanto as pilhas com gesso apresentaram diminuição de 4 %. Ao 67º dias de compostagem, a CE dessas pilhas decresceu para  $5,13\text{mS cm}^{-1}$ , enquanto que nas pilhas sem gesso a CE manteve-se nos níveis anteriores. Com o passar dos tempo de compostagem, essa variação dos valores da CE foi mais homogêneo, sendo que no final desse processo a CE foi semelhante, independentemente da adição ou não de gesso nas pilhas revolvidas (66,7 e 78,45 %, de diminuição, respectivamente).

#### **4.1.9 Umidade**

Os resultados mostram que as pilhas sem gesso (Figura 24a) e aquelas submetidas ao revolvimento (Figura 24b) apresentaram menor teor de umidade. No final da compostagem, o teor de umidade das pilhas revolvidas foi de 35,39 %, enquanto que o das pilhas não revolvidas foi de 58,39 %. Com a adição de gesso, essa percentual correspondeu a 49,37 %, enquanto que sem esse material, o teor de umidade foi de 44,40 %. Assim, constatou-se que o efeito do revolvimento foi mais preponderante que o da adição de gesso sobre o teor final de umidade do composto.



**Figura 24** – Teor de umidade (65°C) em pilhas de esterco de ave poedeira, em função do tempo de compostagem: (a) pilhas com e sem adição de gesso (para a média do fator revolvimento); (b) pilhas com e sem revolvimento (para a média do fator adição de gesso).

Os resultados da figura 24 mostram que o revolvimento e a não adição de gesso foram importantes para o decréscimo do teor de umidade das pilhas de compostagem de esterco de aves. Isso possibilitou a construção de pilhas com maior altura (Figura 25), sendo que, no início do experimento a alta umidade do esterco limitou a altura das pilhas. Nessa época, quando se adicionava esterco sobre a base da pilha, para aumentar a altura da mesma havia também um acréscimo de peso sobre esta. Esse acréscimo fez com que a largura e o comprimento da base fossem aumentados, diminuindo, por consequência, a altura da pilha para cerca de 1m (Figura 26). Por outro lado, sabe-se que a altura de no mínimo 1,5 m é fundamental, para a elevação da temperatura de pilhas de compostagem, pois essa altura

mantém o fluxo de ar, possibilitando trocas de calor do centro da pilha e a temperatura externa (REIS et al., 2003). Os resultados apresentados na figura 24 mostram que o teor de umidade das pilhas aumentou levemente no 46° e 67° dia de compostagem. Isso se deve ao aumento da precipitação pluviométrica no período, que foi de 117,5 e 116,6 mm respectivamente (Apêndice 4; Tabela 31). Além disto, no final do experimento, 95° dia, as pilhas sem revolvimento apresentaram aumento no teor de umidade (Figura 24b), fato que também foi ocasionado pela chuva (80 mm). As pilhas com revolvimento tiveram grande redução de umidade, no 95° dia, o que confirma o efeito positivo do revolvimento na redução do teor de umidade da pilha (Figura 24b) .



**Figura 25** – Altura das pilhas, de esterco de ave poedeira, sem adição de gesso durante o processo de compostagem.



**Figura 26** – Altura inicial da pilha de esterco de ave poedeira com gesso no início do processo de compostagem.

A Instrução Normativa N° 23 estabelece o teor de 50 % como máximo de umidade para os fertilizantes orgânicos compostos, sendo este teor determinado a 65 °C (BRASIL, 2005). Entre os tratamentos testados, o revolvimento das pilhas possibilitou que o teor de umidade fosse de 35 %, enquanto o não revolvimento possibilitou teor de umidade maior que 58 %, sendo, portanto, maior que o estabelecido nessa Instrução. Isso indica que o composto de esterco de aves de pilhas não revolvidas deverão ser processados para redução da umidade. Para uma diminuição mais rápida dos teores de umidade do esterco de aves poedeiras pode-se fazer revolvimentos em espaços de tempo reduzidos, como revolvimentos diários, isto faz com que as pilhas possam atingir maior altura, pois estarão mais secas, e por consequência as maiores temperaturas serão atingidas de forma mais rápida. Mas com os revolvimentos feitos em menor espaço de tempo mais rápidas também serão as perdas de N. A adição ou não de gesso às pilhas não interferiu negativamente no teor de umidade, pois este se situou entre 49 e 44 %, respectivamente.

#### 4.1.10 Temperatura

A temperatura nas pilhas de compostagem é um fator importante para a qualidade do composto, pois ela está diretamente associada à destruição de organismos patogênicos e sementes invasoras (REIS et al., 2003; MRAGNO et al., 2007). Nas leiras de compostagem monitoradas neste trabalho, a temperatura atingiu valor de, aproximadamente, 60°C, nos tratamentos com revolvimento (Figura 27); enquanto que nos sem revolvimento, o valor foi cerca de 30°C (Figuras 28a e b). Esse último valor é considerado insuficiente, para destruir organismos patogênicos e sementes invasoras, eventualmente presentes no resíduo a ser compostado (TISDALE, 1993).



**Figura 27** – Temperatura medida em pilha revolvida de esterco de ave poedeira, com a utilização de termômetro digital.

No início do processo de compostagem, os valores de temperaturas das leiras foram cerca de 20°C, sendo a elevação desse valor obtida de forma mais rápida nas pilhas revolvidas (Figura 28). Este aquecimento ocorre, principalmente, pelo aumento da atividade e também da quantidade de microorganismos nas leiras, o que se deve a entrada de oxigênio,

