

FAUSTO FONSECA DE QUEIROZ

Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, do Centro de Tecnologia e Urbanismo como requisito para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Fernando Fernandes

LONDRINA  
2007

# FAUSTO FONSECA DE QUEIROZ

Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, do Centro de Tecnologia e Urbanismo como requisito para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Fernando Fernandes

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Célia Regina Granhen Tavares  
Universidade Estadual de Maringá

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Efraim Rodrigues  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Fernando Fernandes  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2007.

# AGRADECIMENTOS

Quando superamos os momentos mais difíceis, os maiores obstáculos, é que percebemos o quanto as pessoas com as quais convivemos são importantes nesta trajetória. Por isso, gostaria de agradecer a todas as pessoas que me estimularam e de outras formas contribuíram com este trabalho.

Primeiramente, agradeço a meus pais, que desde meus primeiros passos souberam indicar os caminhos corretos que um homem deve trilhar.

À minha namorada, companheira e amiga, Patrícia, que sempre me incentivou, e fez aumentar o meu empenho nas horas de desânimo.

Agradeço a Willian, que auxiliou na coleta das amostras, bem como a Márcio, que me auxiliou no monitoramento do experimento.

Aos meus amigos, que estão sempre dispostos a ajudar, independente das dificuldades que venham a passar, muito obrigado.

E finalmente, quero agradecer ao meu orientador, Fernando Fernandes, que guiou sabiamente minha pesquisa e me auxiliou a transpor as dificuldades que surgiram.

# RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o processo de compostagem dos resíduos vegetais de poda de árvores e arbustos, aparas de jardins e resíduos de feiras e mercados. Para tanto, foram feitos 3 experimentos, com diferentes tipos de misturas destes resíduos e diferentes técnicas de controle dos fatores intervenientes no processo. Nos 3 experimentos, o controle do teor de umidade das leiras se mostrou fundamental para a compostagem dos resíduos vegetais.

Quando o controle da umidade foi feito com adição direta de água, em leiras com aparas de jardim, obtiveram-se bons resultados, com altas temperaturas (mais de 60°C) e grande diminuição do volume de resíduos (cerca de 85%), porém, ao utilizar as frutas, misturando-as aos demais resíduos vegetais, a umidade que foi atingida no início do processo rapidamente foi perdida por evaporação, levando a baixas taxas de degradação.

A umidade foi fator determinante no processo de compostagem dos resíduos destes experimentos. Houve grande dificuldade em manter a massa de resíduos com a umidade necessária, devido à baixa absorção de água por estes.

O fato da umidade ideal não ter sido mantida, provavelmente limitou o crescimento dos microorganismos e conseqüente decomposição da matéria orgânica.

# ABSTRACT

This work had the objective of evaluating the process of composting of the vegetable residues of pruning of trees and bushes, chips of yards and residues of fairs and markets. So, were made 3 experiments, with different types of mixtures of these residues and different techniques of control of the intervening factors in the process. In the 3 experiments, the control of the moisture of the piles was shown fundamental for the composting of the vegetable residues.

When the control of the humidity was made with direct addition of water, in piles with garden chips, were obtained good results, with high temperatures (more than 65°C) and great decrease of the volume of residues (about 85%), however, when using the fruits, mixing them quickly to the other vegetable residues, the humidity that it was reached in the beginning of the process was lost by evaporation, taking to drops degradation taxes.

The moisture was a decisive factor in the process of composting of the residues of these experiments. There was great difficulty in maintaining the mass of residues with the necessary moisture, due to the low absorption of water for the residues.

Probably the growth of the microorganisms was limited by the moisture below the ideal, taking to drops taxes of degradation of the organic matter.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES, GRÁFICOS E TABELAS

- Ilustração 1** – À frente a leira PF e ao fundo a leira PFG.
- Ilustração 2** – Leira PFG “B”, após 2 meses de compostagem.
- Ilustração 3** – Montagem da Leira GF, utilizando o latão de PVC como medidor de volume.
- Ilustração 4** – Termômetro digital com haste metálica introduzida na leira.
- Ilustração 5** – Montagem das leiras, com 7 m<sup>3</sup> de resíduos de grama.
- Ilustração 6** – Evolução do teor de umidade nas leiras com grama.
- Ilustração 7** – Variação do pH dos resíduos conforme o avanço da compostagem.
- Ilustração 8** – Evolução da temperatura nas leiras durante o período de compostagem de resíduos de grama.
- Ilustração 9** – Monitoramento dos sólidos voláteis nas leiras de grama.
- Ilustração 10** – À esquerda, o composto já maturado da leira GAU, e à direita da leira GA.
- Ilustração 11** – Dados referentes aos teores de umidade, medidos durante o processo de compostagem dos resíduos de poda, grama e resíduos de feira.
- Ilustração 12** – Acompanhamento do pH da compostagem de resíduos vegetais.
- Ilustração 13** – Evolução da temperatura na compostagem dos três tipos de resíduos vegetais.
- Ilustração 14** – Monitoramento da degradação da matéria orgânica no 2º experimento.
- Ilustração 15** - Evolução do teor de umidade no 3º experimento.
- Ilustração 16** – Acompanhamento da relação C/N.
- Ilustração 17** – Acompanhamento do pH no 3º experimento.
- Ilustração 18** – Acompanhamento da temperatura no interior das leiras do 3º experimento.
- Ilustração 19** – Evolução dos sólidos voláteis no 3º experimento.
- 
- Tabela 1** - Classificação dos resíduos quanto a periculosidade.
- Tabela 2** – Opção de destinação dos municípios do Brasil.
- Tabela 3** – Temperaturas ótimas, em graus Celsius, para diferentes grupos de bactérias.
- Tabela 4** – Resíduos vegetais gerados em Londrina, de responsabilidade do governo municipal.

**Tabela 5** – Composição das leiras no primeiro experimento, compostando resíduos de grama.

**Tabela 6** – Composição das leiras no segundo experimento, compostando resíduos de podas de árvores, podas de grama e resíduos de feiras.

**Tabela 7** - Composição das leiras no terceiro experimento, compostando resíduos de podas de árvores, podas de grama e resíduos de feiras.

