

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VEGETAIS POR DIFERENTES  
MÉTODOS DE AERAÇÃO**

**Cláudia de Britto Velho Ruschel  
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VEGETAIS POR DIFERENTES  
MÉTODOS DE AERAÇÃO**

CLÁUDIA DE BRITTO VELHO RUSCHEL  
Engenheira Agrônoma (UFRGS)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Setembro de 2013

# CIP – CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

CLÁUDIA DE BRITTO VELHO RUSCHEL

Engenheira Agrônoma (UFRGS)

**DISSERTAÇÃO**

Submetida como parte dos requisitos

para a obtenção do Grau de

**MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO**

Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, professores e demais servidores pela acolhida e ensinamentos;

Ao meu orientador, professor Flávio Anastácio de Oliveira Camargo pela orientação, suporte e paciência, quanto a minha dificuldade em conciliar minha vida acadêmica e profissional;

Aos meus familiares, em especial meu pai, Cláudio Antônio Sperb Ruschel, e a equipe da EML Engenharia, pelo apoio na concepção e montagem do experimento;

Ao meu colega de trabalho na Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Clóvis Roberto Breda, pela ajuda e incentivo;

Ao produtor Clébio Luiz Bertaco pela cedência do esterco suíno de sua produção ao experimento;

A todos os colegas do programa de pós-graduação que em maior ou menor grau me ajudaram; em especial aos colegas Márcia Orantas, Cácio Luiz Boechat, Douglas Antônio Rogeri e Magno Batista Amorim;

Ao acadêmico Sérgio Juliano de Souza pela grande ajuda durante a execução do experimento.

# COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VEGETAIS POR DIFERENTES MÉTODOS DE AERAÇÃO <sup>1/</sup>

Autor: Cláudia de Britto Velho Ruschel

Orientador: Professor Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

## RESUMO

O crescimento dos centros urbanos acarreta, entre outros problemas, a geração de diferentes resíduos, destacando-se os resíduos vegetais ou restos de podas, oriundos do manejo da vegetação. O grande volume de restos vegetais gerados pode ser diminuído com o processo de compostagem, gerando um produto de melhor qualidade, em um menor tempo e passível de reutilização. Desta forma, o trabalho teve por objetivo comparar diferentes métodos de aeração quanto ao tempo e qualidade do composto gerado. A compostagem da mistura de restos vegetais com esterco líquido de suíno foi realizada dentro de tanques de polietileno e o processo foi monitorado por um período de 120 dias, sendo testadas cinco formas de aeração: sem revolvimento (T1); revolvimento manual (T2); revolvimento manual em caixas a céu aberto (T3), revolvimento mecânico (T4) e sem revolvimento e com insuflamento de ar (T5). Para o indicador temperatura os tratamentos que apresentaram maior duração da fase termofílica foram os tratamentos com revolvimento manual. Os volumes de lixiviados produzidos pelos tratamentos sem revolvimento (T1 e T4) foram de três a cinco vezes maiores que os tratamentos com revolvimento mecânico (T3) e manual (T2). A maior redução de volume do composto foi observada no tratamento com revolvimento mecânico. A capacidade de retenção de água não sofreu influência dos diferentes métodos de aeração empregados, assim como não resultaram em diferenças nas quantidades de macronutrientes no composto gerado. A manutenção de temperaturas termofílicas por um período de trinta e sete dias foi suficiente para eliminar patógenos (coliformes totais e *Escherichia coli*).

1/ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (50p.) Setembro, 2013.

# PLANT RESIDUES COMPOSTING BY DIFFERENT AERATION METHODS <sup>1/</sup>

Author: Cláudia de Britto Velho Ruschel

Adviser: Professor Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

## ABSTRACT

The growth of urban centers increase the generation of different residues. Among those materials, we highlight the plant residues or pruning residues from urban vegetation management. The large volume can be reduced with the composting process, generating a better quality product in less time and capable of reuse. Thus, this study aimed to compare different methods of aeration based on time and compost quality. Composting of the mixture of plant residues and liquid swine manure was carried out in boxes of polyethylene and the process was monitored for a period of 120 days, being tested five different aeration procedures: no turn over (T1); manual turn over (T2), manual turn over in the open (T3), mechanical turn over (T4) and no turn over and air insufflation (T5). For the temperature, treatments that showed longer duration of thermophilic stage were the treatments with manual turn over. The volume of leachate produced by the treatments without turn over (T1 and T4) was three to five times greater than the treatments with mechanical turn over (T3) and manual turn over (T2). The largest reduction in composting volume was observed in the treatment with mechanical turn over. The water retention capacity was not influenced by the different aeration methods, and resulted in no differences in the amounts of nutrients added to the compost. The maintenance of thermophilic temperatures for a period of thirty- seven days was sufficient to eliminate pathogens (total coliforms and *Escherichia coli*).

1/ M.Sc.Dissertation in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (49p.) Setembro, 2013.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 Compostagem.....	4
2.2 Principais fatores que afetam a compostagem.....	5
2.2.1 Umidade.....	5
2.2.2 Aeração.....	6
2.2.3 Temperatura.....	7
2.2.4 Nutrientes.....	8
2.2.5 Tamanho de partícula.....	9
2.2.6 Faixa de pH durante a compostagem.....	10
2.3 Microrganismos envolvidos no processo de compostagem.....	10
2.4 Qualidade do composto.....	12
2.5 Métodos de compostagem.....	14
2.6 Impactos ambientais decorrentes da compostagem.....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1. Montagem do experimento.....	17
3.2 Tratamentos.....	19
3.3. Monitoramento do experimento.....	20
3.3.1 Temperatura.....	22
3.3.2 Umidade.....	23
3.3.3 Volume de lixiviados e chorume.....	23
3.3.4 Volume do composto.....	23
3.3.5 pH.....	24
3.3.6 Condutividade elétrica.....	24
3.3.7 Capacidade de retenção de água.....	24
3.3.8 Macro e micronutrientes.....	24
3.3.9 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	24
3.3.10 Presença de moscas e emanação de odores.....	24
3.4 Análise estatística.....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1 Temperatura.....	27
4.2 Umidade.....	31
4.3 Volume de lixiviados e chorume.....	32
4.4 Redução de volume do composto.....	33
4.5 Capacidade de retenção de água.....	35
4.6 pH.....	36
4.7 Condutividade elétrica.....	37
4.8 Macro e micronutrientes.....	38
4.9 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	41
4.10 Presença de moscas e emanação de odores.....	43
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Composição do resíduo de poda triturado e do esterco líquido de suíno.....	19
2. Frequência de aeração e revolvimento dos diferentes tratamentos.....	26
3. Capacidade de retenção de água do composto nos diferentes tratamentos – Umidade % (m/m).....	35
4. Valores de condutividade elétrica (dS.m-1) observados nos diferentes tratamentos durante a compostagem.....	38
5. Concentração de macronutrientes nos diferentes tratamentos durante a compostagem.....	39
6. Concentração de micronutrientes nos diferentes tratamentos durante a compostagem.....	41
7. Presença de coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	42

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Fases durante a compostagem em função da temperatura.....	7
2. Resíduo de poda previamente à trituração (A); ensiladeira utilizada para triturar os resíduos de poda (B); resíduos de poda após trituração (C).....	18
3. Caixas d'água utilizadas na compostagem (A); garfo utilizado para realizar o revolvimento manual (B); rosca metálica usada para o revolvimento mecânico (C).....	21
4. Sistema utilizado para o insuflamento de ar nas caixas e calibração do sistema (A) e dreno no fundo da caixa e torneira para a coleta de lixiviados e chorume (B).....	22
5. Temperatura do composto em diferentes profundidades nos diferentes tratamentos (média dos trinta dias observados).....	28
6. Variação da temperatura nos diferentes tratamentos ao longo do experimento (média das repetições no centro da caixa).....	29
7. Umidade (%) do composto ao longo do experimento.....	31
8. Somatório do volume de lixiviados e chorume, em litros, aos sessenta dias nos diferentes tratamentos.....	33
9. Redução do volume do composto (média das repetições) nos diferentes tratamentos.....	34
10. Variação do pH nos diferentes tratamento durante a compostagem	37

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento dos centros urbanos acarreta, dentre outros problemas, a geração de diferentes resíduos, que necessitam por exigências legais e ambientais, serem dispostos de maneira adequada. Dentre estes resíduos destacam-se os resíduos vegetais ou restos de podas, oriundos do manejo da vegetação em áreas urbanas. Os resíduos de poda são classificados como resíduos classe II A (ABNT, 2004), que são aqueles considerados não perigosos e não inertes. Embora não causem risco ao meio ambiente, os restos de poda quando dispostos com outros resíduos podem ser contaminados, gerando passivos ao meio ambiente. Outro problema destes resíduos é o grande volume por estes ocupados e a escassez e valor da terra nos centros urbanos.

Porto Alegre, embora não tenha um inventário florestal que quantifique sua vegetação, é considerada muito arborizada. A arborização das vias públicas iniciou na metade do século XVIII e foi intensificada a partir de 1930 (Sanchotene, 2000). Devido à própria natureza do espaço urbano e por mais planejada e criteriosa que seja a arborização urbana, as árvores sempre apresentarão alguma necessidade de adequação ao espaço, podendo ocorrer, portanto, o confronto com os mais diversos equipamentos e mobiliários urbanos. Este fato, aliado a antiguidade da vegetação, explica a necessidade de um constante manejo, quer por podas, quer por remoções, e em decorrência disso a geração de grandes volumes de restos vegetais.

O manejo da vegetação de áreas públicas de Porto Alegre é feito hoje pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) e por empresa terceirizada. Podas nas áreas públicas também são feitas pela concessionária de energia elétrica para desobstrução de redes elétricas e, em áreas privadas, o manejo da vegetação é realizado pelos proprietários das áreas. No ano de 2011, somente a SMAM podou mais de vinte mil árvores e removeu mais de

três mil árvores (Gonçalves, 2012). Os restos vegetais, por sua vez, são encaminhados a Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) que é de responsabilidade do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU), tendo este recebido no ano de 2011 mais de vinte mil toneladas de resíduos vegetais provenientes do manejo da arborização urbana (Reis, 2012). Deste montante, parte é separado para ser utilizado como lenha e parte é compostado pelo método de leiras a céu aberto com revolvimento mecânico. Os restos vegetais são então dispostos com a parcela orgânica dos resíduos sólidos domiciliares, lodos de estação de tratamento de esgoto e resíduos gerados em companhias de abastecimento de produtos agrícolas.

O método de compostagem com leiras a céu aberto embora tenha como vantagem a possibilidade de compostar maiores volumes de resíduos a um menor custo, é um processo demorado até ser atingida a estabilização da matéria orgânica. Outro problema deste sistema é a perda de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial devido à exposição às chuvas, gerando um composto de baixa qualidade principalmente em regiões como Porto Alegre, que tem média anual de precipitação em torno de 1.300mm.

O esterco suíno é outro resíduo disponível dentro do município de Porto Alegre, tendo em sua área rural mais de 1.800 suínos (DMLU, 2012). O esterco suíno também pode gerar passivos ambientais quando disposto de maneira inadequada. A utilização do esterco de suíno como fonte de nitrogênio na mistura com os restos vegetais é uma alternativa ambientalmente correta, por fechar o ciclo de produção e reciclagem dentro do próprio município, não necessitar de grandes deslocamentos para a sua utilização e resolver em parte também um problema dentro do sistema da suinocultura.

Devido ao grande e crescente volume de resíduos gerados, tanto de restos de poda como de dejetos de suínos faz-se necessário a avaliação/adequação de tecnologias para a compostagem de grandes volumes de forma mais eficiente, gerando um produto de melhor qualidade em um menor tempo. É possível reduzir este tempo de compostagem com leiras cobertas e com controle de aeração e umidade. Este trabalho teve por objetivo comparar diferentes métodos de aeração em leiras de compostagem cobertas,

quanto ao tempo necessário para a maturação do composto e a qualidade do composto obtido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Compostagem

A compostagem é uma das formas de reciclagem e reuso de materiais orgânicos. É a decomposição biológica da matéria orgânica, sob condições controladas e aeróbicas, gerando um produto estável semelhante ao húmus. O termo controlado indica que o processo é manejado ou otimizado a fim de se atingir os objetivos desejados (Epstein, 1997). A compostagem é, antes de tudo, um processo de tratamento que visa principalmente solucionar problemas ambientais, de saúde pública, econômicos e sociais, sem contudo ter a visão específica de produzir lucros (Pereira Neto, 2007).

A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de se obter mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica. Durante todo o processo ocorre produção de calor e desprendimento, principalmente de gás carbônico e vapor d'água. Como resultados da compostagem são gerados nutrientes e substâncias húmicas, necessários para a nutrição das plantas e para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, respectivamente (Kiehl, 2012). As substâncias húmicas ou popularmente húmus podem ser definidas como o produto mais estável das transformações das substâncias orgânicas (Pereira Neto, 2007).

A compostagem ocorre naturalmente por meio da degradação biológica de matéria orgânica. Os primeiros relatos do emprego desse processo natural de degradação são originários da China, onde os pequenos agricultores empilhavam restos agrícolas e dejetos por certo período de tempo, até que estes atingissem estabilidade suficiente para sua posterior aplicação ao solo (Herbets, 2005). No entanto, foi no século XX, que o agrônomo britânico Albert Howard, sistematizou e apresentou para o Ocidente a compostagem que ele observou e aprendeu quando trabalhou na Índia, nas décadas de 20 e 30. No

Brasil, o livro “Fertilizantes Orgânicos” lançado em 1987, pelo professor Edmar José Kiehl, foi um dos pioneiros a se dedicar à compostagem, seguido de outros que contribuíram para disseminar esta técnica no Brasil (Inácio, 2009).

## **2.2 Principais fatores que afetam a compostagem**

Como um processo biológico, a compostagem é influenciada por todos os fatores que comumente afetam a atividade biológica. Dentre esses fatores, citam-se a seguir os principais: umidade; oxigenação; temperatura; concentração de nutrientes; tamanho de partícula e pH (Pereira Neto, 2007).