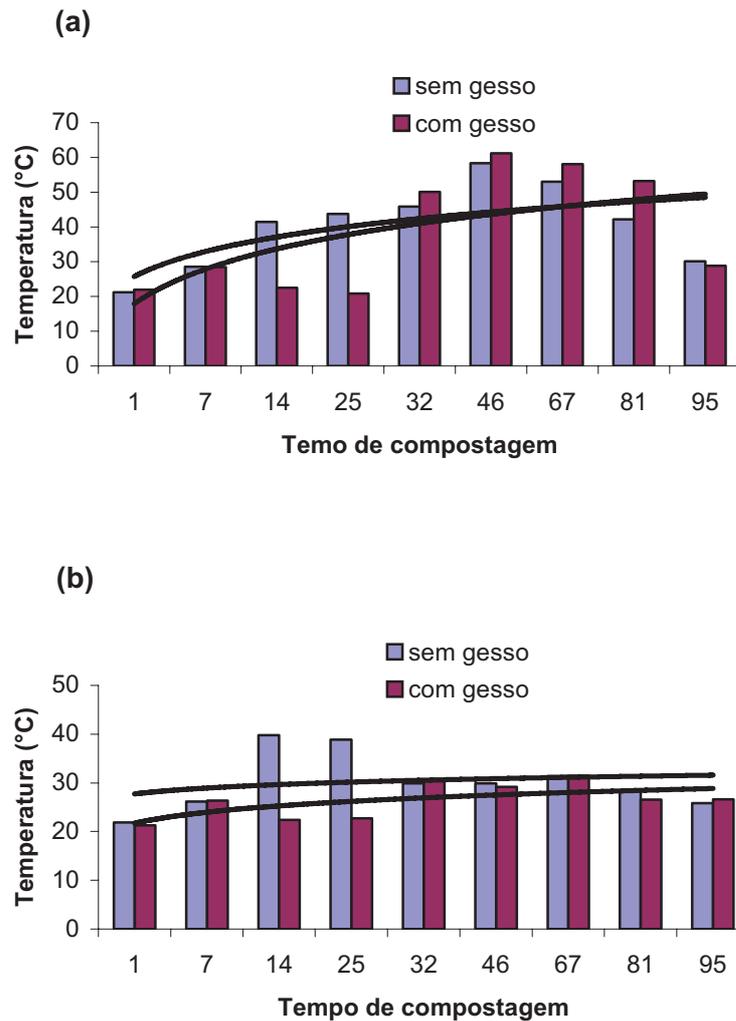
principalmente nas camadas centrais e inferiores, quando estas são revolvidas (KIEHL, 1985).

Como mostram os resultados apresentados na figura 28a, até o 25° dia de compostagem, a temperatura das pilhas revolvidas não tinha atingido o valor de 50°C, característico da fase termófila. A partir dessa época, o revolvimento foi realizado com maior frequência (3 vezes por semana), o que proporcionou maiores valores de temperaturas (60°C), sendo esses considerados adequadas e caracterizando a fase termófila. A maior frequência de revolvimento foi importante, pois, nesse período, ocorreram as maiores precipitações pluviais (Apêndice 4; Tabela 31), o que poderia ter decrescido a temperatura das pilhas devido ao excesso de umidade. Nessa época, observou-se também o início da diminuição do teor de umidade (Figuras 24a e b), indicando que o revolvimento também foi importante para controlar esse fator. Assim, o revolvimento possibilitou maior aeração do material compostado e, conseqüentemente, a elevação da temperatura, resultante da maior atividade microbiana aeróbica e liberação de energia (KIEHL, 1985).

Ao final do processo de compostagem (a partir do 81° dia, Figura 28), o valor da temperatura das pilhas revolvidas baixou, possivelmente, devido a diminuição da atividade dos microorganismos, indicando o esgotamento de substratos orgânicos biodegradáveis e a maturação do composto. Essa variação dos valores da temperatura nas pilhas revolvidas, coincide com o relatado por Kiehl (2002), entre outros, conforme descrito no item 2.2.3.1 (Figura 1).

Por outro lado, nas pilhas sem revolvimento, os valores de temperatura foram próximos ao da temperatura ambiente (Apêndice 4; Tabela 31). Isto se deve a falta ou ao baixo volume de ar, necessário para o desenvolvimento e atividade dos microorganismos aeróbios, sendo esse aspecto imprescindível na compostagem, pois esse processo é caracterizado por ser tipicamente aeróbio (KIEHL, 1985; REIS, 2003). Assim, possivelmente, nos tratamentos sem revolvimentos o ambiente foi anaeróbico e o material teve pouca decomposição. Conseqüentemente a temperatura não aumentou devido a baixa liberação de energia dos processos de respiração microbiana.

Pode ser observado, também, nas figuras 28a e b, que não houve diferença de temperatura entre a adição ou não de gesso nas pilhas revolvidas e não revolvidas, embora as pilhas sem gesso tem tido um aumento mais rápido da temperatura, entre o período do 14° ao 25° dias de compostagem.



**Figura 28** – Temperatura em pilhas de esterco de ave poedeira, em função do tempo de compostagem e da adição de gesso. (a) pilhas com revolvimento; (b) pilhas sem revolvimento.

#### 4.1.11 Ocorrência de helmintos

A ocorrência de helmintos, determinados utilizando as técnicas de diagnóstico Willis Molay, para a quantificação do número de ovos; e Baermann, para a presença de larvas; mostrou que as larvas destes parasitos, não ocorrem nas amostras de todas as pilhas avaliadas ao final do Experimento 1. Por outro lado, nas amostras das pilhas não revolvidas e sem gesso, observou-se a ocorrência de 3 ovos de helmintos (Tabela 11). Esse número de ovos de helmintos foi maior que o máximo permitido pelo MAPA (1 ovo em 4g de sólidos totais)(BRASIL, 2005). Por outro lado, a ausência de ovos de helmintos nas pilhas revolvidas

deve-se, possivelmente, as temperaturas observadas, pois os valores foram cerca de 60°C (Item 4.1.10; Figura 28), sendo alto suficiente para a destruição destes organismos (TIQUIA, 2000).

**Tabela 11** – Ocorrência de ovos e larvas de helmintos em composto de esterco de aves de diferentes tratamentos de compostagem.

Tratamento	% ST <sup>1</sup>	Ovos <sup>2</sup>	Larvas <sup>2</sup>
Revolvimento + gesso	72,5	1	Negativo
Revolvimento e sem gesso	75	1	Negativo
Sem revolvimento + gesso	62	1	Negativo
Sem revolvimento e sem gesso	64,25	3	Negativo

<sup>1</sup>: Sólidos totais; <sup>2</sup>: Quantidade em 4 g de massa úmida.

Os resultados da tabela 11 indicam que a adição de gesso reduziu o número de ovo de helmintos nas pilhas sem revolvimento. Santos et al. (2000) sugerem, em trabalho realizado com cama de esterco de ovino, que a adição de gesso agrícola pode diminuir larvas de moscas, devido a alta concentração de amônio e ao aumento na concentração de sais diversos. Sampaio et al. (1999) estudaram a população microbiana em cama de aviário tratado com gesso agrícola e constataram decréscimo na contagem padrão de microrganismo. A adição de gesso também pode estar influenciando na presença de ovos de helmintos, o que precisa ser melhor estudado.