**Tabela 8** – Relação carbono/nitrogênio ao final da compostagem de grama.

**Tabela 9** – Valores de sólidos totais, fixos e voláteis, da compostagem de resíduos de grama.

**Tabela 10** – Relação carbono/nitrogênio durante a compostagem dos três tipos de resíduos.

**Tabela 11** – Valores de sólidos totais, fixos e voláteis da segunda compostagem.

**Tabela 12** – Perda de umidade da grama ao longo do tempo

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	10
1.1 Resíduos	10
1.2 Resíduos sólidos urbanos	11
1.3 Destinação dos resíduos sólidos urbanos	14
1.4 Os resíduos sólidos vegetais urbanos	16
1.5 Situação dos resíduos sólidos na cidade de Londrina	17
1.6 Compostagem: princípios básicos	19
1.6.1 Umidade	19
1.6.2 Aeração	20
1.6.3 Nutrientes – Relação Carbono/Nitrogênio	21
1.6.4 Temperatura	23
1.6.5 pH	25
1.6.6 Granulometria	25
1.7 Objetivo	26
1.7.1 Objetivo geral	26
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	27
2.1 Resíduos vegetais na cidade de Londrina	27
2.2 Resíduos utilizados nos experimentos	28
2.3 Técnicas da compostagem	29
2.4 Composição das leiras e informações sobre o processo de compostagem. ...	30
2.4.1 Primeiro experimento – Avaliação da influência da umidade e adição de nitrogênio	30
2.4.2 Segundo experimento – Avaliação de misturas de resíduos vegetais, considerando a geração em Londrina.	31
2.4.3 Terceiro experimento – Avaliação de misturas determinadas pela otimização da umidade final.	33
2.5 Parâmetros e análises	36
2.5.1 Amostragem	36
2.5.2 Massa específica	37
2.5.3 pH	38
2.5.4 Teor de umidade	38
2.5.5 Série de sólidos	38
2.5.6 Nitrogênio total	38
2.5.7 Carbono total	39
2.5.8 Medidas de temperatura	39
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	41
<b>3.1 Avaliação da influência da umidade e complementação com nitrogênio</b>	41
3.1.1 Acompanhamento do teor de umidade	41
3.1.2 Determinação da relação Carbono/Nitrogênio	42
3.1.3 Monitoramento do pH	43
3.1.4 Evolução da temperatura	44
3.1.5 Evolução do teor de sólidos	46
3.1.6 Conclusões	47
<b>3.2 Avaliação do desempenho de misturas de resíduos vegetais determinadas a partir das proporções de geração em Londrina.</b>	49

3.2.1 Acompanhamento do teor de umidade .....	49
3.2.2 Verificação da relação C/N.....	50
3.2.3 Monitoramento do pH.....	51
3.2.4 Evolução da temperatura .....	52
3.2.5 Evolução do teor de sólidos .....	52
3.2.6 Conclusões .....	54
<b>3.3 Avaliação de misturas de resíduos vegetais determinadas em função da otimização da umidade final.....</b>	<b>54</b>
3.3.1 Perda de umidade dos resíduos de grama .....	55
3.3.2 Acompanhamento do teor de umidade .....	56
3.3.3 Verificação da relação C/N.....	57
3.3.4 Monitoramento do pH.....	59
3.3.5 Evolução da temperatura .....	59
3.3.6 Série de sólidos.....	60
3.3.6 Conclusões .....	61
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>63</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA.....</b>	<b>65</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Resíduos

Pode-se entender resíduo, como sendo a sobra, refugo ou rejeito de um processo de transformação (Calderoni, 1998).

Um conceito comum a vários autores é a ausência de valor agregado ao resíduo, fazendo deste, um material desprovido de utilidade. Tais conceitos foram apresentados por Almeida<sup>1</sup> (1999, mencionado em Fuscaldo W. C., 2001, pág. 57), também por Figueiredo<sup>2</sup> (1995, apud Fuscaldo W. C., 2001, pág. 57) e ainda por Calderoni.

Para Kuhnen<sup>3</sup> (1995 apud Fuscaldo W. C., 2001, pág. 56), *resíduo é um conceito vinculado a um contexto tecnológico, de aprimoramento da produção, portanto cultural e histórico.*

As duas últimas características, vinculadas ao resíduo por Kuhnen, podem ser entendidas como uma alusão ao processo de povoamento do planeta pela espécie humana. A geração de resíduos iniciou-se com a necessidade do homem de transformar o meio e criar melhores condições para sua proliferação. Conforme a população cresceu, aumentou a geração de resíduos e então a necessidade de dar uma destinação para estes materiais.

Ainda refletindo sobre a definição de Kuhnen, à medida que novas tecnologias são disponibilizadas, novos resíduos são gerados, e outros podem

---

<sup>1</sup> Almeida, Carlos. **Resíduo Industrial, o grande desafio**. São Paulo, 1999. Trabalho de conclusão de curso. (graduação em geografia) – Departamento de Geografia. USP.

<sup>2</sup> Figueiredo, Paulo. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. Piracicaba: UNIMEP, 1995.

<sup>3</sup> Kuhnen, Ariane. **Reciclando o cotidiano: representações sociais do lixo**. Florianópolis: Letras contemporâneas, 1995.

deixar de ser. Além do mais, alguns resíduos podem passar dessa condição, para a condição de matéria-prima, como é o caso das garrafas PET's, usadas atualmente como aquecedores solares de água e como matéria-prima na indústria têxtil.

Há um aparente paradoxo quando se fala da produção de resíduos pelo homem, visto que a geração de “lixo” é uma consequência da melhoria geral das condições de vida e de satisfação das necessidades da população. E como descreve Lima (2004), o lixo acaba por gerar um problema para as populações, uma vez que, quando não descartado de forma adequada, compromete a qualidade de vida do homem.

O presente trabalho abordará apenas os resíduos sólidos, mais precisamente, os **resíduos vegetais urbanos**.

## 1.2 Resíduos sólidos urbanos

Dentre tantos resíduos produzidos pelo homem na atualidade, encontram-se os resíduos sólidos, que de acordo com a NBR 10004/2004, podem ser descritos como: *“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam da comunidade e origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente viáveis face a melhor tecnologia disponível.*

Ainda seguindo a NBR 10004/2004, os resíduos sólidos podem ser classificados, de acordo com sua periculosidade ao ambiente e à saúde humana, da seguinte maneira:

<b>classificação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Classe I	Perigosos	Apresentam periculosidade em função de uma ou mais características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e de e patogenicidade.
Classe II - A	não-inertes	Resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes, podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Classe II - B	Inertes	Resíduos que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR 10007) não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

**Tabela 1** – Classificação dos resíduos quanto à periculosidade.

Dentro desta classificação se enquadram todos os resíduos produzidos pelo homem, sejam estes domiciliares, industriais, de saúde, públicos ou de construção civil, exceto resíduos líquidos e gasosos.

Em função de sua origem, os resíduos sólidos podem ser classificados, de forma não normativa, como:

- Resíduos sólidos domiciliares;
- Resíduos de varrição;
- Resíduos de podas e capinas;
- Resíduos de construção e demolição;
- Resíduos de serviços de saúde;
- Resíduos sólidos industriais;

- Resíduos sólidos de estação de tratamento de esgoto e de estação de tratamento de água;

Em se tratando de Resíduos Sólidos Domésticos ou Domiciliares, ou seja, aqueles produzidos nas residências e estabelecimentos comerciais, se encontram materiais diversos, pertencentes às três classes de resíduos.

É possível verificar em meio ao lixo doméstico, pilhas, baterias, lâmpadas e alguns produtos químicos que são classificados segundo a ABNT como Classe I, ou seja, resíduos perigosos.

Também se encontram junto ao lixo produzido nas residências, papéis, vidros, pedaços de madeira, e outros resíduos considerados como inertes, recaindo na Classe II-B da ABNT.

Uma grande parte dos Resíduos Domésticos é constituída de substâncias orgânicas, classificadas como não-inertes, portanto Classe II-A.

Devido à grande variabilidade na composição dos Resíduos sólidos Domésticos, é interessante promover uma coleta seletiva com finalidade de melhorar a destinação para tantos diferentes materiais.

Outro tipo de resíduo que tem uma grande parcela composta por matéria orgânica é aquele gerado nas podas, capinas e varrições.

Tais resíduos têm quantidades significativas de material orgânico e são passíveis de métodos alternativos de destinação.

Os Resíduos Industriais, como o próprio nome já diz, são produzidos nas indústrias e têm sua composição dependente do tipo da indústria e da atividade que esta exerce. A coleta e destinação adequada para estes resíduos são de responsabilidade do gerador.

Uma indústria peculiar é a da construção civil, que produz um tipo de Resíduo específico e que pode ser praticamente todo enquadrado na Classe de resíduos inertes da ABNT, excluindo tintas e solventes, considerados perigosos. Também os geradores destes resíduos são os responsáveis pela sua destinação final.