### **2.2.1 Umidade**

A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, e a presença de água é necessária para a atividade fisiológica dos organismos. Se a umidade do substrato a ser compostado estiver abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação dos fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas. Se a umidade estiver acima de 60%, o material se mostrará molhado ou encharcado e, nesse caso a água toma o espaço vazio do ar e a decomposição será em parte anaeróbia, podendo produzir odores desagradáveis. A umidade deve se situar na faixa entre 40 e 60%, sendo 55% considerado o valor ótimo (Kihel, 2012).

Durante a compostagem a quantidade de água dentro da leira de compostagem muda com a evaporação e precipitação, mas também com a formação de água metabólica (resultado da respiração microbiana: matéria orgânica + O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O). Geralmente mais água evapora do que é adicionada e a umidade tende a diminuir durante o processo de compostagem (Inácio, 2009). Desta forma faz-se necessária a irrigação das leiras de compostagem, toda vez que a umidade ficar abaixo ou próxima de 40% (Brito, 2006). Kihel (2012) recomenda que leiras muito ressecadas podem ser irrigadas por chorume por ocasião do revolvimento.

Entretanto, em regiões com altas precipitações, o que ocorre é o inverso: excesso de água nas leiras a céu aberto devido à precipitação, causando a

compactação das leiras e muitas vezes até inviabilizando o processo de compostagem (Barreira, 2006; Reis, 2005).

Chorume é o líquido resultante da decomposição anaeróbica natural de resíduos orgânicos que contêm ácidos orgânicos, sólidos em suspensão e dissolvidos, microrganismos patogênicos, coloração escura e odor bastante acentuado, podendo ainda ocorrer lixiviados, resultantes do excesso de umidade na massa de compostagem (Pereira Neto, 2007). A pilha de compostagem não deve ficar exposta diretamente ao sol ou ao vento, para que não seque, nem à chuva, para não ficar sujeita à lixiviação de nutrientes (Brito, 2006).

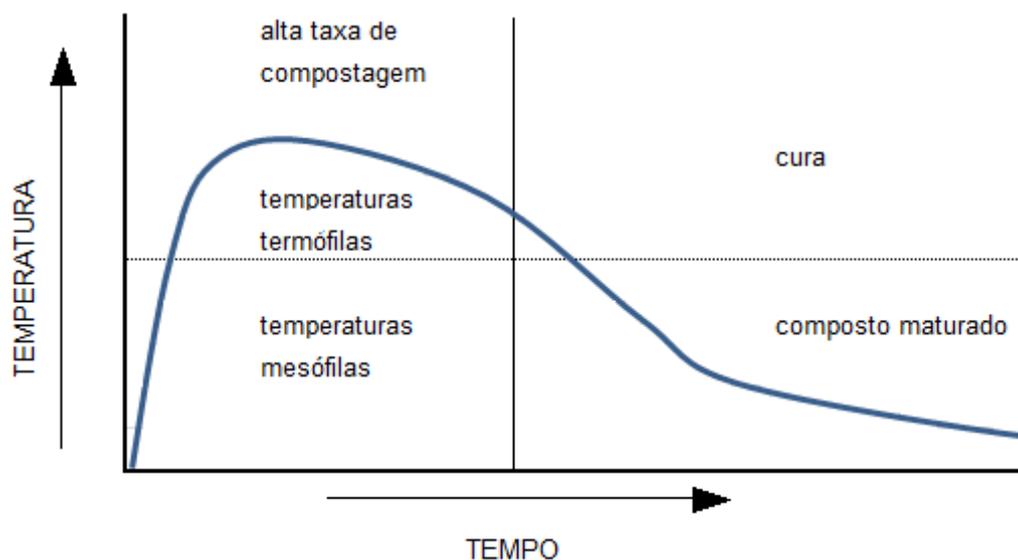
### **2.2.2 Aeração**

O oxigênio é essencial para a atividade microbiana na compostagem, uma vez que este é um processo aeróbio. A falta de oxigênio resulta em condições anaeróbias e conseqüentemente, alteração na população de microrganismos degradadores e dos produtos formados (Epstein, 1997). Na prática, a compostagem é um processo predominantemente aeróbio, e não totalmente aeróbio. É comum a formação de microsítios e até zonas internas anaeróbias (<10% de O<sub>2</sub>) devido ao intenso consumo de O<sub>2</sub> pelo metabolismo microbiano que pode superar o suprimento de O<sub>2</sub> via difusão passiva ou mesmo com aeração forçada (Inácio, 2009).

A aeração é, na prática da compostagem, o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica. Para introduzir oxigênio na leira, é feito o revolvimento ou a injeção de ar (Kihel, 1998). O revolvimento da leira ou pilha tem duas funções básicas: propiciar a aeração da massa e dissipar as altas temperaturas (>65°C) desenvolvidas na fase de degradação ativa. Um ciclo de revolvimento satisfatório deve ser feito a cada três dias, pois favorece a atividade microbiológica e a degradação, homogeniza a massa e exerce ações físicas de quebra de partículas (Pereira Neto, 2007). Os revolvimentos têm também a finalidade de retirar o excesso de gás carbônico da leira, introduzindo ar atmosférico com maior concentração de oxigênio; homogeneizar a massa em compostagem; e efetuar o controle sanitário da leira (Kihel, 2012).

### 2.2.3 Temperatura

A temperatura, como resultado da atividade microbiana, é um importante fator a ser considerado no processo de compostagem (Epstein, 1997). Tanto consequência como determinante da atividade microbiana, a temperatura constitui-se um fator seletivo da biota e influi no fluxo de ar e perda de umidade (Inácio, 2009). Diversos autores dividem o processo de compostagem em diferentes fases em função das temperaturas atingidas pela leira. É consenso que no mínimo haverá uma fase termófila com temperaturas acima de 45°C e uma fase mesófila com temperaturas abaixo de 45°C (Epstein, 1997; Herbets, 2005; Brito, 2006; Coelho, 2007). Estas fases estão também associadas à decomposição ativa da matéria orgânica e a maturação do composto ou cura (Figura 1). Outros autores também incluem uma fase mesófila no início do processo e uma fase criófila, abaixo de 30°C, no final do processo durante a maturação do composto (Inácio, 2009; Kihel, 2012).



**Figura 1.** Fases durante a compostagem em função da temperatura (adaptado de Epstein, 1997).

Atendendo-se as condições favoráveis de temperatura durante a compostagem, pode-se estabelecer uma relação entre as temperaturas observadas, o tempo de compostagem e o grau de decomposição. Considera-

se que o composto ao passar da fase termófila para a mesófila (o que deve ser sempre confirmado com outras informações e testes), está semicurado ou bioestabilizado. Quando a leira perder calor e ficar com a temperatura igual a do ambiente, desde que não tenham faltado água e oxigênio fornecido por revolvimentos, o composto está completamente curado e humificado (Kihel, 2012).

A temperatura também está associada ao tipo de material que está sendo degradado. Para Pereira Neto, 2007, primeiramente são atacadas as substâncias de mais fácil degradação, como os açúcares, os amidos, os aminoácidos. Em seguida ocorre a degradação de certas hemiceluloses e proteínas. As substâncias de difícil degradação são decompostas mais lentamente.

Quanto aos patógenos, a eliminação destes também está associada à manutenção de temperaturas termófilas por um determinado período. Segundo Pereira Neto (2007), essa faixa de temperatura (45 a 60°C) caracteriza a fase de degradação ativa e, dependendo do processo utilizado, constitui o controle de organismos patogênicos, bem como de larvas de helmintos, sementes de ervas daninhas, entre outros.

#### **2.2.4 Nutrientes**

Os microrganismos necessitam para seu crescimento de uma fonte de carbono, macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio e certos elementos traço (Tuomela, 2000). Por serem requeridas em maior quantidade, as concentrações de carbono e nitrogênio afetam o processo e o produto da compostagem. O carbono é utilizado para o crescimento celular e o nitrogênio para a síntese de proteínas. A maioria dos autores recomenda uma relação C:N inicial entre 25:1 a 40:1 (Brito, 2006; Pereira Neto, 2007; Inácio, 2009; Kihel, 2012). Isto porque os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio sempre na relação C:N 30 para 1, quer a matéria-prima a ser decomposta tenha relação 80/1 ou 8/1. Se a relação C:N inicial for elevada, o tempo de compostagem será maior, pois faltará nitrogênio aos microrganismos. Ao contrário, se a relação C:N for baixa, os microrganismos eliminarão o excesso

de nitrogênio na forma de amônia, até atingir a relação 30:1, baixando até 10:1 no final da compostagem (Kihel, 2012).

Se o nitrogênio for um fator limitante durante a compostagem, o processo de degradação será lento, levando a um aumento do período de compostagem (Tuomela, 2000). Nesse caso o nitrogênio é obtido das células mortas dos microrganismos. Se houver na massa de compostagem maior concentração de nitrogênio do que de carbono, ocorrerá a perda natural de nitrogênio, em virtude da volatilização da amônia (Pereira Neto, 2007).

Na compostagem o indicador importante é o carbono disponível aos microrganismos, e não o carbono total no material (Epstein, 1998). No processo de compostagem, quase todo o nitrogênio orgânico está disponível para ser utilizado pelos microrganismos, mas o mesmo não se verifica relativamente ao carbono de determinados materiais, por se encontrar em formas resistentes à degradação biológica (Brito, 2006). A matéria orgânica resistente à compostagem é caracterizada pela presença da lignina, ceras, resinas, graxas, óleo dos vegetais, quitina dos artrópodes e outras substâncias resistentes de animais terrestres (Kihel, 2012).

### **2.2.5 Tamanho de partícula**

A decomposição microbiana da matéria orgânica acontece na superfície das partículas. Quanto maior a área da superfície, mais rápida será a decomposição (Epstein, 1998). Para o processo de compostagem as partículas devem ter entre dois e oito centímetros. Abaixo deste tamanho seria necessário utilizar sistemas de ar forçado, enquanto que os valores superiores podem ser bons para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado. Quanto menor for o tamanho das partículas mais fácil é o ataque microbiano porque a superfície específica aumenta, mas, em contrapartida, aumentam os riscos de compactação e de falta de oxigênio (Brito, 2006)

A porosidade total de um substrato pode ser dividida em microporos, que retém água por capilaridade, e macroporos, onde se aloja o ar. À medida que se reduz a granulometria de uma matéria-prima pela compostagem, seus microporos aumentam e, conseqüentemente sua capacidade de reter água. Os

substratos de granulometria grosseira, ao contrário, possuem mais macroporos, sendo mais arejados, fazendo mais facilmente trocas com o ar atmosférico. À medida que a matéria orgânica se humifica, micelas coloidais se formam, elevando a capacidade de retenção de água. Esse efeito pode duplicar a retenção de água que no início geralmente é de 70 a 80% (Kihel, 2012).

### **2.2.6 Faixa de pH durante a compostagem**

O pH do meio tem influência em qualquer atividade microbiana. Diferentes espécies de microrganismos se adaptam e têm atividade ótima em diferentes faixas de pH (Inácio, 2009). A compostagem pode ser desenvolvida numa faixa bem ampla de pH, ou seja, entre 4,5 e 9,5. Com relação ao pH do produto final, maturado, o adubo orgânico deverá ser sempre superior a 7,8. Na compostagem da fração orgânica do lixo urbano, o valor final é geralmente superior a 8,5 (Pereira Neto, 2007).

A matéria orgânica humificada é geralmente ácida, ocorrendo também a formação de ácidos orgânicos que reagem com bases liberadas pela matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Como consequência o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7,0 e alcançando pH superior a 8,0 (Kihel, 2012).

### **2.3 Microrganismos envolvidos no processo de compostagem**

Os microrganismos bactérias, fungos e actinomicetos são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica fresca em húmus. Participam também da degradação da matéria orgânica outros organismos como algas, protozoários, nematoides, vermes, insetos e suas larvas. A natureza da comunidade microbiana, o número, as espécies e a intensidade da atividade da decomposição dependem das condições favoráveis reinantes (Kihel, 2012). Quanto mais complexo for o substrato a ser compostado, mais complexo será o sistema de enzimas necessário para degradá-lo, e desta forma faz-se necessária a ação sinérgica do grupo de microrganismos presente (Tuomela, 2000).

As bactérias são um grupo de microrganismos unicelulares e procarióticos que predominam na massa de compostagem. São capazes de produzir endósporos com parede espessa e por isso muito resistentes ao calor, radiação e desinfecção química (Tuomela, 2000).

Actinomicetos são bactérias que formam filamentos multicelulares que se parecem com fungos. Eles aparecem na fase termofílica bem como na fase de maturação e resfriamento da compostagem. São aptos a degradar parte da celulose e a solubilizar a lignina. Toleram temperaturas e pH mais altos do que os fungos e em condições adversas sobrevivem na forma de esporos. (Tuomela, 2000). Os actinomicetos são mais abundantes e geralmente atuam na decomposição da matéria orgânica em um estágio mais avançado da compostagem (Bertoldi, 1983; Kihel, 2012).

Os fungos são organismos eucarióticos com parede celular, sem clorofila, heterotróficos e aeróbios obrigatórios. Tem seu crescimento beneficiado quando há um decréscimo na temperatura, umidade e pH, o que ocorre ao longo do processo de compostagem, mas podem crescer em uma ampla faixa destes fatores. (Bertoldi, 1983; Tuomela, 2000). Os fungos têm como principal função a decomposição de materiais recalcitrantes ricos em celulose e ligninas (Lima, 1991).