#### 4.1.12 Ocorrência de microrganismos enteropatogênicos

A Instrução Normativa N° 27, de 2006, do MAPA (BRASIL, 2006), prevê limites para o número de microrganismos indicadores enteropatogênicos ao ser humano, em compostos orgânicos. A tabela 12 mostra o número mais provável (NMP) obtido na análise desses organismos, no início e no fim do Experimento 1. Os resultados apresentados nesta tabela mostram que houve a ausência de *salmonella sp*, nas amostras obtidas no início do Experimento 1, o que atende uma das condições exigidas pelo MAPA, para o registro de fertilizantes orgânicos. Além disso, esses resultados mostram que houve redução significativa dos coliformes totais e dos termotolerantes, após a compostagem, sendo que os valores de NMP obtidos também atendem o padrão do MAPA.

A destruição dos organismos enteropatogênicos nas pilhas com revolvimento está associada a altas temperaturas, em torno de 60°C, encontradas nessas pilhas de esterco de aves. Escosteguy et al. (1993), assim como, Büttgenbender (2004), entre outros, observaram que o revolvimento durante a compostagem é importante no controle destes organismos.

**Tabela 12** – Ocorrência de enteropatogênicos, antes e após a compostagem, de esterco de ave poedeira. Média dos tratamentos testados.

<b>Indicador</b>	<b>Antes da compostagem</b>	<b>Após a compostagem</b>	<b>Valor máximo permitido<sup>1</sup> (Fertilizantes orgânicos)</b>
	.....UFC g <sup>-1</sup> .....		
<b>Coliformes totais</b>	1,7 x 10 <sup>6</sup>	<1,0 x 10 <sup>1</sup>	_____
<b>Coliformes termotolerantes</b>	1,7 x 10 <sup>6</sup>	<1,0 x 10 <sup>1</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>
<b><i>Salmonella sp</i></b>	Ausência	Ausência	Ausência em 10g de matéria seca

1: Instrução Normativa N° 27/2006 (BRASIL, 2006). Resultados expressos em base úmida.

#### 4.1.13 Análise granulométrica

O húmus obtido com a compostagem do esterco de ave poedeira, foi verificado somente nas pilhas com revolvimento, pois nas pilhas sem revolvimento o esterco ainda estava “cru” (não humificado) ao final do experimento. Assim a análise granulométrica foi realizada com os compostos obtidos nas pilhas revolvidas. Os resultados desta análise, mostraram que, independente da adição de gesso, houve distribuição semelhante do tamanho das partículas nas frações granulométricas, com diâmetros maior que 4,75; 1,18 e 0,5 mm, e menor percentual nas peneiras com diâmetro maior que 4 e 0,3 mm (Tabela 13).

Tabela 13 – Percentual de distribuição do composto em frações granulométricas.

Pilhas revolvidas	Diâmetro (mm)					Sobra
	> 4,75	> 4	> 1,18	> 0,5	> 0,3	
.....(%).....						
Com gesso	27,28 <sup>ns</sup>	4,65 <sup>**</sup>	29,20 <sup>ns</sup>	21,02 <sup>ns</sup>	7,62 <sup>ns</sup>	10,23 <sup>ns</sup>
Sem gesso	26,92	3,31	28,19	23,71	8,43	9,44
Média	27,01	4,02	28,68	22,39	8,07	9,84

<sup>NS</sup>: não significativo (Teste T). <sup>\*\*</sup>: Significativo (Teste T; P = 0,001).

Instrução Normativa nº 23/2005 do MAPA classifica os fertilizantes orgânicos quanto a sua natureza física, conforme a tabela 14. Os resultados apresentados na tabela 13 mostram que a maior parte do composto ficou retido na peneira com diâmetro de malha 1,18 mm (28,68 %), sendo que o percentual de partículas maiores que 4,75mm (27,01 %) foi semelhante a este, bem como o percentual de partículas maiores que 0,5mm (22,39 %). Assim, como o composto das pilhas revolvidas do Experimento 1, não se encaixou em nenhuma das classificações, esta instrução define que “para os fertilizantes orgânicos e biofertilizantes que não atendam às especificações granulométricas [...] do rótulo ou etiqueta de identificação deverá constar a expressão: PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”.

Tabela 14 – Classificação de fertilizantes orgânicos, de acordo com a granulometria<sup>1</sup>.

Granulometria	Passante	Retido
<b>Pó</b>	100 % em peneira 2mm	Não admite tolerância
	70 % mínimo em peneira 0,84 mm	30 % máximo
	50 % mínimo em peneira 0,3mm	50 % máximo
<b>Farelado</b>	95 % mínimo em peneira 3,36 mm	5 % máximo
	25 % mínimo em peneira 0,5 mm	75 % máximo
<b>Farelado grosso</b>	100 % em peneira 4,8mm	Não admite tolerância
	20 % em peneira 1,0 mm	80 % máximo
<b>Granulado</b>	95 % mínimo em peneira 4 mm	5 % máximo
	5 % máximo em peneira 1,0 mm	95 % mínimo

<sup>1</sup>: Instrução Normativa nº 23/2005 do MAPA. (BRASIL, 2005).

#### 4.1.14 Metais tóxicos

A Instrução Normativa N° 27, de 05 de junho 2006, do MAPA (BRASIL, 2006) determina limites máximos de contaminação com metais tóxicos em fertilizantes orgânicos.

Os teores de metais tóxicos (Cd, Cr, Ni, Pb e Se) obtidos nas amostras do composto efetuado com o esterco de ave poedeira, submetido a diferentes tratamentos de compostagem, constam, juntamente com os valores máximos admitidos na legislação, na tabela 15. O teor encontrado, desses metais tóxicos, na análise do esterco de ave poedeira, foi muito abaixo do valor máximo admitido pela legislação.

**Tabela 15** – Teor de metais tóxicos em composto de esterco de ave poedeira, obtido com diferentes tratamentos de compostagem.

Metal	Pilhas revolvidas		Pilhas sem revolvimento		Valor máximo admitido <sup>1</sup>
	Com gesso	Sem gesso	Com gesso	Sem gesso	
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
<b>Cádmio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	3,00
<b>Cromo</b>	0,07	0,08	0,04	0,02	200,00
<b>Níquel</b>	0,03	0,04	0,02	0,02	70,00
<b>Chumbo</b>	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	150,00
<b>Selênio</b>	0,00	2,67	0,00	0,00	80,00
<b>Arsênio</b>	0,03	0,04	0,03	0,01	20,00

<sup>1</sup>: Instrução Normativa N°27/2006 (BRASIL, 2006).