Outros resíduos que têm características ímpares são os produzidos por hospitais e outros estabelecimentos de saúde. Esses resíduos são classificados como perigosos e requerem atenção especial quanto à sua coleta e destino.

### 1.3 Destinação dos resíduos sólidos urbanos

Como foi visto, são muitos os tipos de resíduos gerados pela população e que precisam de um destino. Muitas vezes esse destino não é o mais adequado.

Segundo dados da última pesquisa sobre saneamento básico do IBGE, divulgados em 2002, somente de resíduos domiciliares e comerciais, a geração no ano de 2000 no Brasil foi de 157 mil toneladas por dia.

Ainda é possível constatar pela pesquisa do IBGE que a maior parte dos resíduos coletados é despejada em lixões.

Porcentagem dos Municípios do Brasil	Opções de destinação Para os resíduos Produzidos no município
59%	lixões;
13%	aterros sanitários;
17%	aterros controlados;
0,6%	áreas alagadas;
0,3%	aterros especiais;
2,8%	programa de reciclagem;
0,4%	compostagem;
0,2%	incineração;

**Tabela 2** – Opção de destinação dos municípios do Brasil.

Os “lixões” geralmente estão localizados em áreas escolhidas sem qualquer critério ambiental. A partir do momento que os resíduos dos lixões são cobertos com terra, estes lixões passam a denominar-se aterro controlado.

Um aterro sanitário é considerado uma obra de engenharia, portanto, com procedimentos técnicos padronizados, tais como:

- Escolha criteriosa de área;
- Impermeabilização da base, para contenção do lixiviado produzido pela massa de resíduos;
- Drenos de gás e de lixiviado;
- Estação para tratamento do lixiviado;
- Instalações de apoio (guarita, balança, fechamentos, etc.).

O grande problema dos aterros sanitários é a produção do lixiviado, conhecido como **chorume**, e que provêm da parte orgânica dos resíduos e das águas pluviais que infiltram pela massa de lixo. Esse líquido é constituído de substâncias variadas, sendo de difícil tratamento. Essa dificuldade é devida à baixa degradabilidade das substâncias presentes no chorume.

Outro problema dos aterros é a necessidade constante de novas áreas, visto que a produção de resíduos nunca cessa.

Tem-se na compostagem uma alternativa para tratamento de resíduos orgânicos, transformando-os em produtos que podem ser reaproveitados de maneira segura.

A compostagem dos resíduos orgânicos coletados diminui a quantidade de chorume gerado nos aterros, e conseqüentemente os custos do seu tratamento, além de produzir o composto, material húmico, que é útil para a agricultura como condicionador de solos.

Para um melhor aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos na compostagem e concomitante diminuição dos problemas produzidos pelos aterros, se faz necessário um programa de coleta seletiva de lixo.

Com a coleta seletiva seria possível melhorar a qualidade do composto, evitando a presença de materiais não orgânicos na massa a ser compostada. Torna-se possível também a reciclagem de vários materiais, como plásticos, papéis, alumínio, etc.

## 1.4 Os resíduos sólidos vegetais urbanos

Todas as cidades, sejam elas grandes ou pequenas, possuem áreas verdes, como parques, praças ou até mesmo reservas florestais.

A existência destas áreas nos meios urbanos promove melhoria na qualidade de vida para a população, visto que além de um local de lazer, as áreas verdes interferem de maneira significativa na purificação do ar, bem como no clima local, refrescando o ambiente ao seu redor devido à evapotranspiração.

Os gramados, ao invés da impermeabilização de toda a área urbana, possibilitam a infiltração das águas pluviais, garantindo assim a recarga de aquíferos.

Quanto mais sustentável a organização sócio-econômica de uma cidade, mais áreas verdes são encontradas nela, e tal fato acaba por criar a necessidade de podas regulares, nas árvores e jardins. Assim surgem os **resíduos vegetais urbanos**, que devem ser adequadamente destinados pelo poder público local.

Podem-se incluir nestes resíduos, os restos de frutas, legumes e verduras, produzidos por mercados municipais e feiras livres.

Os resíduos de podas e aparas de jardins são constituídos puramente por material orgânico, tornando-se um resíduo altamente propício à prática da compostagem.

Já os restos de feiras e mercados podem conter outros elementos além de resíduos orgânicos, mas uma seleção prévia torná-los-ia aptos a incrementar o processo de compostagem dos resíduos de poda e jardins.

A mistura destes resíduos é interessante do ponto vista biológico da compostagem, como será apresentado ao longo deste trabalho.

## 1.5 Situação dos resíduos sólidos na cidade de Londrina

A cidade de Londrina localiza-se ao norte do Estado do Paraná, e possui aproximadamente 500 mil habitantes.

Os processos de poda, bem como a destinação dos resíduos gerados dela, são de responsabilidade da prefeitura municipal. Dentro da hierarquia governamental do município existe a SEMA (Secretaria Municipal do Ambiente), que além de outras funções, executa as podas e dá destino a estes resíduos.

Até o início do ano de 2006, os resíduos de poda gerados na cidade eram encaminhados para Fazenda Refúgio, localizada na zona sul da cidade, próxima à malha urbana. Neste local, os galhos e troncos eram separados com motosserras, então, uma parte era comercializada como lenha e os galhos e folhas dispostos a céu aberto. Algumas vezes este material originava incêndios, gerando grandes quantidades de cinzas, fumaça e gases, que poluíam o ar.

Atualmente os restos de poda estão sendo encaminhados para o aterro sanitário, onde são triturados com a intenção de serem compostados.

Assim com os resíduos de poda, os resíduos de feiras e mercados municipais também são levados ao aterro sanitário.

Em se tratando de grama, resultado de poda de praças, canteiros e outros jardins, a responsabilidade é de outro órgão municipal, a CMTU (Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização). O destino para estes resíduos também é o aterro sanitário.

O fato dos resíduos vegetais serem totalmente orgânicos e serem lançados em aterros aumenta a produção de chorume. Além do mais, tais materiais poderiam ser aproveitados num processo de compostagem, uma vez que são essencialmente constituídos por matéria orgânica.

## 1.6 Compostagem: princípios básicos

Compostagem pode ser definida como um processo natural, que resulta da decomposição da matéria orgânica por microorganismos, quando providos de ar e umidade (EUA, Environmental Protection Agency, 1994).

Para que a decomposição dos resíduos ocorra da melhor maneira, faz-se necessário o controle de alguns parâmetros físico-químicos, listados na seqüência.

### 1.6.1 Umidade

A umidade no processo de compostagem pode afetar a atividade microbiana e conseqüentemente influenciar na temperatura e na taxa de decomposição da matéria orgânica (Epstein, 1997).

O teor de umidade considerado como ótimo para a compostagem, situa-se entre 50 e 60%, podendo ser controlado com uma mistura criteriosa de componentes ou ainda pela adição de água (Fernandes e Silva, 1999).

Valores de umidade abaixo de 40% inibem a atividade biológica (Fernandes e Silva, 1999), diminuindo a velocidade de biodegradação, e abaixo de 20% de umidade, muito pouca atividade biológica pode ser observada, conforme Haug<sup>4</sup> (1980, citado por EUA, Environmental Protection Agency, 1994).

Apesar de uma parte da umidade presente na leira ser produzida pela atividade microbiana e pela oxidação biológica da matéria orgânica, ela se perde na mesma quantidade através da evaporação Viel et al<sup>5</sup>. (1987, apud Epstein, 1997,

---

<sup>4</sup> Haug, R.T. 1980. Compost engineering principles and practice. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science publishers, Inc.