No que se refere a variação de temperatura que favorece sua atividade, os microrganismos podem ser assim classificados: psicrófilos: aqueles que são ativos a temperaturas de 10 a 20°C; mesófilos: ativos a temperaturas entre 20 e 45°C; e termófilos: aqueles ativos a temperaturas entre 45 e 65°C (Pereira Neto, 2007). Diferentes comunidades de microrganismos (incluindo bactérias, actinomicetos, leveduras e fungos) predominam em diferentes fases da compostagem. Com temperaturas superiores de 55°C muitos dos microrganismos patogênicos para os humanos ou para as plantas são destruídos. No entanto, não é conveniente deixar ultrapassar os 65 °C, pois a maioria dos microrganismos é destruída, incluindo aqueles que são responsáveis pela compostagem (Brito, 2006).

Logo que a pilha de compostagem é estabelecida, inicia-se a degradação da matéria orgânica, principalmente compostos orgânicos simples

como açúcares, pelas bactérias e fungos mesofílicos, ocorrendo a liberação de calor. Em seguida, em função da elevação da temperatura, acontece o desenvolvimento de bactérias e fungos termofílicos, ao mesmo tempo em que são reduzidas as populações de microrganismos mesofílicos. Nessa fase ocorre a decomposição de celulose e lignina. Após um primeiro ciclo de metabolização da matéria orgânica, dá-se um decréscimo de temperatura (fase de arrefecimento), o que provoca uma recolonização do material em compostagem. Nessa fase há baixa diversidade de bactérias, sendo apenas o grupo específico dos actinomicetos mesofílicos e os fungos os microrganismos encontrados em maiores populações. Logo a seguir, ocorre a fase de maturação, em que os compostos orgânicos mais simples, que restaram da fase anterior, são decompostos lentamente pela ação desses microrganismos (Herbets, 2005).

#### **2.4 Qualidade do composto**

Maturidade do composto não deve ser confundida com qualidade. Maturidade é o resultado de uma correta decomposição microbiológica da matéria orgânica, originando nutrientes e húmus. Um composto de qualidade, além de ter perfeita maturidade, deve apresentar características que não torne o produto inadequado para o uso agrícola (Kihel, 2012).

Os termos estabilidade e maturidade do composto aparecem frequentemente na literatura com entendimento similar. Entretanto, os dois termos não são sinônimos. Estabilidade é um estágio na decomposição da matéria orgânica e é uma função da atividade biológica. Maturidade é uma condição orgânico-química do composto que indica a presença ou ausência de ácidos orgânicos fitotóxicos (Epstein, 1997). As definições de estabilização e de maturação são objeto de controvérsia e, conseqüentemente a diferença entre composto estabilizado e composto maturado. Os indicadores de estabilidade dos compostos são referidos por vários autores como sendo os que estão relacionados com a avaliação da atividade microbiológica e, conseqüentemente, com o grau de transformação dos componentes da biomassa facilmente biodegradável (Oliveira, 2010).

Quanto à maturidade, Kihel (2012) classifica o composto em: a) **Imaturo**: matéria orgânica que na leira já entrou em degradação parcial, desenvolveu temperatura mesófila ou termófila, mas ainda não pode ser considerada bioestabilizada; b) **Semicurado ou bioestabilizado**: composto com relação C:N igual ou menor que 18:1, pH acima de 6,0 e que permaneceu por um bom período na fase termófila e que não é considerado danoso para sementes ou raízes de mudas transplantadas. É, contudo, um material que deve completar sua maturação; c) **Maturado ou humificado**: composto altamente estabilizado, resultado de um longo período de decomposição, tendo produzido húmus e sais minerais nutrientes para as plantas. Apresenta boas propriedades físicas, químicas e físico-químicas.

Quimicamente, a cura do composto tem relação direta com o valor do pH e a relação C:N. Estes fatores caracterizam o final do processo de compostagem. Geralmente, o composto curado apresenta valores de pH em torno de 8,0 e com a relação C:N, temos o inverso, a mesma inicia-se alta e no final do processo se apresenta com valores que podem variar de 10:1 a 18:1. A expressiva redução do volume inicial das leiras ao final do processo e a coloração escura são outras características que permitem dizer se o material atingiu a cura. (Baratta Junior, 2007).

A Instrução Normativa n.º 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009) regulamenta as especificações, as garantias e as tolerâncias dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos destinados à agricultura. Por esta norma, estes compostos devem apresentar: umidade máxima de 50%; N total mínimo de 0,5%; carbono orgânico mínimo de 15%; pH mínimo de 6,0; e relação C:N máxima de 20:1. Já a Instrução Normativa n.º 27 de 05 de junho de 2006 (Brasil, 2006), regulamenta as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas nos substratos para planta e condicionadores de solo. É permitida a presença de coliforme termotolerantes, mas a presença destes não pode ser superior a 1.000 NMP/g.

Existem vários indicadores propostos para a avaliação da estabilidade e da maturação dos compostos, bem como a sua classificação. A abundância de alterações químicas e biológicas que ocorrem durante a compostagem e a quantidade de métodos sugeridos nas literaturas tem dificultado a concordância em métodos para a avaliação da maturação (Oliveira, 2010). Neste trabalho, o autor observou que apesar dos compostos estudados se enquadrarem como estabilizados, apresentam características físico-químicas e químicas diferentes que lhe conferem diferentes classificações relativamente ao grau de maturação. Barreira (2006), avaliando o composto produzido em vinte e quatro usinas de compostagem no estado de São Paulo, concluiu que a grande maioria dos compostos produzidos é de baixa qualidade, comprometendo o seu uso na agricultura e diminuindo o seu poder de venda; sendo esta baixa qualidade decorrente da falta de revolvimentos constantes, excesso de água nas leiras e estabilização incompleta da matéria orgânica.

## **2.5 Métodos de compostagem**

A compostagem pode ser conduzida de diversas formas: em grandes instalações centralizadas com matéria orgânica recolhida seletivamente; em explorações agrícolas ou agropecuárias; e em pequenas unidades de carácter familiar (compostagem doméstica) (Brito, 2006). Já Inácio (2009), separa diferentes tipos de compostagem, não pela localização ou tamanho, mas em grupos conforme o tipo de aeração, grau de revolvimento das leiras, ou se é realizado em leiras ou de forma confinada.

Os principais tipos de compostagem são: leiras estáticas com aeração natural; leiras estáticas com aeração forçada; compostagem com revolvimento de leiras e compostagem em reatores (Inácio, 2009). Leiras estáticas são aquelas que não sofrem nenhum revolvimento. O processo de compostagem mais comum na agricultura biológica é conduzido em pilhas estáticas por um período de três meses, seguido por um período de maturação de mais três meses (Brito, 2006). O processo de leiras estáticas com aeração forçada consiste em se colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica perfurada ligada a um exaustor. Sobre essa tubulação, monta-se a leira. O arejamento é feito por aspiração ou insuflação de ar. O arejamento da leira

também pode ser feito por canaletas ao invés das tubulações perfuradas (Kihel, 2012).

As leiras de resíduos no método com revolvimento de leiras podem ter dimensões variadas, mas usualmente são montadas leiras longas e de secção triangulares, já que os resíduos são simplesmente despejados com ajuda de pás carregadeiras ou equipamentos similares (Inácio, 2009). A aeração do composto é realizada por revolvimentos periódicos das leiras dispostas no pátio de compostagem. Há máquinas que conseguem fazer um revolvimento muito eficiente, pois conseguem trazer para cima a parte inferior da leira, porção que se encontra mais úmida, menos decomposta, mais fria, fazendo uma inversão quase completa das diferentes camadas. O revolvimento com pá carregadeira é de baixo rendimento e as camadas são mal misturadas, sem terem suas posições alteradas. As máquinas revolvedoras de leiras oferecem outras vantagens, dentre elas a de triturar o material, reduzindo sua granulometria, o que é muito benéfico na fase final do processo (Kihel, 2012). O método de compostagem com leiras a céu aberto embora tenha como vantagem a possibilidade de compostar maiores volumes de resíduos a um menor custo, é um processo demorado, podendo levar até 140 dias para a estabilização da matéria orgânica (Reis, 2005)

A compostagem em sistemas fechados (“reatores”) confinam os resíduos em estruturas fechadas como, container, grandes cilindros de material metálico ou em concreto e alvenaria. Um número grande de formas pode ser usado neste sistema: torres verticais, horizontais (retangulares ou circulares), e tanques rotativos circulares, como nos sistemas do tipo DANO. Estes procedimentos são totalmente dependentes de mecanismos para aeração forçada e o revolvimento mecânico da massa compostada. Por serem sistemas fechados, estes métodos sofrem menor influência das variações climáticas (Bruni, 2005; Inácio, 2009). Como vantagem destes sistemas tem-se o controle dos líquidos percolados, da exalação de gases e a atração de vetores, e a diminuição em até 50% da área utilizada (Donahue, 1998). Outra vantagem deste sistema é a redução no tempo de compostagem. O tempo de detenção no reator biológico pode variar de sete a vinte e oito dias, mais em torno de sessenta dias para a completa maturação do composto (Inácio, 2009).

Cabaraban (2008) relata em seu trabalho a compostagem em sistema confinado levando um tempo mínimo de quatorze dias de compostagem ativa dentro de reatores mais um tempo de cura fora dos reatores de quarenta a setenta dias. A redução no tempo de compostagem leva, conseqüentemente, a uma diminuição no tamanho dos pátios de compostagem, o que influi diretamente nos custos do processo (Fernandes, 2009).

## **2.6 Impactos ambientais decorrentes da compostagem**

Com relação aos impactos ambientais associados às unidades de compostagem, esses são basicamente três e ocorrem durante a operação do processo, a saber: emanção de odores, atração de vetores e produção de lixiviados (Pereira Neto, 2007).

Lodo de esgoto, esterco de animais, cama de aviário e certos resíduos sólidos industriais apresentam cheiro desagradável característico da matéria prima que lhes deu origem. Além disso, o desprendimento de mau cheiro de uma leira é resultado de um fenômeno biológico, resultado de fermentação anaeróbia. Sob condições de anaerobiose as reações que ocorrem são de redução e formação de mercaptanas, ácido aminobutírico de muito mau cheiro (Kiehl, 2012). Amônia também é frequentemente liberada durante operações de compostagem que envolvem fezes de animais, restos de alimentos e lodo de esgoto. Matérias prima com baixa relação carbono-nitrogênio (inferior a 20:1) liberam amônia durante a compostagem (Epstein, 1997).

A matéria prima orgânica é um meio biológico para o desenvolvimento de moscas. Lixo contendo ovos de moscas domésticas pode produzir o inseto adulto em menos de duas semanas (Kiehl, 2012). As moscas são transmissoras de doenças ao ser humano: posam sobre fezes, animais mortos e material em decomposição e após sobre o alimento humano contaminando-o.

Estes impactos muitas vezes são impeditivos para o licenciamento ambiental de unidades de compostagem em centros urbanos. Desta forma é importante conhecer os processos que os desencadeiam e como controlá-los ou minimizá-los.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, situada no município de Porto Alegre, no período de outubro de 2012 a fevereiro de 2013. Neste estudo foi analisada a compostagem da mistura de restos vegetais com esterco líquido de suíno, sob diferentes métodos de aeração do sistema. O material foi compostado dentro de tanques de polietileno (caixas d'água) com capacidade de 500 litros e o processo foi monitorado por um período de 120 dias.

#### **3.1 Montagem do experimento**

O resíduo de poda utilizado no experimento foi cedido pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre. Este resíduo era constituído de ramos e folhas de árvores de diferentes espécies (Figura 2a). Todos os ramos com diâmetro inferior a 0,08m foram triturado em uma ensiladeira (Figura 2b), totalizando 7m<sup>3</sup> de material triturado (Figura 2c). Por sua vez, os ramos com diâmetro superior a 0,08m foram descartados para utilização como lenha. Conforme Baratta Junior (2007), os galhos mais finos, não utilizados para lenha, carvão, ou finalidade mais nobre, correspondem a cerca de 60% do volume total da poda. O material triturado ficou com tamanho médio inferior a 0,04m. O material foi homogeneizado e foi coletada uma amostra composta para análise (Tabela 1). O material foi coberto com lona plástica por cinco dias até a montagem do experimento, a fim de evitar que o mesmo ficasse exposto à chuva.

O esterco de suíno utilizado no experimento foi cedido pelo produtor Clébio Luiz Bertaco, do município de Porto Alegre. Foram coletados 750 Kg de esterco e armazenados dentro de bombonas plásticas por um período dez dias até sua utilização. Foi coletada uma amostra composta do esterco para análise (Tabela 1).

**A****B****C**

**Figura 2.** Resíduo de poda previamente à trituração (A), ensiladeira utilizada para triturar os resíduos de poda (B) e resíduo após a trituração (C).

A mistura dos restos de poda triturados e o esterco de suíno foi compostada na proporção de 0,38m<sup>3</sup> de restos de poda triturados com 45 litros de esterco de suíno, a fim de se obter um relação C:N inicial de 30:1.

**Tabela 1.** Composição do resíduo de poda triturado e do esterco suíno.

<b>Indicador</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Esterco</b>
carbono orgânico - % (m/m)	41	48
nitrogênio - % (m/m)	1,1	2,7
fósforo total - % (m/m)	0,13	1,2
potássio total - % (m/m)	0,66	1,0
cálcio total - % (m/m)	1,7	3,1
magnésio total - % (m/m)	0,11	0,41
enxofre total - % (m/m)	0,09	0,31
cobre total (mg/kg)	6	24
zinco total (mg/kg)	34	151
ferro total (mg/kg)	291	0,42
manganês total (mg/kg)	73	129
sódio total - % (m/m)	0,09	1,0
boro total (mg/kg)	18	15
umidade - % (m/m)	41	84
pH	6,6	8,2
densidade úmida (kg/m <sup>3</sup> )	285	956

### 3.2 Tratamentos

Foram testados quatro diferentes tipos de aeração do sistema de compostagem, com três repetições cada, utilizando-se tanques de polietileno com tampa, a fim de evitar a entrada de água da chuva, mas com três barras de ferro de 0,20m de altura para que fosse possível a entrada de ar nos tanques (Figura 3a). Também foi comparada a compostagem com revolvimento manual com cobertura dos tanques, com a compostagem com revolvimento manual sem cobertura dos tanques, ou a céu aberto. Os tratamentos foram:

- Tratamento 1 (T1): sem revolvimento (testemunha ou controle);
- Tratamento 2 (T2): com revolvimento manual;
- Tratamento 3 (T3): com revolvimento manual, a céu aberto;
- Tratamento 4 (T4): com revolvimento mecânico;
- Tratamento 5 (T5): sem revolvimento e com insuflamento de ar.