De acordo com as leis da Europa (GENEVINI et al., 1997; apud KIEHL, 2002), o teor de metais tóxicos no composto de ave poedeira, avaliado neste trabalho, é classificado como de qualidade muito alta, para todos os metais presentes nesta classificação (GENEVINI et al., 1997; apud KIEHL, 2002; Tabela 16).

**Tabela 16** – Classificação de qualidade de composto e limites para conteúdos de metais tóxicos (mg kg<sup>-1</sup> GENEVINI et al., 1997; *apud* KIEHL, 2002).

Classe de composto	Cádmio	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Zinco
Qualidade muito alta	< 1	< 70	< 30	< 100	< 100	< 200
Qualidade alta	1 – 25	70 – 150	30 – 60	100 – 150	100 – 200	200 – 400
Presença de contaminantes	2,6 – 4	151 – 200	61 - 100	151 - 500	201 – 400	401 – 1000
Qualidade baixa	> 4	> 200	> 100	> 500	> 400	> 1000

## 4.2 Experimento 2

Neste Experimento, foram avaliados os efeitos de fontes e de níveis de enxofre sobre o teor de N do esterco de ave poedeira. As características iniciais do esterco constam na tabela 17.

**Tabela 17** – Atributos físico-químicos do esterco de ave poedeira utilizado no Experimento 2.

Atributo	Valor <sup>1</sup>
pH em CaCl <sub>2</sub>	7,7
Umidade (65 °C, %)	67,0
Nitrogênio total (%)	4
Nitrogênio mineral (%)	2,9

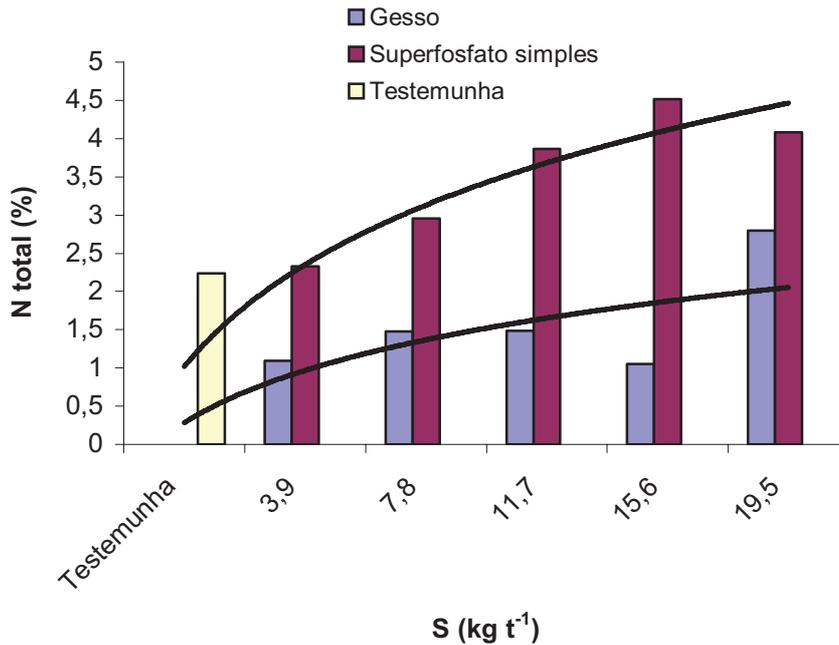
<sup>1</sup>: Resultados expressos em base seca.

Como o Experimento 2 foi realizado em estufa plástica, permanecendo o esterco neste local por 45 dias, e sem irrigação, a umidade das micro-pilhas de esterco decresceu para valores muito baixos até o final do experimento. Em média, a umidade das micro-pilhas, no final do experimento, foi de 3,22 %, sendo que no início do experimento era de 67,0 % (Tabela 17). Isso indica que a perda de água do esterco avaliado foi muito expressiva, sendo que isso, possivelmente, deve ter contribuído para que também ocorra perda de N na forma de amônia.

Os resultados da análise estatística dos teores de N total, obtidos nas micro-pilhas de esterco, não mostrou efeito significativo entre a interação das fontes de S (gesso e superfosfato simples) e os níveis testados desse elemento ( $P = 0,1072$ , Apêndice 4; Tabela 29). Por outro lado, os resultados desta análise mostraram que houve efeito isolado das fontes de S ( $P = 0,0001$ , Apêndice 4; Tabela 29) e efeito significativo dos níveis desse elemento ( $P = 0,0341$ , Apêndice 4 Tabela 29).

Na figura 29, pode-se observar que o maior teor de N total obtido no esterco, avaliado no final do experimento, ocorreu nas micro-pilhas com Superfosfato simples (SFS), sendo esse, em média, 2,1 % maior nesse tratamento, em relação as micro-pilhas com adição de gesso. O maior teor de N no esterco tratado com o SFS pode estar relacionado com o valor de pH das micro-pilhas, que foi menor neste tratamento ( $\text{pH} = 6,3$ ) que nas micro-pilhas com adição de gesso ( $\text{pH} = 6,7$ ) ou na testemunha ( $\text{pH} = 8,2$ ; Tabela 18). Embora, diferentemente do esperado, o gesso apesar de baixar o pH em relação as micro-pilhas testemunhas não conseguiu manter maiores teores de N. É importante salientar que, em todas as doses testadas de S, o teor de N foi maior nas micro-pilhas com SFS que nas micro-pilhas testemunhas (sem adição de S). Assim, a adição de doses crescentes de S, na forma de SFS, ao esterco de aves proporcionou aumentos na conservação do teor de N desse resíduo até a dose de  $19,5 \text{ kg t}^{-1}$  de adição de S, o que equivale a 15,6 % de adição de SFS a esse esterco. Isso só não ocorreu no nível máximo testado de adição de S ( $24,36 \text{ kg t}^{-1}$ ), que correspondeu a 19,5 %, de adição de SFS.

Por outro lado, na maior dose de S ( $25,2 \text{ kg t}^{-1}$ ), na forma de gesso, houve aumento da conservação do teor de N das micro-pilhas de esterco tratadas com esse material (Figura 29). Pode-se observar nesta figura que somente nessa dose de S, o que corresponde a adição de 15 %, de gesso nas micro-pilhas, o teor de N foi maior do que na testemunha.