<sup>5</sup> Viel, M., D. Sayag, and L. Andre. 1987. Optimization of agricultural industrial waste management through in-vessel composting, pp. 231-237. In M. De Bertoldi et al. (ed.). **Compost: Production Quality and Use**. Elsevier Applied Sci., London.

pg. 32), gerando assim uma provável necessidade de adição de água para manter a umidade ótima.

Tendo em vista a perda de umidade para o ambiente, por meio da evaporação, Margesin (2005) utilizou composto maturado como cobertura das leiras de compostagem de resíduos de poda misturados a lodo de esgoto, a fim de diminuir a perda de água para o ambiente. As leiras que foram cobertas, tiveram suas massas revolvidas pela 1ª vez após 3 semanas de compostagem, e alcançaram maiores temperaturas durante o processo. O experimento de Margesin mostra que diminuindo a perda de umidade, é possível melhorar o processo de compostagem sem adição de água.

### 1.6.2 Aeração

Sendo a compostagem um processo de biodegradação aeróbia, a disponibilidade de oxigenação nas leiras deve ser devidamente monitorada e controlada, visto que é preciso manter o processo aeróbico.

Caso ocorra a falta de oxigênio, o processo tornar-se-á anaeróbico, e em consequência disso haverá produção de gases como o metano, que provocarão o surgimento de odores desagradáveis.

Além da deficiência da aeração, outros fatores podem ser os causadores da anaerobiose da leira. Uma granulometria muito fina, por exemplo, ocasionaria falta de espaço para a circulação do ar dentro da leira, ou ainda, a ocupação destes espaços pela água, quando do excesso de umidade.

Segundo Fernandes e Silva (1999), de um modo geral, é possível dividir a compostagem em três tipos, baseados principalmente no método de inserção de oxigênio:

–Sistema de leiras revolvidas, no qual os resíduos são dispostos em leiras, e a aeração é feita por meio do revolvimento da massa, fazendo com que o oxigênio presente no ar seja incorporado aos resíduos.

–Sistema de leiras estáticas aeradas, onde o material a ser compostado é depositado sobre uma tubulação perfurada que promove a circulação de ar dentro da leira, injetando-o ou aspirando-o.

–Sistemas fechados ou reatores biológicos, nos quais os resíduos são dispostos dentro de sistemas fechados, onde geralmente é controlada a aeração.

O sistema de leiras revolvidas, conhecido como windrow, mostrou-se o mais problemático com relação à aeração, uma vez que o oxigênio incorporado à leira durante o revolvimento é rapidamente consumido, como mostrou Wiley and Spillan<sup>6</sup> (1962, apud Epstein, 1997, pg. 22) no seu experimento, compostando resíduos de jardins. Principalmente na parte inferior da leira, onde a dificuldade de penetração do ar é maior, formam-se as zonas de anaerobiose, e poderá ocorrer a liberação de odores desagradáveis no próximo revolvimento.

### 1.6.3 Nutrientes – Relação Carbono/Nitrogênio

De acordo com Castilhos (2006) os microorganismos que fazem a degradação da matéria orgânica necessitam dos mesmos nutrientes (P, N, C, K, Mg) e micro nutrientes (Cu, Ni, Mo, Fe, Zn e Na) que as plantas, para funções enzimáticas.

O Carbono é utilizado para o crescimento celular das bactérias (Epstein, 1997), e pode ser encontrado em resíduos vegetais em grande quantidade, bem como em restos animais, porém tem biodegradabilidade variável. Carbono de

---

<sup>6</sup> Wiley, J. S. and J. T. Spillan. Refuse-sludge composting in windrow and bins. **Compost Sci.** 2(4): 18-25

moléculas como proteínas e açúcares são facilmente degradados, enquanto que a celulose, hemicelulose e lignina, são pouco biodegradáveis.

Os microorganismos necessitam de Nitrogênio para a síntese de proteínas (Epstein, 1997). Restos de alimentos e biossólidos<sup>7</sup> são fontes de nitrogênio, podendo suprir as necessidades dos microorganismos durante a compostagem, quando adicionados às leiras.

Alkoik e Ghaly (2005) misturaram estrume de vaca com resíduos de tomates triturados e resíduos de madeira triturados, para aumentar o índice de carbono biodegradável e inocular microorganismos à massa de resíduos. O processo de compostagem se deu em 5 reatores em escala de laboratório e mostrou que a adição de estrume aumentou a taxa de degradação e proporciona maiores temperaturas ao sistema.

A relação entre a quantidade de carbono e nitrogênio presente nos resíduos a serem compostados pode ser um ótimo indicador do equilíbrio entre os substratos (Fernandes e Silva 1999).

Valores altos para a relação C/N (caracterizando altas taxas de carbono e baixas taxas de nitrogênio), podem inibir o crescimento dos microorganismos que fazem a degradação da matéria orgânica (EUA, Environmental Protection Agency, 1994), uma vez que haverá falta de nitrogênio para a síntese protéica.

Valores baixos para C/N, significando uma grande quantidade de nitrogênio, causam inicialmente uma aceleração no crescimento da população de bactérias e na decomposição dos resíduos. Com esta aceleração, entretanto, ocorre um grande consumo de oxigênio, e se a aeração não for suficiente, o processo poderá vir a tornar-se anaeróbio. O excesso de

---

<sup>7</sup> Resíduo produzido pelo tratamento de esgoto, conhecido também como lodo de esgoto.

Nitrogênio será transformado em amônia, que em altas doses é tóxica para os microrganismos, e poderá inibir o processo de compostagem (Gray et al<sup>8</sup>, 1971b; Haug<sup>9</sup>, 1980 apud, Environmental Protection Agency, 1994, pág. 19).

Segundo Fernandes e Silva (1999), uma relação considerada ótima para um processo de compostagem encontra-se na faixa de 20-30, dependendo da degradabilidade dos resíduos.

Além dos fatores limitantes do processo de compostagem, umidade e aeração, outros parâmetros são fundamentais como indicadores da qualidade do processo.

#### 1.6.4 Temperatura

O aumento de temperatura é um fato inerente ao processo de compostagem, visto que nele acontecem reações exotérmicas<sup>10</sup>, mas dentre todos os parâmetros que podem ser analisados durante a compostagem, a temperatura é o mais difícil de ser classificado como causa ou como efeito.

Shultz (1960, apud Epstein, 1997, pág. 25) verificou que a atividade microbiana está diretamente ligada à variação de temperatura, verificando isso para os sete primeiros dias de compostagem em um reator de escala laboratorial.

As variações de temperatura são responsáveis pela alternância das diferentes populações bacterianas presentes na massa de resíduos (Epstein, 1997).

---

<sup>8</sup> Gray, K. R., K Sherman, and A.J. Biddlestone. 1971b. **A review of composting Part 2- The practical process.** *Process Biochemistry*. 6(10):22-28.

<sup>9</sup> Haug, R.T. 1980. **Compost engineering principles and practice.** Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science publishers, Inc.

<sup>10</sup> Reações que ocorrem com liberação de energia na forma de calor.

Em uma compostagem bem sucedida, podem ser encontrados três tipos diferentes de bactérias, classificadas de acordo com suas suscetibilidades a temperaturas maiores ou menores.

<b>BACTÉRIAS</b>	<b>INTERVALO DE TEMPERATURA</b>
Psicrófilas	(0-20°C)
Mesófilas	(15-43°C)
Termófilas	(40-85°C)

**Tabela 3** – temperaturas ótimas, em graus Celsius, para diferentes grupos de bactérias.

Tais valores de temperaturas não são limites rígidos para existência dos respectivos grupos de microorganismos, mas sim intervalos ótimos para sua proliferação (Castilhos 2006).