O revolvimento manual foi realizado utilizando-se um garfo metálico. Este tipo de revolvimento foi feito em dois tratamentos - a céu aberto e nas caixas com cobertura (Figura 3b). Já o sistema de revolvimento mecânico foi feito utilizando-se uma rosca metálica do tipo sem fim, acionada por motor elétrico de dois HP com redutor de velocidade de 45 giros por minuto, ambos posicionados sobre a caixa (Figura 3c). Por sua vez, o sistema de insuflamento de ar foi feito através de tubos de PVC perfurados, localizados no fundo da caixa, onde o ar foi insuflado por compressor elétrico de um HP (Figura 4a). O sistema foi calibrado com água, para que as três repetições recebessem igual quantidade de ar (Figura 4a). Em todas as caixas foi colocado um dreno protegido com tela metálica e uma torneira para fazer a coleta de lixiviados e chorume (Figura 4b).

A mistura inicial entre os restos de poda e o esterco de suíno foi feita manualmente com garfo metálico, utilizando-se uma caixa extra. Foi coletada uma amostra composta, com três subamostras por caixa, e levada para análise, obtendo-se então a composição da mistura do primeiro dia do experimento.

A frequência de revolvimento manual, mecânico, ou aeração do composto nos diferentes tratamentos foi diária na primeira semana, passando a duas vezes por semana nos primeiros sessenta dias. O composto foi revolvido e aerado oito vezes entre os dias 60 e 120 do experimento (Tabela 2).

### **3.3 Monitoramento do experimento**

Os quinze tanques de compostagem foram monitorados do dia 17 de outubro de 2012 ao dia 13 de fevereiro de 2013, totalizando 120 dias. Foram monitorados os seguintes indicadores: temperatura; umidade; volume de lixiviados e chorume; redução do volume do composto; pH; condutividade elétrica; capacidade de retenção de água; macro e micronutrientes e presença de coliformes totais e *Escherichia coli*. Também foi observada de forma expedita a presença de insetos e odores.

**A****B****C**

**Figura 3.** Caixas d'água utilizadas na compostagem (A), garfo para o revolvimento manual (B) e rosca metálica para o revolvimento mecânico (C).



**Figura 4.** Sistema utilizado para o insuflamento de ar nas caixas e calibração do sistema (A) e dreno no fundo da caixa e torneira para a coleta de lixiviados e chorume (B).

### 3.3.1 Temperatura

A temperatura foi medida com termômetro para compostagem, marca Reotemp modelo A36FR, em três diferentes pontos por caixa – fundo, meio e topo. A frequência de medição foi diária na primeira semana, três vezes por semana no primeiro mês, duas vezes por semana no segundo mês, e uma vez por semana no terceiro mês.

Aos cento e cinco dias do experimento, quando da estabilização da temperatura, foram aplicadas diferentes doses de ureia por tratamento e por repetição. A quantidade de ureia aplicada foi calculada com os valores da relação C:N e do volume do composto. Foi aplicada a metade da quantidade necessária para se atingir uma relação C:N de 10:1. A aplicação da ureia teve o objetivo de avaliar se ainda havia carbono disponível aos microrganismos, ou

seja, carbono de fácil decomposição. Após a aplicação de ureia, a temperatura foi medida mais cinco vezes até a finalização do experimento.

### **3.3.2 Umidade**

A umidade foi mensurada pela diferença de peso entre o material coletado e o mesmo após secagem em estufa a 60°C – 65°C até peso constante (Andrade, 2006). A frequência de medição foi semanal, nos primeiros sessenta dias, e foi medida novamente aos 120 dias. Buscou-se manter a umidade entre 40% e 60%, conforme preconizam diversos autores. Desta forma as caixas foram irrigadas a fim de corrigir a umidade quando esta estivesse abaixo ou próxima de 40%. O Tratamento 2B – com revolvimento manual a céu aberto, além da irrigação, recebeu água da chuva; que no período foi de 383,10mm, conforme dados coletados pela estação 83967 do INMET, localizada a aproximadamente quatro quilômetros do local do experimento. Devido ao tempo mínimo de vinte e quatro horas necessário para se obter os valores de umidade, métodos expeditos como a observação visual e ao toque das mãos (método da esponja descrito por Brito, 2006) também foram utilizados para determinar o momento de irrigar.

### **3.3.3 Volume de lixiviados e chorume**

O volume de lixiviados e chorume produzido em cada caixa foi coletado e mensurado em um copo de Becker. Este foi recirculado nas caixas nos primeiro sessenta dias do experimento e após este período foi somente mensurado e descartado, a fim de evitar a recontaminação do material com microrganismos patogênicos. Tomou-se o cuidado de irrigar as caixas somente com o chorume proveniente da própria caixa, para não haver contaminação entre os materiais ou mesmo concentrar algum macro ou micro nutriente.

### **3.3.4 Volume do composto**

A redução da altura do composto foi medida com fita métrica em três diferentes pontos por caixa, e com a média entre os três pontos, calculada a redução do volume do composto, uma vez que as caixas d'água são de volume conhecido. A redução da altura do composto foi medida semanalmente nos primeiros dois meses, e mais cinco vezes até a finalização do experimento.

### **3.3.5 pH**

O pH em água foi medido com pHmetro de bancada marca Digimed modelo DM 22, conforme metodologia descrita por Andrade, 2006. Este parâmetro foi medido diariamente na primeira semana, semanalmente nos sessenta dias subsequentes e ao final do experimento.

### **3.3.6 Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica foi medida em extrato 1:10 (m/v), conforme metodologia descrita por Andrade, 2006, com condutivímetro de bancada marca Digimed modelo DM – 3. A condutividade elétrica foi medida semanalmente nos primeiros sessenta dias e ao final do experimento.

### **3.3.7 Capacidade de retenção de água**

A capacidade de retenção de água foi determinada pela diferença de peso entre amostras de composto saturadas e após secagem em estufa a 60°C – 65°C até peso constante. A capacidade de retenção de água foi determinada no início do experimento, aos 60 dias e aos 120 dias.

### **3.3.8 Macro e micronutrientes**

Foram determinados pelo Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, conforme metodologia descrita por Tedesco (Tedesco, 1995). As determinações foram feitas no início do experimento, aos 60 e aos 120 dias.

### **3.3.9 Microrganismos patogênicos**

A presença de coliformes totais e *Escherichia coli* foi determinada utilizando-se o kit comercial COLIteste, que está em conformidade com a Norma Técnica L5.240 (CETESB, 1991).

### **3.3.10 Presença de insetos e odores**

Durante o experimento foi observada de forma expedita a presença ou ausência de insetos no material compostado e se o mesmo estava emitindo

odores desagradáveis. A frequência desta observação acompanhou a medição da temperatura.

### **3.4 Análise Estatística**

Foi realizada a análise de variância para os seguintes parâmetros: volume de lixiviados e chorume, redução do volume do composto, capacidade de retenção de água, pH, condutividade elétrica. Para isto foi utilizado o programa Sisvar. Para a comparação entre os tratamentos utilizou-se o teste de Tukey a 5%, e para a comparação ao longo do tempo Scott-Knott a 5%.

**Tabela 2.** Frequência de aeração e revolvimento dos diferentes tratamentos

		DIAS DO EXPERIMENTO																											
		1	2	3	4	5	7	8	14	16	20	23	28	30	34	37	41	44	49	60	86	94	102	108	111	113	115	120	
TRATAMENTO	T1	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x
	T2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	T3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	T4	x	10'	5'	1'	1'	1'	1'	1'	2'	2'	2'	2,5'	2,5'	2'	2'	2'	2'	2'	x	2'	2'	2'	2'	2'	2'	2'	2'	x
	T5	x	10'	10'	10'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	x	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	30'	x

(-) sem revolvimento (x) revolvimento manual com garfo (T4) tempo de revolvimento mecânico em minutos (T5) tempo de aeração com insuflamento de ar em minutos

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes formas de revolvimento aplicadas ao composto durante o processo de compostagem resultaram em diferenças que puderam ser constatadas durante o processo e ao final dos 120 dias. Maiores diferenças puderam ser observadas nos parâmetros temperatura, volume de lixiviados e chorume, e redução do volume do composto.

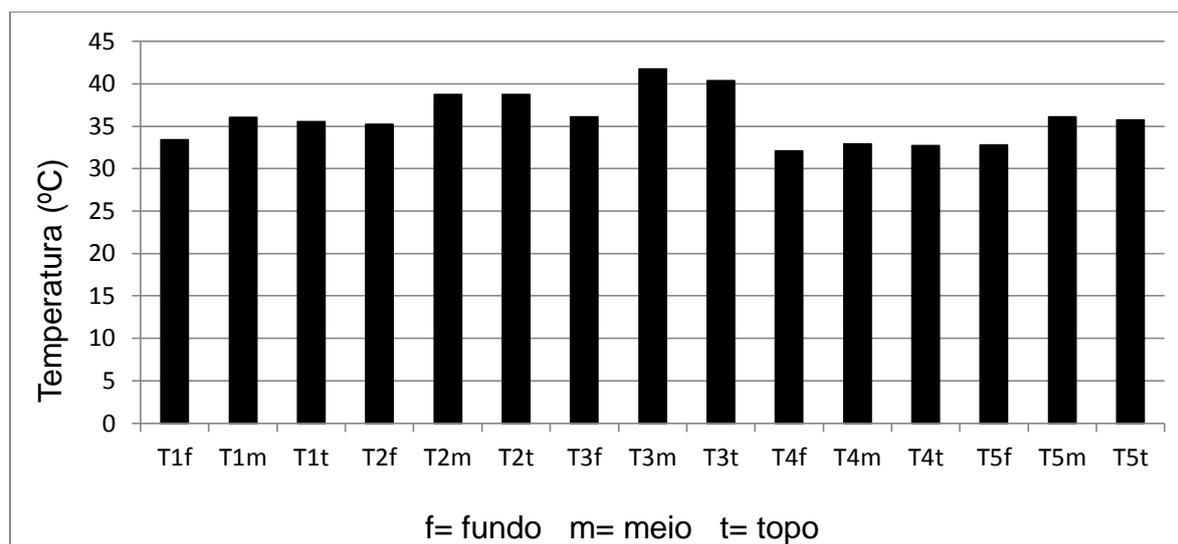
### 4.1 Temperatura

Houve diferença de temperatura do composto entre o fundo, o meio e o topo do tanque ou caixa somente durante a fase termofílica do processo. Temperaturas mais altas foram obtidas no centro e no topo da caixa, e temperaturas mais baixas foram obtidas no fundo da caixa onde o composto apresentava maior umidade (Figura 5). A temperatura, em qualquer sistema de compostagem, é raramente uniforme em toda a massa de compostagem. O centro da massa tende a ser mais quente e as bordas externas mais frias (Epstein, 1997).

Foi observada uma fase inicial termofílica com temperatura entre 45°C a 70°C (Epstein, 1997; Pereira Neto, 2007), uma fase mesofílica com temperatura na faixa de 30°C a 45°C e uma fase de maturação com temperatura do composto inferior a 30°C. A duração de cada fase foi diferente de acordo com o tratamento (Figura 6). Diferentemente do observado nos trabalhos de Bidone (2001) e Coelho (2007) a fase mesofílica inicial foi observada somente no primeiro dia do experimento. O tratamento T1, sem revolvimento (testemunha), atingiu temperaturas termofílicas até o sexto dia, temperaturas mesofílicas entre o sétimo e o vigésimo terceiro dia, e temperaturas de maturação no restante do período.