**Figura 29** – Percentual de nitrogênio (N) total em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, com diferentes níveis e fontes de enxofre (S), no final do Experimento 2.

Este resultado está de acordo com o observado nas pilhas sem revolvimento e com adição de gesso, do Experimento 1 (Item 4.1.3; Figura 14). Nessas pilhas, o valor do pH também foi menor que o valor das pilhas sem gesso. A quantidade de gesso adicionado nas pilhas do Experimento 1 correspondeu a mesma testada na dose de 10,08 kg t<sup>-1</sup> de S adicionada no Experimento 2. Isto mostra que o percentual de gesso (6,0 %) adicionado no esterco do Experimento 1, embora decresça o pH tende a não resultar em menores perdas de N total seco do esterco.

**Tabela 18** – Valor final de pH em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, tratadas com diferentes fontes e níveis de enxofre.

Fonte	S (kg t <sup>-1</sup> )	pH	Média
Gesso	3,9	6,7	6,7
Gesso	7,8	6,7	
Gesso	11,7	6,9	
Gesso	15,6	6,5	
Gesso	19,5	6,6	
SFS	3,9	6,4	6,3
SFS	7,8	6,5	
SFS	11,7	6,5	
SFS	15,6	6,4	
SFS	19,5	5,8	
Testemunha	_____	8,2	8,2

Oliveira et al. (2003) afirmam que a adição de gesso agrícola em camas de aviário reduz as perdas de amônia significativamente ( $P < 0,05$ ), embora isso tenha sido observado com a adição de um nível alto de gesso (40 %). Isso também foi relatado por Gloria et al. (1991), que observaram diminuição em até 39,3 % na quantidade de N volatilizado, em cama de aviário com a adição de gesso (50 a 175 kg t<sup>-1</sup>). Embora essas quantidades de gesso sejam semelhantes a testadas no Experimento 2, esse efeito não foi confirmado (Figura 29).

Os resultados obtidos no Experimento 2 estão de acordo com o relatado por Prochnow et al. (2001). Esses autores concluíram que o gesso tem baixa eficiência como inibidor das perdas de N em forma amoniacal, em experimento realizado com cama de aves. O experimento de Prochnow et al. (2001) mostrou que o gesso não reduziu a evolução de amônia, mesmo quando aplicado na dose mais alta (200 kg t<sup>-1</sup>) testada por esses autores. Essa dose corresponde, aproximadamente, a maior dose testada no Experimento 2, isto é 150 kg t<sup>-1</sup> de gesso. Avaliando perdas de amônia, Prochnow et al. (2001) também constataram que houve redução de perdas dessa forma de N, com a adição de 50 kg t<sup>-1</sup> de SFS até a dose mais alta (200 kg t<sup>-1</sup>), o que também foi observado no Experimento 2, embora tenha sido constatado diminuição do efeito do SFS sobre o teor de N do esterco, na maior dose adicionada desse produto (195 kg t<sup>-1</sup>; Figura 29).

Apesar da adição de S, tanto na forma de gesso como de SFS, ter sido feita de forma homogênea, o valor final desse elemento nas micro-pilhas foi diferente quando se comparou a média dos tratamentos com gesso e com superfosfato simples. O teste “T” na comparação dessas médias não foi significativo resultado obtido com o nível de 5 % de probabilidade,

contudo, foi ao nível de 8 % ( $P = 0,08$ ; Apêndice 4; Tabela 30). Assim, houve uma tendência, não confirmada pela análise estatística, do nível de S nas micro-pilhas com gesso ser maior que nas micro-pilhas com SFS (Tabela 19). Uma explicação para esta diferença pode ser a maior perda de S, na forma de  $H_2S$  nas micro-pilhas com gesso. Sabe-se que em processos de decomposição anaeróbica é comum a volatilização deste tipo de gás. Isto pode ter acontecido, principalmente, no período inicial, já que as micro-pilhas com gesso tendem a reter mais umidade, como observado no Experimento 1, nas leiras não revolvidas (Item 4,1,9; Figura 24a).

**Tabela 19** – Quantidade e teor de enxofre (S) adicionado com gesso e supersimples e teor final desse elemento, em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, do Experimento 2.

<b>Fonte</b>	<b>S adicionado (kg)</b>	<b>S no final do experimento (%)</b>
<b>Gesso</b>	0,0195	1,92
<b>Gesso</b>	0,039	2,85
<b>Gesso</b>	0,0585	4,89
<b>Gesso</b>	0,078	5,6
<b>Gesso</b>	0,0975	6,03
<b>Superfosfato simples</b>	0,0195	1,6
<b>Superfosfato simples</b>	0,039	2,25
<b>Superfosfato simples</b>	0,0585	2,72
<b>Superfosfato simples</b>	0,078	2,99
<b>Superfosfato simples</b>	0,0975	3,21
<b>Testemunha</b>	0	0,37

## 5 CONCLUSÃO

### Experimento 1

Os teores de N total e de N mineral variaram com a época de compostagem, sendo a maior perda desses elementos verificadas nas três primeiras semanas.

O composto obtido apresentou maior teor de N total quando o esterco de aves foi compostado em pilhas com gesso. Contudo, o monitoramento dessas pilhas, ao longo dos 95 dias de compostagem, mostra que a tendência do teor dessa forma de N é de ser semelhante entre as pilhas com e sem gesso. O efeito do revolvimento, por sua vez, não alterou, significativamente, o teor de N total do esterco compostado. Por outro lado, houve maior teor de N mineral nas pilhas sem revolvimento.

Os valores do pH, da umidade, do teor de N total e da C:N do composto obtido nas pilhas de esterco de ave poedeira, quando revolvidas atenderam as especificações da Instrução Normativa N° 23/2005 do MAPA, exceto o percentual mínimo de C, que foi menor que o mínimo de 15 %, exigido nessa Instrução.

A redução dos valores da condutividade elétrica para valores abaixo de 50 % dos iniciais, ocorreu somente nas pilhas com revolvimento, sendo este um indicador da maturidade do composto dessas pilhas, embora não seja padrão adotado pelo MAPA..