Num primeiro momento, a população de bactérias mesófilas cresce e a população de psicrófilas se extingue. Com o aumento da temperatura, resultado da própria degradação da matéria orgânica, as bactérias termófilas proliferam. Tais microorganismos promovem uma degradação mais acelerada, e conseqüentemente a temperatura se eleva ainda mais. Nesta fase predominam as bactérias termófilas, até que a quantidade de matéria orgânica a ser degradada diminui, restringindo também a população de termófilas. Novamente as bactérias mesófilas se desenvolvem e continuam com o processo de decomposição, agora bem mais lento (Castilhos 2006).

Além de ser fator imprescindível para o crescimento bacteriano e degradação da matéria orgânica, o aumento da temperatura é necessário para desinfecção do material compostado (Epstein, 1997), uma vez que será futuramente utilizado como condicionador de solos. Para que ocorra tal desinfecção, a

temperatura deve atingir mais de 55°C, e ser mantida por alguns dias, segundo Epstein, (1997).

### 1.6.5 pH

O pH dos resíduos durante o processo de compostagem, influencia no crescimento dos microorganismos, sendo que para cada tipo de bactéria existe um valor de pH ótimo para seu desenvolvimento (Epstein, 1997).

Fernandes e Silva (1999) relatam que no início do processo de compostagem (fase mesófila), quando o pH da mistura encontra-se perto da neutralidade, há uma ligeira queda de seus valores para 5,5 a 6,0 devido à produção de ácidos orgânicos.

Segundo Jeris e Regan<sup>11</sup> (1973, apud Epstein, 1997, pág. 48), as bactérias termófilas desenvolvem-se melhor em ambientes com pH entre 7,5 e 8,5.

### 1.6.6 Granulometria

De acordo com Gray et al.<sup>12</sup> (1971, apud Environmental Protection Agency, 1994, pág. 18) o tamanho das partículas que compõem a leira de compostagem afeta o processo de maneira significativa. Materiais de granulometria fina, a princípio são mais facilmente degradados, devido à maior superfície específica em contato com os microorganismos. Entretanto, as partículas não podem ser tão pequenas a ponto de compactar demasiadamente a leira e impedir a entrada e circulação de oxigênio.

---

<sup>11</sup> Jeris, J. S. and R. W. Regan. 1973c. **controlling environmental parameters for optimal composting. Part III.** Compost Sci. 14(3):16-22.

<sup>12</sup> Gray, K. R., K Sherman, and A.J. Biddlestone. 1971b. A review of composting Part 2- The practical process. Process Biochemistry. 6(10):22-28.

## 1.7 Objetivo

### 1.7.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo, avaliar a influência da umidade e do acréscimo de nitrogênio no processo de compostagem dos resíduos vegetais gerados na cidade de Londrina.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Resíduos vegetais na cidade de Londrina

De acordo com a Secretaria Municipal do Ambiente (SEMA), a atividade de poda não é realizada conforme a necessidade da cidade, ou seja, em períodos de maior crescimento das árvores, mas sim quando são liberadas as verbas da prefeitura, para então acontecerem as licitações para contratação de empresas que realizam o serviço de poda. Por este motivo, trabalhou-se com dados médios de geração de resíduos de poda, e que é de 30 m<sup>3</sup> por dia.

Em se tratando dos resíduos produzidos pelas feiras livres e mercados municipais (restos de frutas, legumes e verduras), as informações sobre quantidades geradas podem ser encontradas na CMTU (Companhia Municipal de Trânsito e Urbanismo).

De acordo com os dados informados pela CMTU, Londrina produz uma média de 2,5 m<sup>3</sup> de resíduos de feiras por dia.

Neste levantamento não estão computados os resíduos produzidos pela Companhia de Energia Elétrica (COPEL) e pelo CEASA de Londrina. Esta última, produz uma média de 5 toneladas de restos de frutas, verduras e legumes por dia, mas o destino final destes são algumas leiras de compostagem localizadas na propriedade. Portanto o CEASA não gera resíduos para a cidade de Londrina.

Para que toda a produção de resíduos vegetais seja utilizada no processo de compostagem é necessário que a proporção da mistura dos resíduos nas leiras seja a mesma proporção de geração da cidade.

Segue uma tabela com as quantidades dos resíduos vegetais gerados na cidade de Londrina e os respectivos órgãos responsáveis.

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Responsável</b>	<b>Quantidade/dia</b>	<b>Destino atual</b>
Podas de árvores	SEMA	30m <sup>3</sup>	Aterro sanitário
Podas de grama	CMTU	25-50m <sup>3</sup>	Aterro sanitário
Frutas, verduras, etc	CMTU	2,5m <sup>3</sup>	Aterro sanitário

**Tabela 4** – Resíduos vegetais gerados em Londrina, de responsabilidade do governo municipal.

A variação na geração de resíduos de grama é devido à estação do ano, sendo a taxa mínima relacionada ao inverno e a máxima ao verão. A poda dos jardins e canteiros da cidade é feita diariamente, por empresas contratadas pela CMTU.

O mesmo fato, de poda diária, não acontece com os resíduos de árvores e arbustos porque as ações de poda variam conforme o governo municipal libera verbas para contratação de empresas que fazem o serviço.

Quanto aos resíduos de frutas, não fazem parte dos valores tabelados acima os resíduos gerados por particulares. A responsabilidade pela destinação destes resíduos é dos geradores. Na maioria dos casos estes materiais são enviados para o aterro sanitário municipal.

## 2.2 Resíduos utilizados nos experimentos

No campus da Universidade Estadual de Londrina, onde são realizados os experimentos com compostagem, existe uma grande área verde, e que precisa ser podada regularmente, então esses resíduos compõem as leiras experimentais de compostagem.

Os resíduos de poda precisam ser triturados antes de serem colocados nas leiras e para tanto a UEL dispõe de um triturador, e desta maneira o resíduo já chega em condições de montagem das leiras.

Já os resíduos de aparas de jardim não necessitam do mesmo pré-tratamento que o anterior, e também foram fornecidos pela universidade.

O terceiro componente das leiras é o resíduo de feiras livres e mercados, os restos de frutas, legumes e verduras. Estes foram fornecidos por um mercado municipal da cidade de Londrina.

A maior parte dos resíduos de feiras utilizados nos experimentos é composta de laranjas, cebolas e palhas de milho.

## 2.3 Técnicas da compostagem

Foram realizados 3 experimentos de compostagem, de acordo com as necessidades do estudo em questão.

Nestes experimentos, a aeração foi promovida por meio de revolvimento manual das leiras. Os revolvimentos foram executados durante a fase de degradação do processo, de segunda à sexta-feira, porém a quantidade de revolvimentos por semana não foi igual em todos os experimentos.

Antes do revolvimento das leiras era feita a medição da temperatura, por meio de um termômetro digital acoplado a uma barra metálica, introduzida em diferentes partes da leira.

Amostras eram recolhidas para análises no laboratório, com estas eram determinados: teor de umidade, teor de sólidos (fixos e voláteis), massa específica e relação final entre carbono e nitrogênio.

## 2.4 Composição das leiras e informações sobre o processo de compostagem.

### 2.4.1 Primeiro experimento – Avaliação da influência da umidade e adição de nitrogênio

O primeiro experimento consistiu na compostagem dos resíduos de aparas de jardim, gerados na própria Universidade Estadual de Londrina.