O tratamento T2, com revolvimento manual com cobertura, atingiu temperaturas termofílicas até o vigésimo terceiro dia, mas dentro deste período foram observados alguns dias com temperatura mesofílica. Isto pode ter ocorrido devido ao revolvimento, que esfria a massa em compostagem. A aeração tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e

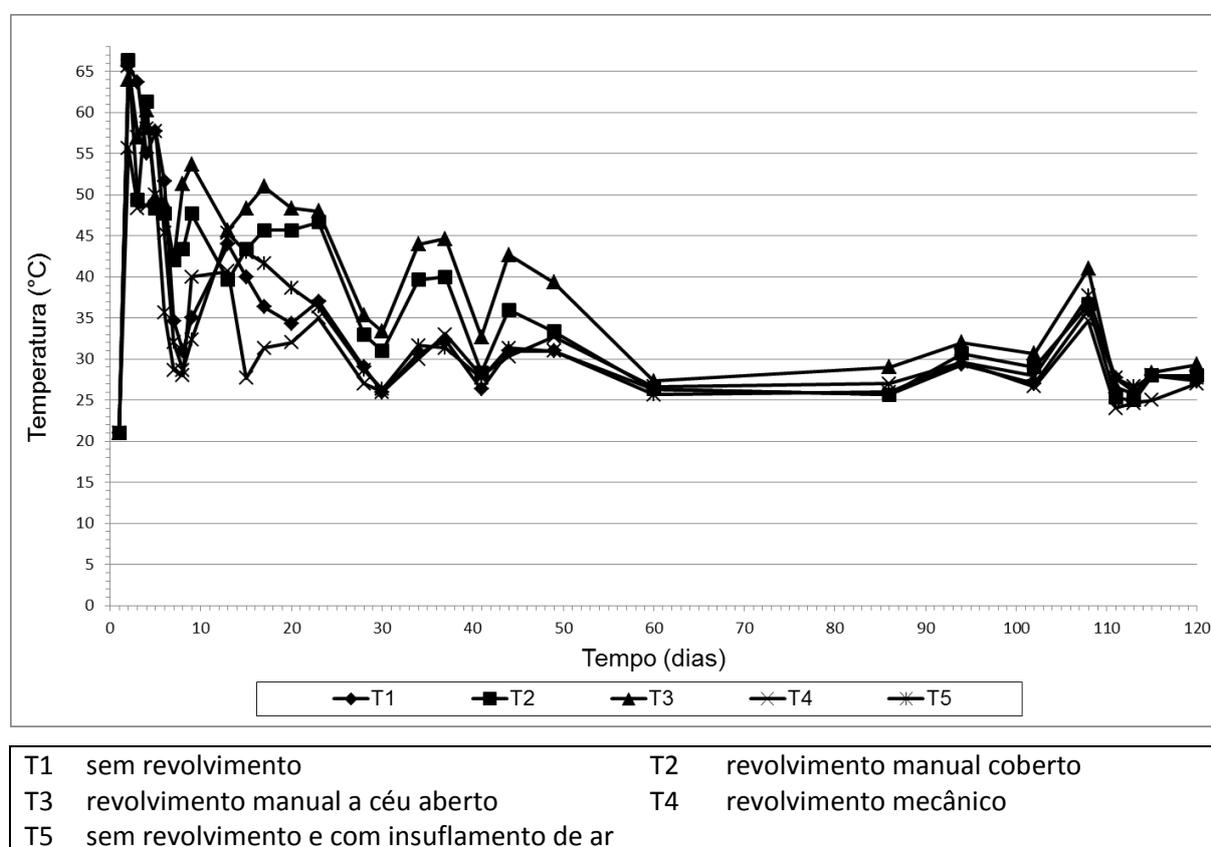
atuar como agente de controle da temperatura (Pereira Neto, 2007). Mas, o fator determinante para a redução da temperatura foi à falta de umidade, que por vezes estava muito próxima ou abaixo do limite de atividade dos microrganismos (Figura 7) neste tratamento. O processo de compostagem fica inibido a conteúdos de umidade abaixo de 40%. Apesar da atividade microbiana continuar a esses níveis, esta se torna baixa e insuficiente para manter a atividade termofílica que move a compostagem (Inácio, 2009). Temperaturas mesofílicas ocorreram até o quadragésimo nono dia, e temperaturas de maturação, abaixo de 30°C, no restante do período.



**Figura 5.** Temperatura do composto em diferentes profundidades nos diferentes tratamentos (média dos trinta dias observados)

O tratamento T4, com revolvimento mecânico, atingiu temperaturas termofílicas até o quinto dia, temperaturas mesofílicas entre o sexto e o vigésimo terceiro dia, e temperaturas de maturação no restante do período. Durante a fase mesofílica ocorreram dias com temperaturas abaixo de 30°C, assim como na fase de maturação ocorreram temperaturas ligeiramente acima de 30°C aos 36 e aos 49 dias. Durante este período o composto se manteve sempre com umidade próxima a ideal. O processo de revolvimento mecânico da leira resfriou o composto, entretanto este não é o único fator para o tratamento com revolvimento mecânico ter apresentado um período tão curto de temperaturas termofílicas e mesofílicas se for levado em consideração que a princípio, não houve falta de O<sub>2</sub> ou água para os microrganismos. Quanto maior a massa ou volume de compostagem, maior a temperatura gerada e maior a temperatura potencial no centro da massa de compostagem (Epstein, 1997). Bidone (2001) também refere que a temperatura

pode ser controlada com o abaixamento da altura das leiras e que o revolvimento por si só não evita que após seis a doze horas do mesmo haja a recuperação do calor. O experimento foi realizado com um pequeno volume de composto (0,379m<sup>3</sup>), e neste tratamento aos vinte e dois dias o composto já havia reduzido seu volume para 62% do volume inicial. Conforme Brito (2006), a temperatura deve alcançar os 40 a 50 °C em dois ou três dias e quanto mais depressa o material for decomposto mais cedo a temperatura começará a diminuir. Assim, a curta fase termofílica e a grande diminuição do volume do composto indicam que a compostagem deste tratamento ocorreu de forma acelerada, podendo-se comparar este tratamento aos sistemas de compostagem em reatores. Fernandes (2009), comparando a fase termofílica em três diferentes tecnologias de compostagem, obteve para o reator biológico uma fase termofílica de somente oito dias, enquanto que em leiras revolvidas esta fase foi de noventa dias.



**Figura 6.** Variação da temperatura nos diferentes tratamentos ao longo do experimento (média de três repetições no centro da caixa).

O tratamento T5, com insuflamento de ar e sem revolvimento, apresentou uma curva de temperatura muito semelhante ao tratamento T1: temperaturas termofílicas (acima de 45°C) por seis dias, temperaturas mesofílicas (entre 30°C e

45°C) entre o sétimo e o vigésimo terceiro dia, e temperaturas de maturação (abaixo de 30°C) no restante do período.

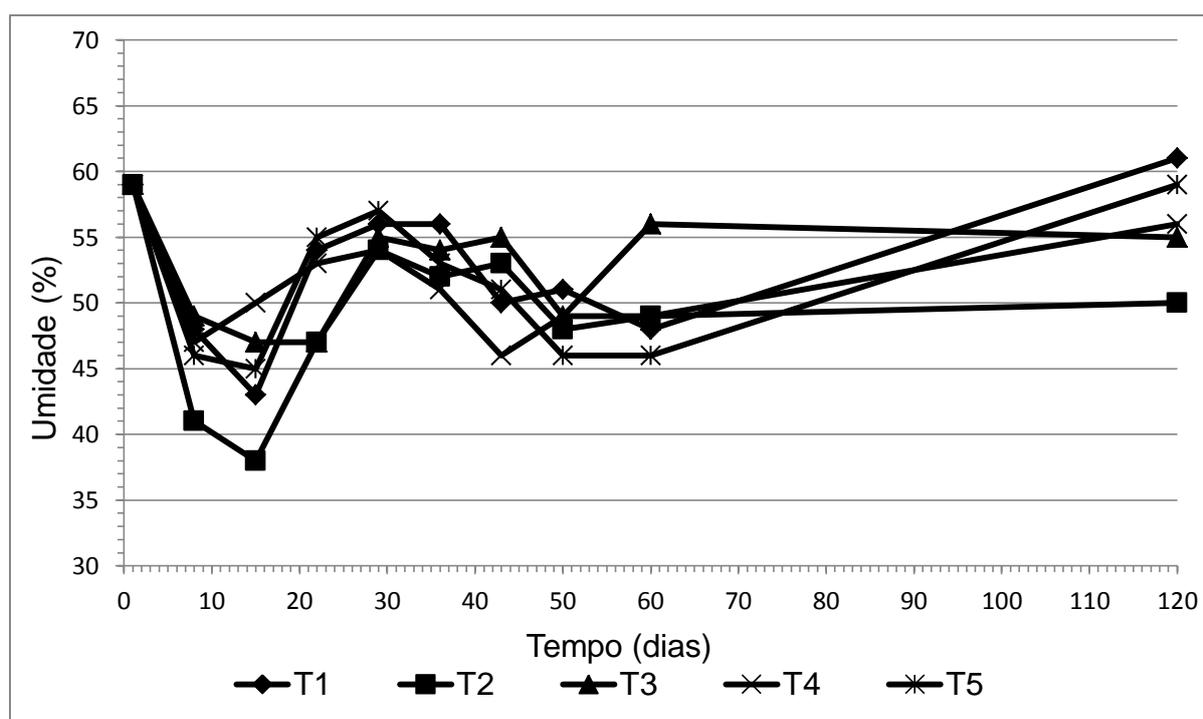
Comparando o tratamento T2, com revolvimento manual com cobertura das caixas, com o tratamento T3, com revolvimento manual a céu aberto, é possível constatar que eles apresentam curva de temperatura muito semelhante, porém temperaturas mais altas foram atingidas pelo tratamento a céu aberto. O tratamento T3 atingiu temperaturas termofílicas por um período de trinta e sete dias, e temperaturas mesofílicas entre os dias trinta e sete e quarenta e nove. O tratamento T3 sempre esteve mais úmido que o tratamento T2, indicando que este pode ter sido o fator responsável pelas temperaturas mais altas observadas no tratamento T3. Foi constatada umidade abaixo de 40% em duas ocasiões em uma das repetições do tratamento T2. Epstein (1997) afirma que, enquanto a umidade estiver entre 45% e 55%, esta não será um fator limitante. Entretanto, este mesmo autor afirma que, em um trabalho de compostagem de lixo urbano, valores mais altos de temperatura foram obtidos com umidade entre 55% e 69%, valores mais baixos com umidade entre 72% e 77% e valores intermediários entre 40% e 53%. Esta afirmação corrobora com os resultados encontrados entre o tratamento T2 e T3, quanto à interação temperatura e umidade. Bidone (2001) recomenda que materiais fibrosos devam iniciar a compostagem com umidade em torno de 60%.

A fase termofílica para todos os tratamentos com cobertura das caixas foi bastante curta. Epstein (1997) em seus trabalhos comparando a compostagem da combinação de diferentes materiais, tais como folhas, madeira, comida e papel, constatou que as temperaturas alcançadas foram mais baixas com restos de madeira, uma vez que este material tem menos carbono disponível para a atividade microbiana. Idealmente, a fase termofílica deve ser mantida por, pelo menos, um mês (Bidone, 2001).

Após a aplicação de ureia foi observado somente um dia (aos cento e oito dias) de temperatura mesofílica em todos os tratamentos e repetições, indicando que não havia mais carbono disponível para ser degradado. A fase mais ativa da compostagem está terminada quando, após o revolvimento da pilha, os valores de temperatura não aumentam significativamente, seguindo-se um período mais longo de amadurecimento do composto (Brito, 2006).

## 4.2 Umidade

A umidade do composto foi mantida na faixa ideal na maior parte do tempo durante a compostagem (Figura 7). Umidade inferior à recomendada, abaixo de 40%, foi observada somente no tratamento T2 aos quinze dias do experimento. Para suprir a perda de água pelo composto devido ao aquecimento das leiras, as caixas foram irrigadas com igual quantidade de água no primeiro mês do processo, totalizando 49 litros. Esta irrigação foi distribuída nos seguintes dias: no primeiro dia - 5 litros; no quinto dia - 2 litros; no sétimo dia - 4 litros; no oitavo dia - 8 litros; no décimo terceiro dia - 9 litros; no décimo sétimo dia - 4 litros; no vigésimo dia - 4 litros; no vigésimo terceiro dia - 9 litros e no vigésimo oitavo dia - 4 litros.



T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

**Figura 7.** Umidade (%) do composto ao longo do experimento

Umidade acima do recomendado, acima de 60%, também foi observada no final do experimento. Era esperado que, interrompendo a irrigação do composto e mantendo os processos de aeração das caixas nos tratamentos de revolvimento manual, revolvimento mecânico e insuflamento de ar, o composto reduziria gradualmente a umidade até atingir os valores exigidos para sua comercialização conforme Instrução Normativa n.º 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da

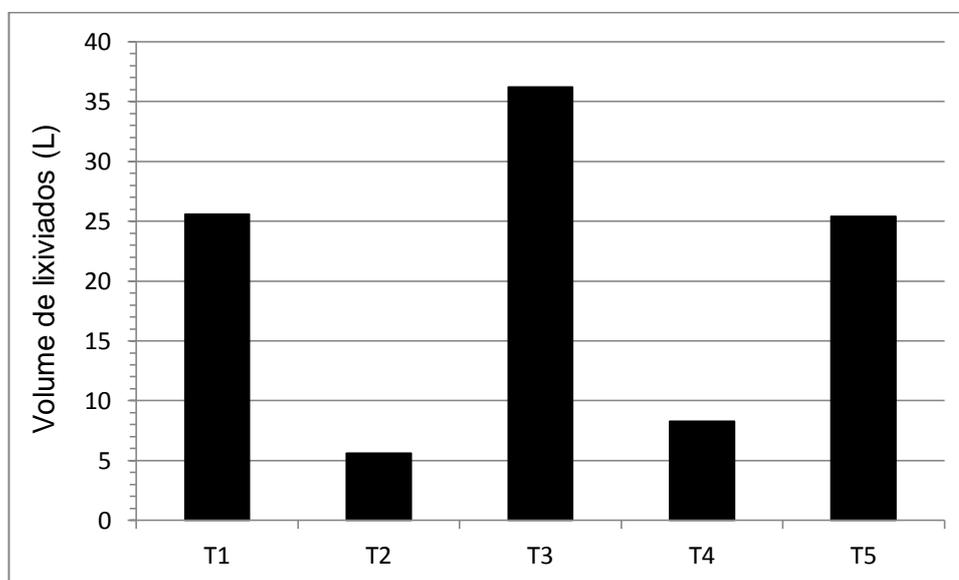
Agricultura Pecuária e Abastecimento: umidade máxima de 50%. Em seu trabalho Reis (2005) constatou que as leiras de compostagem de resíduos sólidos urbanos perderam em média 47, 71% da umidade inicial. O que pode explicar esta alta umidade do composto no final do processo foi à deformação ocorrida nas caixas, permitindo a entrada, mesmo que parcialmente, da água da chuva. Soma-se a isto o aumento da capacidade de retenção de água do composto entre o início e o final do processo.

A precipitação durante o período, conforme dados do INMET, foi de 383 mm, o que corresponde a uma irrigação de 351 litros de água da chuva no tratamento T3, revolvimento manual a céu aberto. Toda esta quantidade de água, igual a 400 litros – soma da precipitação com a irrigação, não resultou em umidade acima de 60%, pois o sistema de drenagem aliado ao revolvimento do composto manteve a umidade dentro da faixa adequada ao bom desenvolvimento dos microrganismos.