As amostras obtidas, no término do experimento, das pilhas não revolvidas não apresentaram características de material humificado. Além disso, nessas amostras, onde houve a adição de gesso, a relação C:N foi maior que o valor máximo (C:N = 18:1) exigido pelo MAPA. O revolvimento foi imprescindível para a diminuição da umidade das pilhas de compostagem para valores apropriados (< 50 %) e para a aceleração da decomposição do esterco, sendo que no final do experimento o esterco das leiras não revolvidas apresentou características muito parecidas com as encontradas no início do experimento, sendo em sua maior parte não decomposto.

Os tratamentos testados não diferiram quanto a ocorrências dos indicadores de microrganismos enteropatogênicos, sendo que os compostos obtidos atenderam as exigências do MAPA, quanto a esse quesito. Os tratamentos também atenderam a essas exigências quanto a ocorrência de helmintos, exceto nas pilhas sem revolvimento e sem gesso.

Os teores de metais tóxicos (Cd, Cr, Ni, Pb e Se) obtidos nas amostras do composto efetuado com o esterco de ave poedeira foram muito menores que os dos valores máximos admitidos pelo MAPA.

A compostagem de esterco de ave poedeira para obtenção de composto de utilização agrícola, realizada neste experimento, mostrou grandes perdas de N. Desta forma, este tratamento não é adequado para esta finalidade, devendo ser compostado de forma controlada no próprio solo.

## Experimento 2

O superfosfato simples foi mais eficiente que o gesso na retenção do N do esterco de ave poedeira. A adição de  $15,6 \text{ kg S t}^{-1}$  de esterco, na forma desse produto, possibilitou o maior teor de N total no composto, evitando uma perda de cerca de 50 % do teor original desse elemento em comparação as micro-pilhas testemunhas. A adição de S na forma de gesso apresentou maior teor de N total, apenas com o nível mais alto testado, para a adição de  $19,5 \text{ kg S t}^{-1}$  de esterco, evitando a perda de cerca 25 % do teor de N.

### 5.1 Considerações finais

A utilização da secagem nos métodos oficial e Kjeldahl, quando da avaliação do teor de N total do esterco de ave poedeira ou em pilhas de compostagem decresce o teor desse elemento devendo ser melhor estudado. Sugere-se como trabalhos futuros avaliar a utilização de resíduos ácidos ao esterco de ave poedeira submetido a compostagem para diminuir o pH e aumentar a retenção de N no composto. Além disso, sugere-se estudar mais profundamente os efeitos da adição de gesso no controle de ovos de helmintos na compostagem de esterco de ave poedeira, e a realização de um estudo a fim de valorar as perdas de massa durante o processo de compostagem deste resíduo, onde foi verificado maior perda de massa nas pilhas com revolvimento, estas perdas devem-se a maiores perdas de C e água, nestas pilhas, durante o processo de compostagem, sendo esta perda estimada em mais de 50 %.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, S.C.; JOHN V.M. **Requisitos para execução de aterros de resíduos de construção e demolição.** Versão preliminar 05/07/2002. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo [CD ROM].

ABRAGESSO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE CHAPAS DE GESSO. **Informações do Mercado.** Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/interna.php?pagina=/biblioteca.php>>. Acesso em: 17 abr. 2007.

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

BARRINGTON, S.; CHOINIÈRE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W. **Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses.** Bioresource technology, 83, p. 189-194, 2002.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais:** Eliminação e Valorização. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES/RJ, 2001.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 01 de 23/01/1986.** Estabelece as definições, responsabilidades, critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da avaliação de impacto ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em <URL:<http://www.ambiente.sp.gov.br/leisinternet/geral/licenc/resconama186.html>>. Acesso em: 28 mar. 2006.

\_\_\_\_\_, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução no 307, de 05 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.

\_\_\_\_\_, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa Nº 23, de 31 de agosto de 2005.** Aprova as Definições e 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. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=13025>>. Acesso em: 14 abr. 2006.

\_\_\_\_\_, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa Nº 27, de 05 de junho de 2006.** Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951>>. Acesso em: 17 mai. 2006.

\_\_\_\_\_, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa Nº 28, de 27 de julho de 2007.** Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial -

CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=18000>>. Acesso em: 05 jan. 2007.

BUNDZIAK, C. R.; MAIA, C. M. B. F.; MANGRICH, A. S. **Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria da madeira.** Química Nova, vol. 27, n.º.3, p. 399-403. 2004.

CARDOSO, E.J.B.N et al. **Microbiologia do solo.** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

CAMPBELL, Steve. **Lead by Example:** Walls and Cieling. Posted on: 03/05/2003. Disponível em: [http://www.wconline.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP\\_\\_Features\\_\\_Item/0,3299,93761,00.html](http://www.wconline.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP__Features__Item/0,3299,93761,00.html). Acesso em: 15/08/2006.

COSTA, M. S. S. de M. et al.,. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.3, p.692–698, 2006.

CUNHA, G.R. **Meteorologia:** fatos & mitos. Passo Fundo: CNPT/Embrapa, 1997.

DIAZ, L. F. *The Science of Composting By Eliot Larincaster, Technomic Publishing Co. Waste Management & Research*, vol.17, n.º.2,p.66. 1999.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo da Canola.** Embrapa Trigo. Sistemas de Produção, 3. ISSN 1809-2985, Versão Eletrônica, Nov/2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Canola/CultivodeCanola/adubacao.htm>>. Acesso em: Dez. 2007.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; PARCHEN, C. A. P.; SELBACH, P. A. **Bactérias enteropatogênicas em composto domiciliar, solo e planta.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, v.17, p. 365-369, 1993.

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

FISCHER, C. D. B. **Prevalência de helmintos em Canis familiaris (Linnaeus, 1758) no Hospital de Clínicas Veterinárias do Rio Grande do Sul através de diagnóstico post-mortem.** Dissertação (Mestrado em Veterinária) 65f. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Faculdade de Veterinária de Porto Alegre – UFRGS, 2001.

FONSECA, A.C.O. **Horticultura orgânica:** avanços tecnológicos. 10ª semana internacional da fruticultura, floricultura e agroindústria. Instituto Frutal – Fortaleza, 2003. 110p.

GLÓRIA, N.A., BARRETO, M.C.V., MORAES, C.J., et al. **Avaliação do gesso e de alguns fosfatos como inibidores da volatilização de amônia de esterco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 15, n.º.3, p. 297-301, 1991.

GÓMEZ, R. B.; FERRER, A. S. *The use of respiration indices in the composting process: a review.* Waste Management & Reseach, vol.24, n.º.1, p.37-47.2006.