Três leiras foram formadas, cada uma delas contendo 7 m<sup>3</sup> de resíduo de grama.

O revolvimento destas leiras foi feito 5 vezes por semana, assim como a adição de água nas leiras GA e GAU.

LEIRA	COMPOSIÇÃO	VOLUME (m <sup>3</sup> )
G	Grama sem adição de água	7
GA	Grama com adição de água	7
GAU	Grama com adição de água e 3 kg de uréia	7

**Tabela 5** – Composição das leiras no primeiro experimento, compostando resíduos de grama.

Na leira denominada **GAU** foram adicionados 3 kg de uréia (150g de nitrogênio), com finalidade de verificar se um aumento da quantidade de nitrogênio provocaria uma melhora sensível no processo. O teor de umidade do resíduo foi devidamente controlado, de maneira a mantê-lo num grau considerado ótimo, em torno de 55%.

Sempre que o teor de umidade se apresentava abaixo do ideal acrescia-se água às leiras. Tal procedimento foi feito de maneira visual, e sendo assim, nas primeiras semanas obtiveram-se níveis de umidade acima de 55%, conseguindo estabilizá-lo depois algumas tentativas.

A leira denominada **GA** também teve sua umidade controlada, mas diferente da citada anteriormente, não foi acrescida de uréia.

Já a leira chamada de **G** serviu apenas como base de comparações, não teve sua umidade controlada e nem acréscimo de uréia.

Vale ressaltar, que todas as leiras estavam localizadas sob uma área coberta, evitando assim de receberem água pluvial.

## 2.4.2 Segundo experimento – Avaliação de misturas de resíduos vegetais, considerando a geração em Londrina.

A segunda compostagem, envolvendo agora três tipos de resíduos, teve suas leiras com tamanhos diminuídos, devido à indisponibilidade momentânea de um dos resíduos. Tais leiras foram levantadas no mesmo local das primeiras, e tiveram em torno de 3 m<sup>3</sup>.

O revolvimento destas leiras, assim como no 1<sup>o</sup> experimento, foi efetuado 5 vezes por semana, porém a adição de água foi feita semanalmente, após os resultados das análises das amostras quanto ao teor de umidade.

As leiras foram compostas da seguinte maneira:

LEIRA	COMPOSIÇÃO	VOLUME (m <sup>3</sup> )
P	Podas de árvores	3
	Frutas, verduras, etc.	0
	Aparas de grama	0
PF	Podas de árvores	3
	Frutas, verduras, etc.	0,25
	Aparas de grama	0
PFG	Podas de árvores	1
	Frutas, verduras, etc.	1
	Aparas de grama	1

**Tabela 6** – Composição das leiras no segundo experimento, compostando resíduos de podas de árvores, podas de grama e resíduos de feiras.

Na leira **PF** tem-se uma mistura de resíduos na mesma proporção da geração desses, registrados na cidade de Londrina.

Já na leira **PFG** pretendeu-se analisar uma mistura utilizando os três tipos de resíduos, visto que a compostagem apenas com o resíduo de grama proporcionou um resultado satisfatório.

A leira **P** serviu como controle, para verificação de uma esperada melhora no desempenho da compostagem do resíduo de poda ao se adicionar os resíduos de feira e/ou grama.



**Ilustração 1** – À frente a leira PF e ao fundo a leira PFG

### 2.4.3 Terceiro experimento – Avaliação de misturas determinadas pela otimização da umidade final

Este terceiro estudo tornou-se necessário a partir dos resultados do experimento anterior, no qual a umidade mostrou-se fator determinante para o bom andamento do processo de compostagem dos resíduos vegetais.

Devido ao fato do controle da umidade com adição de água ser um trabalho que pode tornar o processo inviável, do ponto de vista operacional, neste experimento buscou-se um auto controle do teor de umidade das leiras.

Como no segundo experimento, este também envolveu 3 tipos de resíduos vegetais, resíduos de poda, aparas de grama e restos de feiras. As quantidades de

cada resíduo que compôs as leiras foram determinadas com base na umidade final da mistura.

Foi determinada a umidade dos resíduos separadamente e misturados de modo que a soma de seus teores umidades chegassem a 60%.

As leiras tiveram volumes menores que nos experimentos anteriores devido à dificuldade na disponibilização de resíduos, principalmente podas e frutas.

Para montagem das leiras, foi utilizado um latão de PVC com capacidade para 120 litros, como medidor de volume de resíduos.

Os resíduos de frutas e verduras foram conseguidos junto a um Mercado Municipal, as aparas de grama foram fornecidas pela Universidade Estadual de Londrina e os resíduos de podas de árvores foram provenientes do aterro controlado de Londrina, onde são depositadas as podas da cidade. Esta diversificação dos fornecedores gerou dificuldades de reunir todos os resíduos sem grandes intervalos de tempo.

A composição das leiras foi a seguinte:

LEIRA	COMPOSIÇÃO	VOLUME (m <sup>3</sup> )
PFG "A"	Podas de árvores	0,2
	Frutas, verduras, etc.	0,4
	Podas de grama	0,9
PFG "B"	Podas de árvores	0,3,
	Frutas, verduras, etc.	0,4
	Aparas de grama	0,7
GF	Podas de árvores	0
	Frutas, verduras, etc.	0,2
	Aparas de grama	1
PF	Podas de árvores	0,8
	Frutas, verduras, etc.	0,4
	Aparas de grama	0

**Tabela 7** - Composição das leiras no terceiro experimento, compostando resíduos de podas de árvores, podas de grama e resíduos de feiras.



**Ilustração 2** – Leira PFG "B", após 2 meses de compostagem.

Os resíduos foram depositados nas leiras em camadas intercaladas, para uma melhor homogeneização da mistura, garantindo que a última camada sempre fosse composta apenas por resíduos de grama ou poda, para evitar a liberação de odores e conseqüente proliferação de moscas nas leiras.



*Ilustração 3 – Montagem da Leira GF, utilizando o latão de PVC como medidor de volume.*

## 2.5 Parâmetros e análises

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UEL, localizado ao lado do espaço onde se encontravam as leiras.

Seguem os procedimentos utilizados nas análises laboratoriais:

### 2.5.1 Amostragem

As amostras foram coletadas manualmente e compostas por pequenas porções de materiais, retirados de diferentes partes da leira, preenchendo cápsulas de porcelana. A massa do conjunto (cápsula + amostra) variou entre 80g e 180g.

Nos dois primeiros experimentos, as amostras foram coletadas com a frequência média de 1 vez por semana. No 3º experimento, sentiu-se a necessidade de intervalos menores entre as coletas, e estas passaram a ser feitas a cada 3 dias em média.

No 3º experimento deste estudo, foram coletadas amostras diferentes para fins específicos. Deste modo, as amostras que foram retiradas a cada 3 dias, foram utilizadas para avaliar os teores de umidade e de sólidos. Outra amostra foi retirada de cada leira, semanalmente, para análises de carbono total e nitrogênio total.

Houve a necessidade de armazenar as amostras, para que algumas análises pudessem ser feitas de acordo com a disponibilidade dos equipamentos.

Com as amostras armazenadas foram realizadas análises para a verificação das porcentagens de Carbono e de Nitrogênio nos resíduos, e para que as amostras não perdessem essas substâncias durante o tempo que passaram estocadas, estas passaram por secagem na estufa, retirando toda a umidade, e posterior moagem.

### 2.5.2 Massa específica

As amostras das leiras eram colocadas dentro de um Becker graduado, com volume igual a 2,0 litros. Os resíduos foram depositados no recipiente sem compactação, de modo a reproduzir da melhor maneira a acomodação destes nas leiras.