#### **4.3 Volume de lixiviados e chorume**

O somatório do volume de lixiviados e chorume produzidos nos primeiros sessenta dias do experimento teve valor mínimo de 5,6 litros para o tratamento T2 (revolvimento manual com cobertura), seguido pelo tratamento T4 (revolvimento mecânico) que gerou 8,3 litros, e valores máximos de 25,4 e 25,6 litros para os tratamentos T5 (sem revolvimento e com insuflamento de ar) e T1 (sem revolvimento) respectivamente (Figura 8). Neste período as caixas de compostagem foram irrigadas com 49 litros de água. Esta grande diferença entre os tratamentos pode ser explicada pela falta de revolvimento das leiras nos tratamentos T1 e T5, tratamento sem revolvimento e tratamento sem revolvimento e com insuflamento de ar. Segundo Kiehl (2012) a irrigação do composto para reposição de água só deve ser efetuada juntamente com a operação de revolvimento e com a água aplicada na forma de chuveiro fino. Dessa maneira, consegue-se distribuir água de modo uniforme por toda a massa da leira de composto. A água aplicada na forma de jato e sem revolvimento caminhará por canais preferenciais, escorrerá pela base da pilha como chorume e a maior parte do composto continuará tão seco como antes da irrigação. O volume de lixiviados e chorume gerado pelo tratamento com revolvimento manual a céu aberto (36,6 litros) foi seis vezes maior do que o volume gerado pelo tratamento com cobertura (5,6 litros). Durante este período a precipitação foi de 166,6 mm o que equivale a 127 litros a mais, recebido pelo tratamento T3, com revolvimento manual a céu aberto.

O conhecimento do volume de lixiviados e chorume gerados no processo de compostagem é importante para a escolha e dimensionamento dos sistemas de tratamentos destes lixiviados. Sistemas de compostagem sem revolvimento ou com revolvimentos pouco frequentes geram maior volume de lixiviados assim como sistemas de compostagem a céu aberto, exigindo sistemas de tratamentos de maiores dimensões.



T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

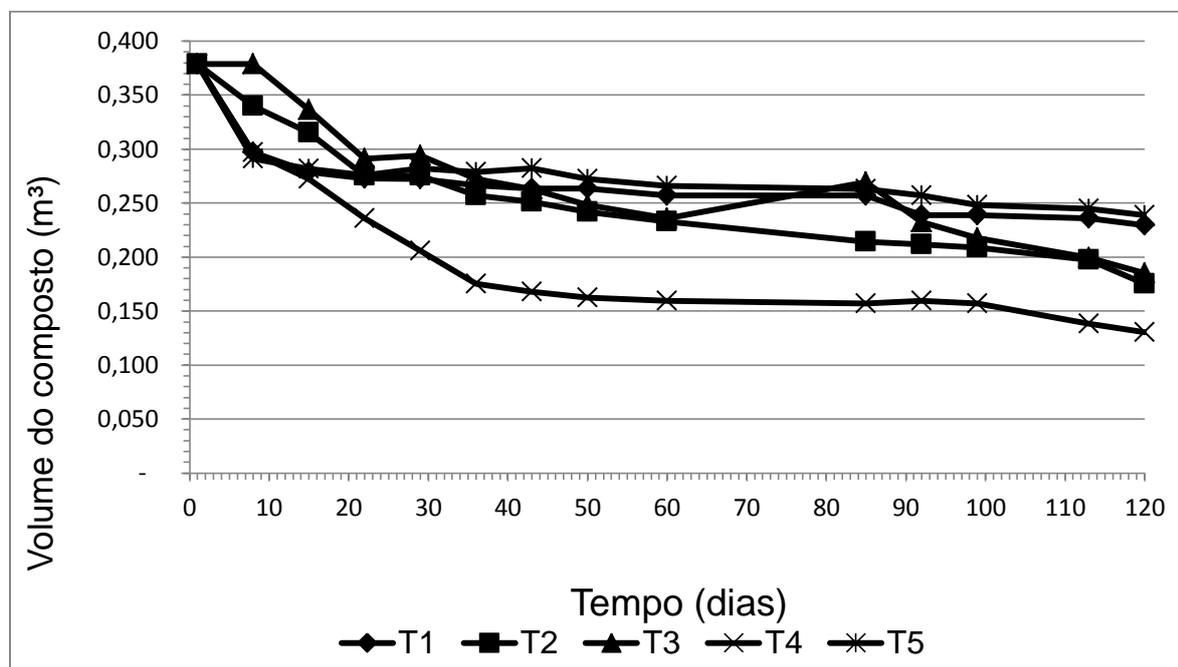
**Figura 8.** Somatório do volume de lixiviados e chorume, em litros, aos sessenta dias nos diferentes tratamentos.

#### 4.4 Redução de volume do composto

O volume do composto reduziu ao longo do processo de compostagem (Figura 9). Durante a compostagem metade ou mais da metade do volume da pilha será perdido com a decomposição dos materiais (Brito, 2006). Os tratamentos T1, sem revolvimento, e T5, com insuflamento de ar, tiveram curvas de redução do volume do composto muito semelhantes, não havendo diferença entre estes dois tratamentos pelo teste de Tukey a 5%. Nestes tratamentos houve, ao final do processo, uma redução em torno de 40% do volume inicial.

O tratamento T2, revolvimento manual, teve uma redução de 54% do volume inicial ao final do experimento. A curva de redução de volume deste tratamento foi semelhante a do tratamento T3, revolvimento manual a céu aberto. Houve diferença entre estes tratamentos somente em três dos quatorze dias observados. No

tratamento T3, aos oitenta e cinco dias, ocorreu um aumento do volume do composto, devido ao aumento da umidade decorrente da precipitação do período. Coelho (2007) encontrou valores semelhantes em seu trabalho, com uma redução maior de volume nas pilhas reviradas quando comparado às pilhas ventiladas: no final do ensaio, o volume das pilhas reduziu-se em mais de metade, verificando-se uma redução de 55,2 % e 56,1 % do volume das pilhas ventilada e revirada respectivamente.



T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

**Figura 9.** Redução do volume do composto (média das repetições) nos diferentes tratamentos.

A maior redução de volume ocorreu com o tratamento T4, revolvimento mecânico, sendo este tratamento sempre diferente dos demais pelo teste de Tukey a 5%. Aos sessenta dias o volume foi reduzido para 42% do volume inicial ( $0,160\text{m}^3$ ), e aos cento e vinte dias para 34% do volume inicial ( $0,130\text{m}^3$ ), o que corresponde a uma redução de 66%. O revolvimento do composto, além das funções de aeração e dissipação da temperatura, exerce a ação física de quebra das partículas (Pereira Neto, 2007). Esta quebra de partículas favorece a ação dos microrganismos acelerando o processo de compostagem. É possível, levando-se em consideração a redução do volume do composto neste tratamento e a reduzida fase de degradação ativa – fases termofílicas e mesofílicas, onde as temperaturas

são superiores a 30°C, que tenha ocorrido um processo acelerado de compostagem, semelhante aos que ocorrem em reatores, onde a fase de degradação ativa pode ocorrer em apenas 30 dias (Pereira Neto, 2007; Inácio, 2009). Comparando a variação de volume dentro do fator tempo, observa-se também que o volume reduziu sensivelmente até o dia 36, estabilizou entre os dias 36 e 99 e voltou a reduzir nas medições dos dias 113 e 120.

#### 4.5 Capacidade de retenção de água

Não houve diferença entre tratamentos quanto à capacidade de retenção de água. Entretanto, houve diferença dentro do tempo em todos os tratamentos entre o dia 60 e o 120 (Tabela 3). O mesmo ocorreu quando comparado o tratamento com revolvimento manual coberto com o revolvimento manual a céu aberto. A capacidade de retenção de água foi de duas a duas vezes e meia maior entre o início e o final do experimento, semelhante com o observado por Kiehl (2012): uma vez produzido o composto humificado, sua capacidade de retenção de água estará praticamente duplicada, passando, por exemplo, de 80%, como a encontrada no lixo bruto, para 160% no lixo curado.

**Tabela 3.** Capacidade de retenção de água do composto nos diferentes tratamentos – Umidade % (m/m).

DIA	1		60		120	
T1	85	aA	123	aB	206	aC
T2	85	aA	129	aB	174	aC
T3	85	aA	111	aA	202	aB
T4	85	aA	108	aA	220	aB
T5	85	aA	127	aB	186	aC

T1	sem revolvimento
T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto
T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar

O aumento da capacidade de retenção de água é explicado pela diminuição do tamanho de partícula do composto à medida que a compostagem avança. Nos solos, a textura é o principal fator que afeta a retenção de água no solo. Quanto menores forem as partículas, menores serão os poros entre estas, e desta forma maior será a retenção de água no solos (Klein, 2012). Entretanto, o que ocorre neste caso, é o aumento da área superficial específica da matéria orgânica à

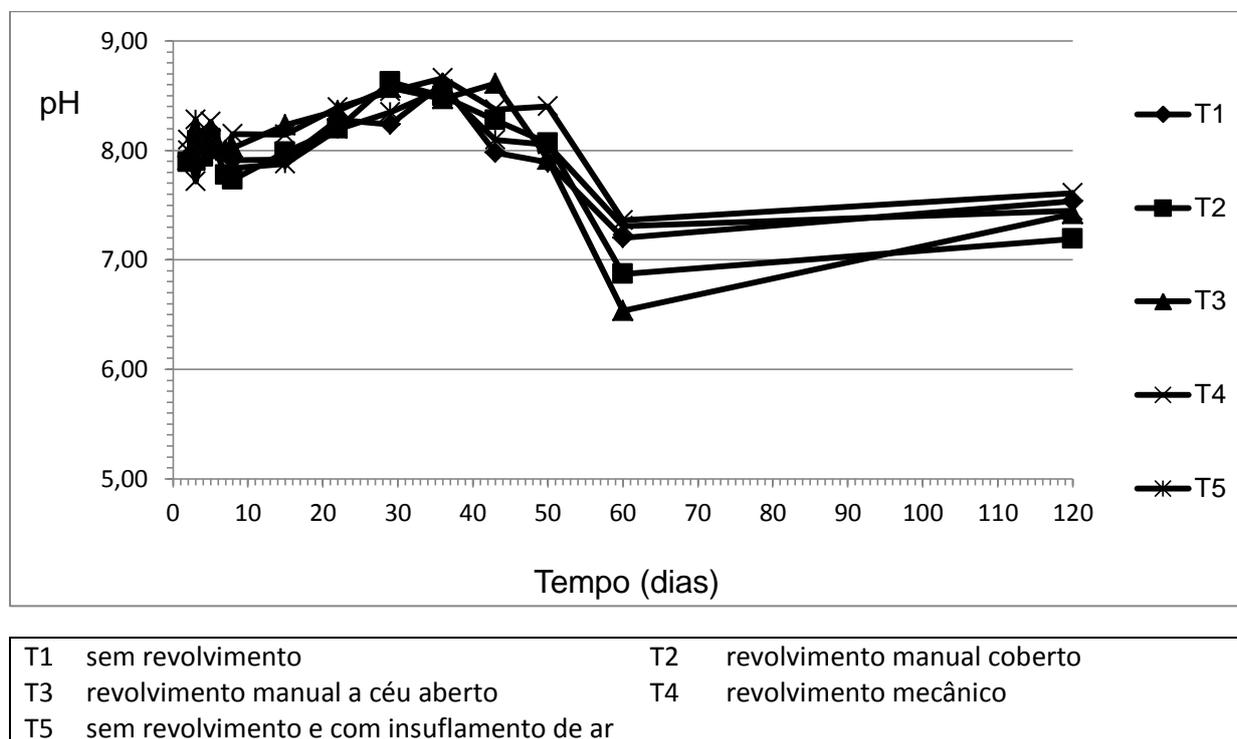
medida que esta vai se decompondo e formando estruturas mais complexas (Rawls, 2003). Embora previsto na legislação brasileira, o parâmetro capacidade de retenção de água, ainda não está regulamentado quanto ao método de determinação e a escala de interpretação de seus valores (Kiehl, 2012).

#### 4.6 pH

As diferentes formas de aeração do sistema não resultaram em diferenças significativas nos valores de pH observados ao longo do processo de compostagem. Entretanto, foram observadas diferenças nos valores de pH ao longo do tempo (Figura 10). O material a ser compostado iniciou o processo com o pH igual a 7,7 e atingiu valores máximos de pH (média entre os tratamentos igual a 8,6) entre os dias 29 e 36. Os menores valores de pH ocorreram para todos os tratamentos aos 60 dias, voltando a subir novamente no final do processo aos 120 dias (média entre os tratamentos igual a 7,5). Os valores de pH aos 120 dias estão, para todos os tratamentos, em conformidade com o exigido pela Instrução Normativa n.º 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Dados semelhantes foram observados por Avnimelech (1996) e Heck (2013). No trabalho de Avnimelech (1996) o pH do composto no início do processo era baixo (6,2), subiu para a neutralidade (7,5) aos 35 dias, manteve-se constante por um período e teve ligeira queda no final do processo. Heck (2013) por sua vez, observou os menores valores de pH no início do processo (6,7 e 6,9), atingiu o valor máximo de 8,37 e retornando a pH igual a 7,5 no estágio de maturação do composto. Também não foram observadas diferenças entre os tratamentos com revolvimento manual coberto e a céu aberto. Os maiores valores de pH foram observados aos 29 (T2) e 42 (T3) dias; e os menores valores aos 60 dias, atingindo valores de pH neutro aos 120 dias.

Avnimelech (1996) sugere em seu trabalho que a estabilidade do composto possa ser determinada através da medida de pH, quando esta atingir valores neutros e constantes. No caso da mistura de restos de poda e esterco suíno, este não é um parâmetro seguro, uma vez que o processo iniciou com valores de pH neutros. Entretanto o aumento do pH durante o processo e sua ligeira queda no final pode ser explicado pelas transformações do nitrogênio ao longo do processo. Segundo Kiehl (2012) cerca de 98% do nitrogênio da matéria orgânica está na forma orgânica. Pela compostagem o nitrogênio orgânico transforma-se em nitrogênio amídico e depois em nitrogênio amoniacal, conferindo à massa em

decomposição um pH mais elevado ainda pela reação alcalina característica da amônia ( $\text{NH}_3$ ). Bactérias nitrificadoras, como as do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, transformam este nitrogênio amoniacal em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e após em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), produto final da degradação do nitrogênio orgânico, reduzindo um pouco o valor do pH.