GOTAAS, H.B. **Composting:** Sanitary disposal and reclamation of organic wastes. World Health Organization. Monograph series. N.º.31. Geneva, Switzerland. 1971.

HE, X. T.; LOGAN, T. J.; TRAINA, S. J. **Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts.** Journal of Environmental Quality, 24, p. 543-552, 1995.

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

IANNOTTI, D. A.; GREBUS, M. E.; TOTH, B. L., MADDEN, L. V. HOITINK, H. A J. **Oxigen respirometry to asses stability and maturity of composted municipal solid waste.** Journal of Environmental Quality, 23, p. 1177-1183, 1994.

- JOHN, V.M; CINCOTTO, M.A. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2003.
- KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Ed. 3<sup>a</sup>. Piracicaba: Edmar José Kiehl, 2002.
- \_\_\_\_\_. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.
- KIRCHMANN, H. And E. Witter. 1989. **Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition**. *Plan and Soil*: 115: 35-41.
- SENGIK, E. ; KIEHL, J. C. ; SILVA, M. A. G. ; PALANGANA, D. C. ; LAWDER, M. R. . **Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia**. *Acta Scientiarum*, v. 23, p. 1099-1105, 2001.
- LAU, A. K.; LO, K. V.; LIAU, P. H.; YU, J. C. **Aeration experiments for swine waste composting**. *Bioresource Technology*, 41, p. 145-152, 1992.
- LUCAS JUNIOR, J.; SANTOS, T. M. B. **Impacto ambiental causado pela produção de frangos de corte**. Conferência APINCO 2003 de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2003.
- MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. **O uso da serragem no processo de minicompostagem**. Engenharia sanitária e ambiental - ABES. Nota Técnica. Vol. 12, n° 4, Rio de Janeiro, out./dez., 2007.
- MCCRORY, D.F. and P.J. Hobbs. **Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review**. *J. Environ. Qual.* 30: 345-355, 2001.
- MOORE, P.A., T.C. Daniel, D.R. Edwards and D.M. Miller. **Effect of Chemical Amendments on Ammonia Volatilization from Poultry Litter**. *J. Environ. Qual.*, Vol. 24, n°2, 1995.
- MORENG, R.E.; AVENS, J.S. **Ciência e Produção de Aves**. Tradução de Nair Massako Katayma Ito. São Paulo: Roca, 1990. p. 143-178.
- NEME et al. **Adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frango de corte**. *Ciência Rural* v.30, n°4, Santa Maria jul./ago. 2000.
- NUNES, M. L. **Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 101f. 2003.
- OLIVEIRA M.C. et al. **Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos**. *R. Bras. Zootec.* vol.32, n°4, Viçosa July/Aug. 2003.
- PARCHEN, C.A.P. **Condução, monitoração e avaliação do processo de compostagem natural do lixo urbano**. Porto Alegre: UFRGS, 1988. 133f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Porto Alegre, 1988.
- PEREIRA NETO, J. T. **Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas**. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, RJ, v. 27, p. 148-152, 1988.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Universidade Federal de Viçosa. 56 p., 1996.
- PROCHNOW, L. I. ; CUNHA, C. ; KIEHL, J. C. ; ALCARDE, J. . **Controle da Volatilização de Amônia em Compostagem, Mediante Adição de Gesso Agrícola e Superfosfatos com Diferentes Níveis de Acidez Residual**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 65-70, 2001.

- PROCHNOW, L. I. ; CHIEN, S H ; CARMONA, G ; HENAO, J . **Greenhouse Evaluation of Phosphorus Sources Produced from a Low-Reactive Brazilian Phosphate Rock**. Agronomy Journal, Madison, v. 96, p. 761-768, 2004.
- REIS, M.F; ESCOSTEGUY, P.A.V; SELBACH, P.A. **Curso teoria e prática da compostagem de resíduos sólidos urbanos**. ABES/RS. Universidade de Passo Fundo – RS. Passo Fundo, julho de 2003.
- SAMPAIO, M.A.P.M.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; SAMPAIO, A.A.M.; BERCHIELLI, S.C.P.; BIONDI, A. **Study of the microbial population and ammonia release of treated broiler litter with agricultural gypsum**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 1999, vol.51, n°. 6, ISSN 0102-0935.
- SANTOS, L. E.; CUNHA, E. A. da; BUENO, M. S.; VERISSIMO, C. J. **Condicionamento da cama de ovinos confinados com uso de fertilizantes fosfatados**, 2000. Disponível em: <<http://www.ovinocultura.com.br>>. Acesso em: 26 set. 2007.
- SESAY, A. A.; LASSARIDI, K.; STENTIFORD, E.; BUDD, T. **Controlled composting of paper pulp sludge using the aerated static pile method**. Compost Science Utilization. 5 (1): 82-96, 1997.
- SCHNEIDER D.M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. São Paulo: USP, 2003. 131f. Dissertação (Mestre em Saúde Pública). Programa de Pós- Graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. USP, 2003.
- SHARMA, V.K et al. **Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting**: Review. In: Energy conversion and management, Inglaterra, v. 38, n°.5, p 453-478.1997.
- STEVENSON, F.J. **Cycles of soil**: C, N, P, S, micronutrients. John Wiley & Sons, Inc. 1986.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 188 p. (Boletim Técnico, 5)
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. **Microbial activities during composting of spent pig manure sawdust litter at different moisture contents**. Bioresource Technology, 55, p. 201-206, 1996.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. **Salmonella elimination during composting of spent pig litter**. Bioresource Technology, 63, p 193-196, 1998.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. **Fate of nitrogen during composting of chicken litter**. Environmental Pollution, 110, p. 535-541, 2000.
- TISDALE, S.L; et al. **Soil fertility and fertilizer**. 5<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1993.
- VICTORIA, R.L. **Microbiologia do solo**: O ciclo do nitrogênio. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.
- ZHU, N. **Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw**. Bioresource Technology, vol.. 98, p.9-13. 2005.