Prosseguindo a análise, os recipientes foram pesados numa balança de precisão, permitindo então o cálculo da massa específica dos resíduos.

### 2.5.3 pH

Foram coletadas amostras em um Becker de 250 ml e adicionou-se água destilada até completar seu volume. Então, com auxílio de um pH metro obtiveram-se as medidas pretendidas de potencial hidrogeniônico.

### 2.5.4 Teor de umidade

Os resíduos eram colocados em cápsulas de porcelana já pesadas e que haviam permanecido 2 horas na mufla, com uma temperatura de 550°C, para perder toda a umidade nelas contidas. Tais cápsulas com os resíduos seguiram então novamente para a estufa, a 100°C e permaneceram por 24 horas, até atingirem peso constante. A partir deste peso é possível efetuar o cálculo que determina a quantidade de água presente na amostra inicialmente.

### 2.5.5 Série de sólidos

Para determinação dos sólidos totais, fixos e voláteis foram utilizadas as mesmas amostras que determinaram o teor de umidade. Foram seguidos os procedimentos do Standard Methods para a determinação dos dados pretendidos.

### 2.5.6 Nitrogênio total

O teor de nitrogênio dos resíduos foi constatado pelo Método Kjeldhal adaptado pelo IAPAR para resíduos sólidos, no qual primeiramente se faz a digestão sulfúrica dos resíduos da amostra, que passaram previamente por uma moagem. Para a completa digestão dos resíduos, foram necessárias 6 horas no bloco digestor, a uma temperatura em torno de 450°C .

Após a digestão, realizou-se a destilação da amostra e posterior titulação, que possibilitou o cálculo para determinar o teor de nitrogênio total nos resíduos.

### 2.5.7 Carbono total

Para determinar a quantidade de carbono presente nos resíduos, foi utilizado o Método desenvolvido pelo IAPAR e, segundo este, as amostras foram digeridas em ácido sulfúrico com dicromato de potássio, para então verificar a demanda de dicromato. Tal verificação foi feita titulando sulfato ferroso nas amostras digeridas.

### 2.5.8 Medidas de temperatura

A averiguação da temperatura dentro das leiras foi feita utilizando-se um termômetro digital, acoplado a uma haste metálica que era introduzida na massa de resíduos. As medidas eram feitas em diferentes partes das leiras, reproduzindo a média de temperatura no interior das leiras.



**Ilustração 4** – Termômetro digital com haste metálica introduzida na leira.

Para converter temperaturas da escala Fahrenheit para escala Celsius utilizou-se a seguinte expressão:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{(T_f - 32)}{9}, \text{ em que:}$$

$T_c$  - temperatura em Celsius

$T_f$  - temperatura em Fahrenheit

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos 3 experimentos de compostagem, primeiramente em separado, e na seqüência fazendo a análise do processo como um todo.

### 3.1 Avaliação da influência da umidade e complementação com nitrogênio

Vale ressaltar que para este estudo foram montadas 3 leiras (G), (GA) e (GAU), a fim de verificar a evolução de uma compostagem envolvendo apenas resíduo de grama.

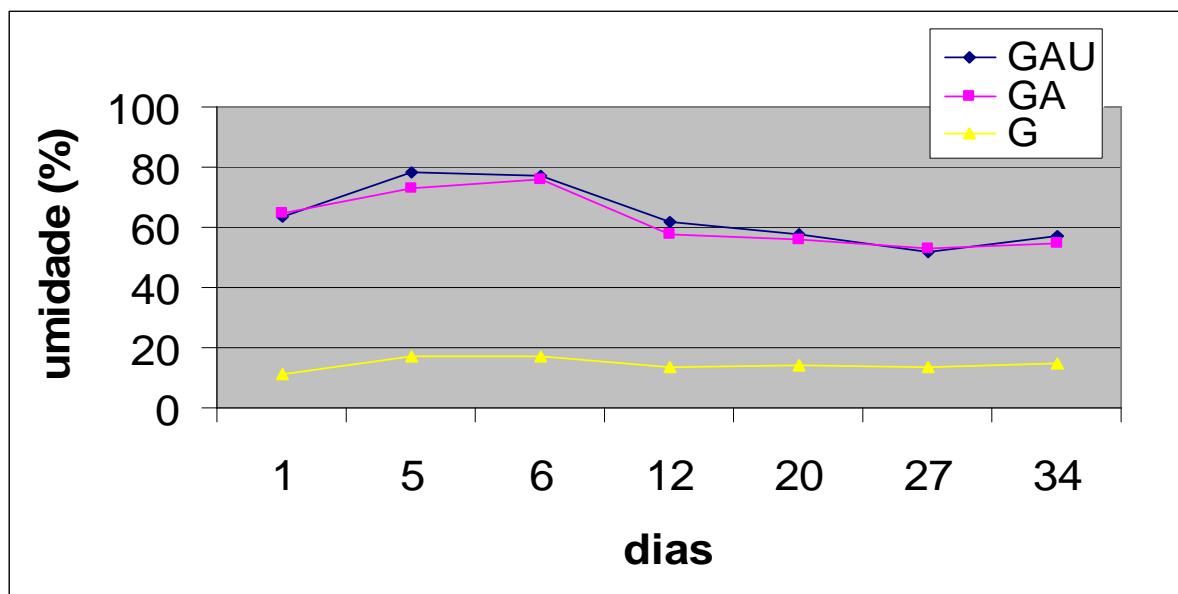


*Ilustração 5 – Montagem da leira G, com 7 m<sup>3</sup> de resíduos de grama.*

#### 3.1.1 Acompanhamento do teor de umidade

Existe uma faixa de valores de teor de umidade que propicia um melhor desenvolvimento do processo da compostagem. Esses valores encontram-se entre 50% e 60%, e foi para garantir estes que se adicionou água nas leiras.

A seguir tem-se um gráfico que mostra o controle da umidade durante o processo de compostagem dos resíduos de grama.



**Ilustração 6** - Evolução do teor de umidade nas leiras com grama.

O pico dos valores de umidade no início do gráfico é devido às primeiras irrigações, exageradas, já que tal procedimento se deu de maneira visual. Além do mais, após as primeiras análises conseguiu-se adequar a quantidade de água necessária para atingir as metas de umidade.

### 3.1.2 Determinação da relação Carbono/Nitrogênio

A relação Carbono/Nitrogênio é fundamental para o processo de compostagem, o carbono como fonte de energia para crescimento da população de bactérias, e o nitrogênio para a síntese protéica e reprodução celular.

Valores ideais para a relação em questão são próximos à 35/1, garantindo assim uma síntese celular bacteriana mais eficiente.