**Figura 10.** Variação do pH nos diferentes tratamentos durante a compostagem

#### 4.7 Condutividade elétrica

Para o parâmetro condutividade elétrica, foram observadas diferenças entre os tratamentos nos dias 15 e 120 (Tabela 4). A diferença ao longo do tempo também não apresentou o padrão esperado, uma vez que a condutividade elétrica se manteve praticamente constante, com elevação em todos os tratamentos nos dias 15 e 120. Coelho (2007) em seu trabalho observou diferença entre tratamentos e ao longo do tempo; os materiais iniciaram a compostagem com valores de CE próximos de  $1,5 \text{ dSm}^{-1}$  e terminaram com valores de  $0,41 \text{ dSm}^{-1}$  para a pilha ventilada e  $0,30 \text{ dSm}^{-1}$  para a pilha revirada. Avnimelech (1996), avaliando a condutividade elétrica da compostagem de lixo urbano por um período de setenta dias encontrou valores iniciais de  $7,5 \text{ dSm}^{-1}$  e valores constantes e estáveis a partir do trigésimo quinto dia de  $4 \text{ dSm}^{-1}$ .

Era esperado que houvesse uma redução da condutividade elétrica entre os dias oito e sessenta, mas esta se manteve constante, com pequenas variações entre os tratamentos, mas sem um padrão definido. A manutenção da condutividade elétrica constante ao longo do tempo talvez possa ser atribuída à recirculação do chorume nas caixas de compostagem nos primeiros sessenta dias, evitando desta forma a lixiviação dos cátions e ânions, que permaneceram dentro do sistema. Avnimelech (1996) contrariamente a esta suposição, observou uma redução nos valores de condutividade elétrica, mesmo não havendo produção de chorume durante o processo de compostagem. Já o aumento na condutividade elétrica ocorrido em todos os tratamentos entre os dias sessenta e cento e vinte foi provavelmente devido à aplicação de ureia aos cento e cinco dias do experimento, aumentando desta forma a quantidade de íons no sistema.

**Tabela 4.** Valores de condutividade elétrica ( $\text{dSm}^{-1}$ ) observados nos diferentes tratamentos durante a compostagem

TRAT	DIAS																																			
	8	15	22	29	36	43	50	60	120	8	15	22	29	36	43	50	60	120																		
T1	2,89	aA	3,39	abB	2,63	aA	2,84	aA	2,67	aA	2,74	bA	3,30	bcB	2,56	aA	3,21	aB	2,89	aA	3,39	abB	2,63	aA	2,84	aA	2,67	aA	2,74	bA	3,30	bcB	2,56	aA	3,21	aB
T2	3,10	aB	3,95	bC	2,36	aA	2,56	aB	2,74	aB	1,96	aA	2,60	aB	2,47	aB	3,95	bC	3,10	aB	3,95	bC	2,36	aA	2,56	aB	2,74	aB	1,96	aA	2,60	aB	2,47	aB	3,95	bC
T3	3,19	aB	3,40	aB	2,79	aA	2,62	aA	2,39	aA	2,31	aA	3,27	bB	2,19	aA	2,11	aA	3,19	aB	3,40	aB	2,79	aA	2,62	aA	2,39	aA	2,31	aA	3,27	bB	2,19	aA	2,11	aA
T4	2,75	aA	3,00	aB	2,32	aA	2,39	aA	2,69	aA	3,18	bB	2,84	abA	2,63	aA	3,48	abB	2,75	aA	3,00	aB	2,32	aA	2,39	aA	2,69	aA	3,18	bB	2,84	abA	2,63	aA	3,48	abB
T5	2,85	aA	3,59	abB	2,49	aA	2,70	aA	2,88	aA	3,08	bA	3,62	cB	2,74	aA	3,49	abB	2,85	aA	3,59	abB	2,49	aA	2,70	aA	2,88	aA	3,08	bA	3,62	cB	2,74	aA	3,49	abB

T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

Foram observadas diferenças entre os tratamentos com revolvimento manual coberto e revolvimento manual a céu aberto (T2 e T3) nos dias 50 e 120. A diferença aos 120 dias é provavelmente devida à lixiviação de íons ocorrida no tratamento a céu aberto, uma vez que entre os dias sessenta e cento e vinte passaram pelo tratamento a céu aberto 244 litros de água da chuva, levando a água os íons em solução. Quanto à variação da condutividade elétrica ao longo do tempo, semelhantemente ao ocorrido nos demais tratamentos, esta não apresentou o padrão esperado, mantendo-se praticamente constante ao longo do processo.

#### 4.8 Macro e micronutrientes

As diferentes formas de aeração do sistema não resultaram em diferenças nas quantidades de macronutrientes no composto. Houve uma diminuição dos valores de carbono e uma concentração dos demais nutrientes no decorrer do

processo (Tabela 5). Durante a compostagem metade ou mais de metade do volume da pilha será reduzido com a decomposição dos materiais. Esta diminuição de peso e volume resulta num aumento da concentração de nutrientes. O carbono é perdido mais rapidamente que o nitrogênio e, por isso, a relação C:N diminui durante a compostagem (Brito, 2006). A relação C:N iniciou em 29:1, atingiu valores de 18:1 aos sessenta dias e 15:1 aos cento e vinte dias. Aos sessenta dias, segundo Kiehl (2012), o composto já havia atingido valores indicativos de semicura ou bioestabilização (relação C:N em torno de 18:1) e valores exigidos pela Instrução Normativa n.º 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (relação C:N máxima de 20:1).

**Tabela 5.** Concentração de macronutrientes nos diferentes tratamentos durante a compostagem.

Tratamento	T1			T2			T3			T4			T5			
	Dias	1	60	120	1	60	120	1	60	120	1	60	12	1	60	120
<b>Nutrientes</b>																
Carbono (%)	41	39	38	41	40	39	41	39	38	41	39	36	41	39	38	
Nitrogênio (%)	1,4	2,1	2,5	1,4	2,2	2,5	1,4	2,3	2,8	1,4	2,0	2,6	1,4	2,2	2,4	
C/N	29	18	15	29	18	16	29	17	14	29	19	14	29	18	16	
Fósforo (%)	0,33	0,42	0,49	0,33	0,38	0,46	0,33	0,46	0,61	0,33	0,39	0,51	0,33	0,41	0,56	
Potássio (%)	0,81	1,05	1,13	0,81	1,00	1,20	0,81	1,17	0,62	0,81	1,00	1,20	0,81	1,10	1,20	
Cálcio (%)	2,2	2,9	3,2	2,2	2,8	3,2	2,2	3,1	3,7	2,2	2,8	3,4	2,2	2,8	3,2	
Magnésio (%)	0,18	0,31	0,33	0,18	0,29	0,34	0,18	0,35	0,36	0,18	0,30	0,35	0,18	0,31	0,35	
Enxofre (%)	0,16	0,21	0,24	0,16	0,19	0,24	0,16	0,24	0,29	0,16	0,21	0,28	0,16	0,22	0,25	

T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

A adição de nitrogênio na forma de ureia aos 105 dias pode ter elevado a concentração de nitrogênio, “mascarando” os resultados obtidos para a relação C:N aos 120 dias. Entretanto, o nitrogênio em excesso pode perder-se por volatilização na forma de amônia ou por lixiviação de nitrogênio nítrico (Brito, 2006). Coelho (2007) também não observou diferenças entre os tratamentos, pilha ventilada e pilha revirada, quanto à concentração de nitrogênio ao final do processo. Entretanto, este mesmo autor observou aumento da concentração de nutrientes, somente para os macronutrientes fósforo e cálcio. O aumento da concentração dos macronutrientes nos tratamentos T1, T2, T4 e T5 pode ter sido potencializado pela irrigação das leiras com o lixiviado e chorume nos primeiros sessenta dias. Quando se compara os resultados obtidos para os macronutrientes para os tratamentos T2 e

T3 verifica-se um decréscimo da concentração de potássio no tratamento T3 aos 120 dias, endossando a afirmação anterior de que os lixiviados carregam consigo os nutrientes presentes no composto, principalmente o potássio, que semelhantemente ao que ocorre nos solos, é um cátion extremamente móvel devido ao seu tamanho.

Semelhantemente ao ocorrido para os macronutrientes, houve um aumento da concentração de micronutrientes ao longo do processo (Tabela 6). Primo (2010) também se observou um aumento da concentração de micronutrientes, tanto durante o processo da compostagem (60 dias) quanto no composto obtido (120 dias). O aumento da concentração de micronutrientes foi maior no tratamento T4, principalmente para os elementos Zn, Fe e Mn. Esta capacidade maior em reter os microelementos pode estar associada a este tratamento apresentar valores de pH mais básicos que os demais tratamentos ao longo de quase todo o processo e apresentar também uma maior capacidade de retenção de água. O parâmetro capacidade de retenção de água está associado ao tamanho das partículas: maiores capacidades de retenção de água são obtidas em compostos com partículas de menores tamanhos, que juntamente com a água são capazes de reter micronutrientes. Outro fator que pode explicar a maior capacidade de retenção de micronutrientes pelo tratamento T4 é o fato de este tratamento ter atingido uma fase de bioestabilização antes dos demais tratamentos, já aos trinta dias, quando o volume do mesmo foi reduzido para 45% do volume inicial. A fase de degradação ativa demanda cerca de 30 dias em processos acelerados, e até 120 dias em processos artesanais. Já para a maturação, são necessários cerca de 30 a 50 dias adicionais (Pereira Neto, 2007). Esta aceleração do processo pode ter resultado em um composto com maiores quantidades de húmus, matéria orgânica capaz de quelar microelementos, e desta forma evitar a lixiviação destes elementos.

Comparando-se os resultados obtidos para os micronutrientes nos tratamentos T2 e T3 (Tabela 6) verifica-se um aumento na concentração de todos os elementos analisados, com exceção do sódio, que analogamente ao ocorrido com o potássio no tratamento T3 aos 120 dias, foi carregado para fora do sistema junto com os lixiviados, por ser um cátion ainda mais móvel que o potássio.

**Tabela 6.** Concentração de micronutrientes nos diferentes tratamentos durante a compostagem.

Tratamento	T1			T2			T3			T4			T5		
Dias	1	60	120	1	60	120	1	60	120	1	60	12	1	60	120
Nutrientes															
Cobre (mg/Kg)	9	13	14	9	12	14	9	13	17	9	16	20	9	16	15
Zinco (mg/Kg)	46	77	73	46	81	75	46	98	95	46	152	159	46	78	83
Ferro (%)	0,13	0,18	0,19	0,13	0,15	0,15	0,13	0,18	0,23	0,13	0,27	0,42	0,13	0,16	0,23
Manganês (mg/Kg)	58	88	87	58	88	95	58	98	117	58	90	118	58	81	109
Sódio (%)	0,17	0,24	0,24	0,17	0,21	0,23	0,17	0,24	0,11	0,17	0,20	0,24	0,17	0,26	0,25
Boro (mg/Kg)	28	23	32	28	24	32	28	27	33	28	23	36	28	23	33

T1	sem revolvimento	T2	revolvimento manual coberto
T3	revolvimento manual a céu aberto	T4	revolvimento mecânico
T5	sem revolvimento e com insuflamento de ar		

#### 4.9 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Foram encontrados coliformes totais e *Escherichia coli* no início do experimento em duas amostras compostas representativas das quinze caixas de compostagem. Aos sessenta dias foram encontrados coliformes totais em uma das repetições nos tratamentos T2 e T4; e coliformes totais e *Escherichia coli* em uma das repetições nos tratamentos T1 e T5. Não foram encontrados coliformes somente no tratamento T3 (Tabela 7). Nos tratamentos T1, sem revolvimento, e T5, com insuflamento de ar, a não eliminação dos coliformes totais e fecais aos sessenta dias pode ser entendida pela falta de reviramento do composto. O reviramento homogeniza a temperatura em toda a massa do composto, evitando locais com temperaturas mais baixas onde não se consegue eliminar os patógenos. Segundo Epstein (1997), temperaturas acima de 55°C devem ser mantidas por diversos dias se o material contiver patógenos. Em pilhas estáticas, o centro da massa deve atingir temperaturas acima de 55°C, a fim de assegurar que toda a massa atinja a temperatura requerida, uma vez que as extremidades atingem temperaturas inferiores ao centro.

O tratamento T4<sub>3</sub>, revolvimento mecânico, atingiu temperatura acima de 55°C por somente um dia em um ponto da leira, não tendo sido suficiente para a eliminação dos coliformes. Nas outras repetições deste mesmo tratamento, temperaturas acima de 55°C foram atingidas por pelo menos dois dias. Quanto ao tratamento T2<sub>2</sub>, este atingiu temperaturas acima de 55°C por três dias e o

revolvimento propiciou uma homogeneização da temperatura. Mesmo assim, foram encontrados coliformes totais no mesmo aos sessenta dias. Neste tratamento, assim como nos demais onde se encontrou coliformes, a não eliminação dos coliformes, também pode ter sido devida à utilização do chorume e lixiviados para irrigar as leiras nos primeiros sessenta dias. Em seu trabalho Symanski (2005) e Hoffmeister (2005) apontam a prática de rega das leiras com o chorume como uma das possíveis causas para a não eliminação total dos coliformes com a compostagem.

As caixas não foram irrigadas com o chorume após os sessenta dias do experimento, mas após esta fase, não ocorreram mais temperaturas termofílicas. É mais fácil atingir altas temperaturas necessárias para a desinfecção no início do processo, quando há disponível carbono de fácil decomposição para uma máxima atividade microbiana (Epstein, 1997).