## APÊNDICE 1

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de umidade (65 °C), obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	2371,13	239,39	46,03	0,0001
Gesso	2	27,39	27,39	4,25	0,0428
Revolvimento	2	32,91	32,91	10,35	0,0001
Época*Gesso	18	533,24	66,65	5,11	0,0268
Época*Revolvimento	18	287,67	35,96	5,58	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	0,02	0,02	0,00	0,9521
Época*Gesso*Revolvimento	36	47,91	5,99	0,93	0,4973
TOTAL	89				

CV (%) = 4,36

Resultados da análise da variância efetuada com os valores do carbono, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	5	1379,43	344,86	74,10	0,0001
Gesso	2	236,83	236,83	50,88	0,0001
Revolvimento	2	16,83	16,83	3,62	0,0644
Época*Gesso	10	135,94	33,99	7,30	0,0002
Época*Revolvimento	10	97,84	24,46	5,26	0,0017
Gesso*Revolvimento	4	3,59	3,59	0,77	0,3848
Época*Gesso*Revolvimento	20	55,12	13,78	2,96	0,0311
TOTAL	53				

CV (%) = 11,89

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de nitrogênio mineral, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	50,34	6,29	33,33	0,0001
Gesso	2	2,18	2,18	11,58	0,0011
Revolvimento	2	4,03	2,99	21,36	0,0001
Época*Gesso	18	23,96	4,03	15,87	0,0001
Época*Revolvimento	18	10,67	1,33	7,06	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	0,50	0,50	2,63	0,1093
Época*Gesso*Revolvimento	36	9,23	1,15	6,11	0,0001
TOTAL	89				

CV (%) = 26,75

## APÊNDICE 2

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de pH em água, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	7,72	0,96	14,66	0,0001
Gesso	2	6,42	6,42	97,44	0,0001
Revolvimento	2	1,33	1,33	20,21	0,0001
Época*Gesso	18	5,68	0,71	10,77	0,0001
Época*Revolvimento	18	3,84	0,48	7,29	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	0,30	0,30	4,55	0,0363
Época*Gesso*Revolvimento	36	1,42	0,18	2,70	0,0117
TOTAL	89				

CV (%) = 3,13

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de pH em cloreto de cálcio, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	2,75	0,34	14,13	0,0001
Gesso	2	1,91	1,91	78,33	0,0001
Revolvimento	2	1,43	1,43	58,58	0,0001
Época*Gesso	18	6,37	0,80	32,74	0,0001
Época*Revolvimento	18	3,91	0,49	20,08	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	0,30	0,30	12,23	0,0008
Época*Gesso*Revolvimento	36	0,56	0,07	2,89	0,0076
TOTAL	89				

CV (%) = 1,98

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de condutividade elétrica, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	207,51	25,94	37,13	0,0001
Gesso	2	35,44	35,44	50,74	0,0001
Revolvimento	2	65,22	65,22	93,37	0,0001
Época*Gesso	18	34,81	4,35	6,23	0,0001
Época*Revolvimento	18	87,80	10,98	15,71	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	0,08	0,08	0,12	0,7351
Época*Gesso*Revolvimento	36	13,16	1,64	2,35	0,0261
TOTAL	89				

CV (%) = 11,74

### APÊNDICE 3

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de Nitrogênio total, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	436,47	54,56	327,20	0,0001
Gesso	2	0,72	0,72	4,32	0,0412
Revolvimento	2	0,03	0,03	0,20	0,6535
Época*Gesso	18	9,21	1,15	6,90	0,0001
Época*Revolvimento	18	1,19	0,15	0,89	0,5256
Gesso*Revolvimento	4	0,004	0,004	0,02	0,8798
Época*Gesso*Revolvimento	36	2,09	0,26	1,57	0,1506
TOTAL	89				

CV (%) = 23,84

Resultados da análise da variância efetuada com os valores da temperatura, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	5878,83	734,85	219,46	0,0001
Gesso	2	246,01	246,01	73,47	0,0001
Revolvimento	2	3344,45	3344,45	998,79	0,0001
Época*Gesso	18	1995,25	249,41	74,48	0,0001
Época*Revolvimento	18	3365,96	420,74	125,65	0,0001
Gesso*Revolvimento	4	20,80	20,80	6,21	0,0150
Época*Gesso*Revolvimento	36	178,84	22,35	6,68	0,0001
TOTAL	89				

CV (%) = 5,41

Resultados da análise da variância efetuada com os valores da relação C:N, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	5	59,85	14,96	24,04	0,0001
Gesso	2	0,50	0,50	0,80	0,3766
Revolvimento	2	1,80	1,80	2,90	0,0972
Época*Gesso	10	23,55	5,89	9,46	0,0001
Época*Revolvimento	10	2,84	0,71	1,14	0,3520
Gesso*Revolvimento	4	0,47	0,47	0,75	0,3923
Época*Gesso*Revolvimento	20	8,54	2,13	3,43	0,0176
TOTAL	53				

CV (%) = 225,94

CV\* (%) = 33,32

\* Coeficiente de variação transformado com a função SQRT

## APÊNDICE 4

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de N total, obtidos em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, após 45 dias em estufa plástica.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Nível	6	16,09	16,09	49,57	0,0001
Tratamento	2	5,47	1,37	4,21	0,0341
Tratamento*Nível	12	3,38	0,85	2,61	0,1072
TOTAL	20				

CV (%) = 24,1

Resultados da análise do Teste “T” efetuado com os valores de S, obtidos em micro-pilhas de esterco de ave poedeira, após 45 dias em estufa plástica.

	SFS	Gesso
Média	4,258	2,554
Variância	3,19727	0,41263
Observações	5	5
Variância agrupada	1,80495	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	8	
Stat t	2,005428	
P(T<=t) uni-caudal	0,039921	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,079842	
t crítico bi-caudal	2,306006	

Precipitação pluvial e temperatura no período de compostagem do Experimento 1

Época (Dias)	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)
1		20
7	0,8	20
14	15,4	20
25	2,6	20
32	129	20,1
46	117,5	20,1
67	116,6	20,1
81	37,8	21,3
95	80,6	21,3

Fonte: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Estação: 83914 Passo Fundo

## APÊNDICE 5

Resultados da análise da variância efetuada com os valores de Nitrogênio total úmido, obtidos em pilhas de compostagem de esterco de aves poedeiras.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Época	9	311,81	38,98	32,36	0,0001
Gesso	2	2,86	2,86	2,38	0,1276
Revolvimento	2	0,00	0,00	0,00	0,9934
Época*Gesso	18	23,85	2,98	2,48	0,0199
Época*Revolvimento	18	18,22	2,28	1,89	0,0748
Gesso*Revolvimento	4	1,23	1,23	1,02	0,3150
Época*Gesso*Revolvimento	36	12,24	1,53	1,27	0,2727
TOTAL	89				

CV (%) = 40,68