**Tabela 7.** Presença de coliformes totais e *Escherichia coli*

DIA	1		60		120
T1 <sub>1</sub>	+	+	-	-	-
T1 <sub>2</sub>	+	+	+	+	+
T1 <sub>3</sub>	+	+	-	-	-
T2 <sub>1</sub>	+	+	-	-	-
T2 <sub>2</sub>	+	+	+	-	-
T2 <sub>3</sub>	+	+	-	-	-
T3 <sub>1</sub>	+	+	-	-	-
T3 <sub>2</sub>	+	+	-	-	-
T3 <sub>3</sub>	+	+	-	-	-
T4 <sub>1</sub>	+	+	-	-	-
T4 <sub>2</sub>	+	+	-	-	-
T4 <sub>3</sub>	+	+	+	-	+
T5 <sub>1</sub>	+	+	+	+	-
T5 <sub>2</sub>	+	+	-	-	-
T5 <sub>3</sub>	+	+	-	-	-

- ausência de coliformes totais
- + presença de coliformes totais
- + presença de *Escherichia coli*

Aos cento e vinte dias não foram encontrados coliformes fecais (*Escherichia coli*) em nenhum dos tratamentos, e foram encontrados coliformes totais nas mesmas repetições dos tratamentos T1 e T4. Pode-se afirmar então, que não houve contaminação entre as caixas, e que a eliminação de *Escherichia coli*, em T1<sub>2</sub> e T5<sub>1</sub> e a eliminação dos coliformes em T2<sub>2</sub> foram devidas a outros fatores que não somente temperatura. A queda no número de coliforme no material que está sendo compostado ocorre em virtude da ação de um conjunto de fatores como: altas temperaturas, presença de substâncias tóxicas, escassez de nutrientes entre outros (Symasni, 2005). Umidade abaixo de 30% - 25% e mecanismos como eliminação de antibióticos por alguns microrganismos, competição microbiana e antagonismos também podem ocorrer para a eliminação dos microrganismos patogênicos (Kiehl, 2012).

O tratamento T3, mesmo apresentando temperaturas acima de 55°C por somente dois dias e tendo sido irrigado com chorume, não apresentou coliformes totais aos sessenta dias. A diferença deste tratamento para os demais é que temperaturas termofílicas perduraram por trinta e sete dias. A ausência de coliformes em compostos maturados indica que, embora este grupo não seja considerado patogênico, o processo de compostagem foi bem conduzido (Kiehl, 2012).

#### **4.10 Presença de moscas e emanação de odores**

A emanação de odores desagradáveis foi observada de modo expedito somente nos primeiros cinco dias e aos cento e oito dias do experimento. Nos primeiros cinco dias esta foi decorrente da emanação de odores do esterco de porco que, por ser líquido, propiciou sítios de anaerobiose. A anaerobiose leva a produção de gás ácido sulfídrico, mercaptanas e outros produtos contendo enxofre, todos com cheiro de ovo podre (Kiehl, 2012). Por sua vez, a emanação de odores aos cento e oito dias, foi decorrente da emissão de amônia, devido à aplicação de ureia aos cento e cinco dias do experimento. Uma vez que aos sessenta dias do experimento, todos os tratamentos e repetições estavam com a relação C:N igual ou inferior a 21:1, houve perda do nitrogênio aplicado por volatilização na forma de amônia (Epstein, 1997; Kiehl, 2012). Os resíduos de poda triturados tinham um cheiro agradável do material que os originou: folhas e madeira verde. Não foi possível

distinguir diferenças de emissão de odores entre os tratamentos, uma vez que todos continham igual quantidade de esterco suíno e restos de podas triturados e estavam localizados muito próximos uns aos outros.

Da mesma forma que para a emissão de odores, não foi possível distinguir diferenças entre os tratamentos quanto à presença ou ausência de moscas (Tabela 9), com a observação visual das mesmas. A presença de moscas observada nos primeiros cinco dias e aos cento e oito dias do experimento, após a aplicação de nitrogênio sob a forma de ureia, é decorrência da emissão de odores. A mosca-fêmea, pronta para ovopositar, utiliza o olfato para dirigir-se a uma área adequada para receber seus ovos. Neste processo, ela é atraída por gases como o monóxido de carbono e amônia, além de outros gases oriundos da decomposição de matéria orgânica (Parra, 2000). Nos primeiros cinco dias a temperatura do composto atingiu temperaturas termofílicas. Segundo Epstein (1997), o aquecimento da matéria orgânica é consequência do metabolismo microbiano. Um aumento de temperatura indica um aumento da respiração microbiana, e com isso um aumento da eliminação de CO<sub>2</sub> e como resultado a atração de moscas nestes cinco primeiros dias.

A ausência de moscas ocorrida entre os dias seis a oito, foi decorrente da diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>, que pode ser inferida pela diminuição da temperatura, atingindo faixas mesofílicas em muitos dos tratamentos. Por sua vez, a diminuição da temperatura foi provavelmente decorrente da baixa umidade do composto. A irrigação realizada no oitavo dia propiciou novamente condições adequadas para um bom desenvolvimento dos microrganismos, o que pode ser deduzido pelo aumento da temperatura do composto nas caixas, e a atração das moscas adultas pelo composto novamente.

Inácio (2009) afirma que a manutenção de temperaturas termofílicas nas leiras garante a prevenção à proliferação de larvas de mosca, principalmente de *Musca domestica*; e que, ovos e larvas de mosca doméstica não sobrevivem em temperaturas acima de 46°C. Esta é a razão de não se observar moscas após o décimo quinto dia do experimento. Embora as moscas-fêmeas tenham sido atraídas pela emissão de gases para a realização da postura de seus ovos, estes ovos não vieram a se tornar indivíduos adultos, uma vez que o desenvolvimento de ovo a adulto pode ocorrer em cerca de cinco a dez dias nos meses mais quentes do ano (Parra, 2000).

## 5. CONCLUSÕES

A compostagem realizada nas condições experimentais deste trabalho e dos tratamentos utilizados demonstra que é possível reduzir o tempo de compostagem com leiras cobertas e com o controle da aeração e da umidade.

O tratamento que teve um menor tempo de compostagem foi o tratamento com revolvimento mecânico (T4), seguido dos tratamentos com revolvimento manual com cobertura (T2) e a céu aberto (T3), que não apresentaram diferenças significativas entre si. Isto pode ser observado pela duração da fase termofílica, que foi de cinco dias para o tratamento com revolvimento mecânico (T4) e de vinte e três dias e de trinta e sete dias para os tratamentos com revolvimento manual a céu aberto (T3) e com revolvimento manual com cobertura (T2) respectivamente. A redução da fase termofílica do tratamento com revolvimento mecânico (T4) é acompanhada por uma redução acelerada do volume do composto, atingindo aos vinte e dois dias 62% do volume inicial e aos cento e vinte dias 34% do volume inicial. Os tratamentos sem revolvimento (T1), e sem revolvimento e com insuflamento de ar (T5), embora tenham apresentado uma fase termofílica de apenas seis dias, esta não foi acompanhada por uma redução do volume do composto, indicando que o processo de compostagem estava ocorrendo de forma mais lenta pela falta de aeração do sistema. Também se conclui, comparando os tratamentos sem revolvimento, ou testemunha (T1) com o tratamento sem revolvimento e com insuflamento de ar (T5), que o sistema de insuflamento de ar utilizado não foi eficiente, pois estes tratamentos não apresentaram diferenças entre si quanto à duração da fase termofílica e a redução do volume do composto.

Os volumes de lixiviados produzidos pelos tratamentos sem revolvimento foram de três a cinco vezes maiores que aqueles produzidos nos tratamentos com revolvimento mecânico e manual, indicando que a falta de aeração exige um maior dimensionamento dos sistemas de tratamento de efluentes.

A capacidade de retenção de água aumenta à medida que avança o processo de compostagem, e no caso do resíduo de poda triturado e do esterco suíno, esta dobra entre o início e o final do processo aos cento e vinte dias, e não é influenciada pelos diferentes métodos de aeração empregados.

A condutividade elétrica não foi um indicador eficiente para determinar a estabilidade ou maturidade do composto, devido a não constatação de diferenças entre os tratamentos, mantendo-se praticamente constante durante o período.

As diferentes formas de aeração do sistema não resultam em diferenças nas quantidades de macronutrientes no composto. Ocorreu uma diminuição dos valores de carbono e uma concentração dos demais macronutrientes no decorrer do processo. Da mesma forma para os micronutrientes, ocorreu um aumento da concentração de micronutrientes ao longo do processo de compostagem. Entretanto, ocorreu diminuição de dois nutrientes no tratamento com revolvimento manual a céu aberto (T3) devido à lixiviação destes nutrientes pela passagem de maior volume de água pelos tanques decorrente da água da chuva. Desta forma pode-se recomendar a compostagem a céu aberto desde que o lixiviado seja recirculado nas leiras para não haver perda de nutrientes. Da mesma forma, após a maturação do composto, este não deve ser mantido a céu aberto para não haver perda de nutrientes.

A manutenção de temperaturas termofílicas por um período de trinta e sete dias foi suficiente para eliminar coliformes totais e *Escherichia coli*, mesmo tendo-se irrigado o composto com chorume e lixiviados por um período de sessenta dias. Outros fatores, que não temperaturas termofílicas e mesofílicas, foram responsáveis pela eliminação de coliformes fecais e *Escherichia coli* no período dos sessenta aos cento e vinte dias.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GONÇALVES, E. Estatística SMAM 2011 arborização e áreas verdes. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ruschel@smam.prefpoa.com.br> em 20 abr. 2012.
- REIS, M.F.P. Resíduos de poda DMLU. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ruschel@smam.prefpoa.com.br> em 11 jan. 2012.
- ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação**. 2004. (NBR 10004:2004). Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>> Acesso em: 18 abr. 2012.
- ANDRADE, J.C.; ABREU, M.F. **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. 178 p.
- AVNIMELECH, Y. et al. Stability indexes for municipal solid waste compost. **Compost Science and Utilization**, Emmaus, v. 4, n.2, p. 13-20, 1996.
- BARATTA JUNIOR, A.P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para a produção de mudas**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- BARREIRA, L.P. et al. Usinas de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 385-393, 2006.
- BERTOLDI, M. et al. The biology of composting: a review. **Waste Management and Research**, London, v. 1, p. 157-176, 1983.
- BIDONE, F. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216 p. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/643>> Acesso em: 10 mar. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 25 de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 jun. 2009, seção 1. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em: 22 jul. 2013.
- BRASIL. Ministério da agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 27 de 05 de julho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**,

Brasília, DF, 04 ago. 2006, seção1. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 22 jul. 2013.

BRITO, M.L. **Compostagem para a agricultura biológica**. In: MANUAL de agricultura biológica – Terras de Bouro. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 2006. Cap. 3, p. 119-138. Disponível em: <[http://www.actuar-acd.org/uploads/5/6/8/7/5687387/manual\\_ab\\_terras\\_bouro.pdf](http://www.actuar-acd.org/uploads/5/6/8/7/5687387/manual_ab_terras_bouro.pdf)> Acesso em: 21 abr. 2013.

BRUNI, V.C. **Avaliação do Processo Operacional de Compostagem Aerada de Lodo de Esgoto e Poda Vegetal em Reatores Fechados**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Paraná, 2005.

CABARABAN, M.T.I. et al. Aerobic in-vessel composting versus bioreactor landfilling using life cycle inventory models. **Clean Technologies and Environ Policy**, Berlin, v. 10, p. 39-52, 2008.

CETESB. **Norma Técnica L5. 240. Coliformes totais e fecais - Detecção em amostras de água através do teste de presença – ausência - Método de ensaio**. São Paulo, 1991. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>> Acesso em: 12 dez. 2012.

COELHO, L.I.G.D. **Compostagem de resíduos agroindustriais: monitorização do processo e avaliação da qualidade do composto**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Sustentável) – Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais, Universidade do Algarve, Faro, 2007. Disponível em: <<https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/520>> Acesso em: 21 abr. 2013.

DMLU, **Suinocultura**. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p\\_secao=115](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p_secao=115)> Acesso em: 30 abr. 2012.

DONAHUE, D. W. et al. Evaluation of In-vessel Composting of University Postconsumer Food Wastes. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, v. 6, n. 2, p. 75-81, 1998.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1997. 487 p.

FERNANDES, F. et al. Duração da fase termófila na compostagem do lodo de esgoto e resíduos vegetais em função de três diferentes tecnologias. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, Mexico, v. 2, n. 1, p. 76-83, 2009.

HECK, K. et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p. 54–59, 2013.

HERBETS, R.A. et al. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, Joinville, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.

HOFFMEISTER, D. et al. Characterization of bacterial population during composting of municipal solid waste. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 33, n. 3, p. 283-290, 2005.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. [Banco de dados]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 22 mai. 2013.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, SP: [Edmar José Kihel], 2012. 171 p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 2. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.

LIMA, L.Q.M. **Tratamento de Lixo**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1991. 242 p.

OLIVEIRA, R.V. **Testes de Maturação Aplicados a Matrizes Bioestabilizadas**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.5/3363>> Acesso em: 12 jul. 2013.

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

PARRA, J.R.P. **A Biologia de Insetos e o Manejo de Pragas: da Criação em Laboratório à Aplicação em Campo**. In: BASES e técnicas do manejo de insetos. Santa Maria: Palloti, 2000. Cap.1, p.1-29.

PRIMO, D.C. et al. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 742–746, 2010.

RAWLS, W.J., et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geodema**, Amstertam, v. 116, n. 1, p. 61-76, 2003.

REIS, M. F.P. **Avaliação do Processo de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2005. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

SANCHOTENE, M.C.C. **Plano Diretor de Arborização de Vias Públicas**. Porto Alegre: SMAM, 2000. 204 p.

SYMANSKI, C.S. **Caracterização de bactérias mesófilas presentes em processo de compostagem**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TUOMELA, M. et al. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 72, p. 169-183, 2000.