No início do processo, a relação C/N da grama era de 18,3. Ao final da compostagem dos resíduos de grama obtiveram-se os seguintes dados a respeito de carbono e nitrogênio:

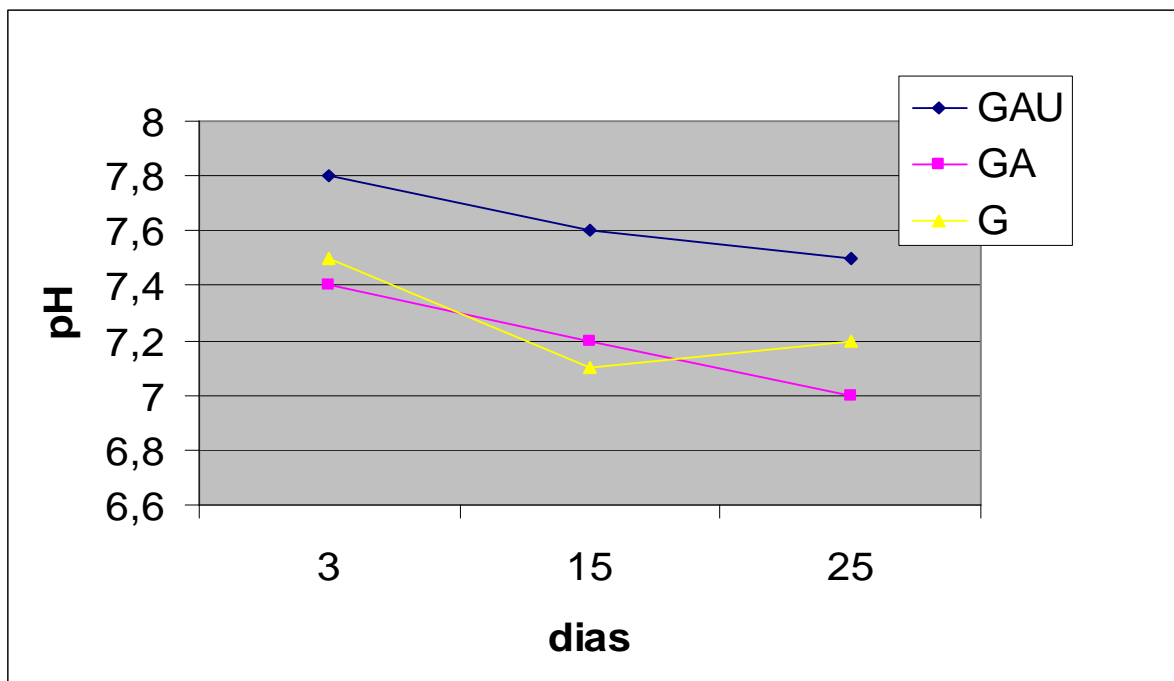
<b>LEIRAS</b>	<b>C/N inicial</b>	<b>C/N final</b>
<b>GAU</b>	15,4	11,4
<b>GA</b>	18,3	16,4

**Tabela 8** – Relação carbono/nitrogênio ao final da compostagem de grama.

As relações baixas de carbono/nitrogênio são devidas, provavelmente, à perda de carbono durante o processo de compostagem (degradação da matéria orgânica), na forma de gás carbônico. Lembrando ainda, que a leira GAU foi acrescida de nitrogênio no início do processo, resultando no baixo valor de C/N.

### 3.1.3 Monitoramento do pH

O controle deste fator é a garantia de um ambiente propício para sobrevivência e proliferação bacteriana. Valores ideais de pH encontram-se em torno de 7,0, ou seja, um pH neutro.

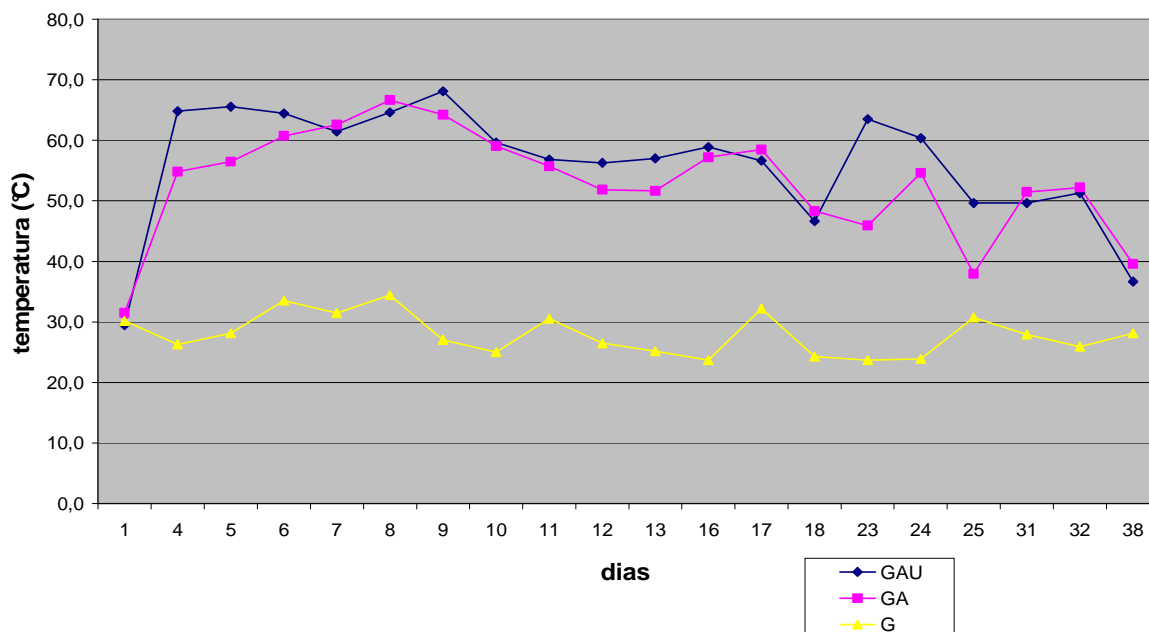


*Ilustração 7 – Variação do pH dos resíduos conforme o avanço da compostagem.*

Nota-se na Ilustração 11 que os valores de pH pouco se alteraram, mantendo-se perto da neutralidade. Tal fato já era esperado visto a natureza dos resíduos em estudo.

#### 3.1.4 Evolução da temperatura

A variação da temperatura é uma importante ferramenta, que nos permite avaliar a decomposição da matéria orgânica, visto que o aumento da temperatura está ligado com o crescimento da população de bactérias.



**Ilustração 8** – Evolução da temperatura nas leiras durante o período de compostagem de resíduos de grama.

Já nos primeiros dias de compostagem as leiras GA e GAU atingiram temperaturas termofílicas, e estas perduraram por aproximadamente 1 mês de processo.

A partir do dia 35 de compostagem, a temperatura caiu para índices mesofílicos e não mais retornou às temperaturas anteriores, apesar de tal fato ter ocorrido em períodos antecedentes, como por exemplo, entre os dias 24 e 30.

As leiras GA e GAU atingiram temperaturas que podem promover a desinfecção dos organismos patogênicos. Assim, a compostagem provavelmente cumpriu com um dos seus propósitos.

Outra informação importante que se pode retirar, é que a evolução da temperatura das leiras com uréia (GAU) e sem uréia (GA) é semelhante, de maneira que pouco influenciou a adição de tal substância nos resíduos.

É nítida a confirmação de que o controle da umidade é essencial para uma boa evolução da compostagem quando são comparadas as temperaturas da leira seca (G) com as outras, nas quais houve a adição de água.

Ainda pode-se averiguar a duração da fase de decomposição da matéria orgânica (em torno de 1 mês), uma vez que a decomposição está relacionada com o crescimento da população de bactérias, que por sua vez influencia o aumento da temperatura.

Analisando o gráfico de temperatura juntamente com o gráfico de umidade, podemos observar que a queda da temperatura, após 1 mês de compostagem, não é devido à uma possível diminuição no teor de umidade, confirmando a queda da taxa de decomposição da matéria orgânica.

### 3.1.5 Evolução do teor de sólidos

Por meio deste parâmetro podemos acompanhar a degradação do resíduo durante o processo de compostagem. A porcentagem dos sólidos voláteis tende a diminuir à medida que a matéria orgânica é degradada, e conseqüentemente ocorre um aumento no percentual de sólidos fixos.

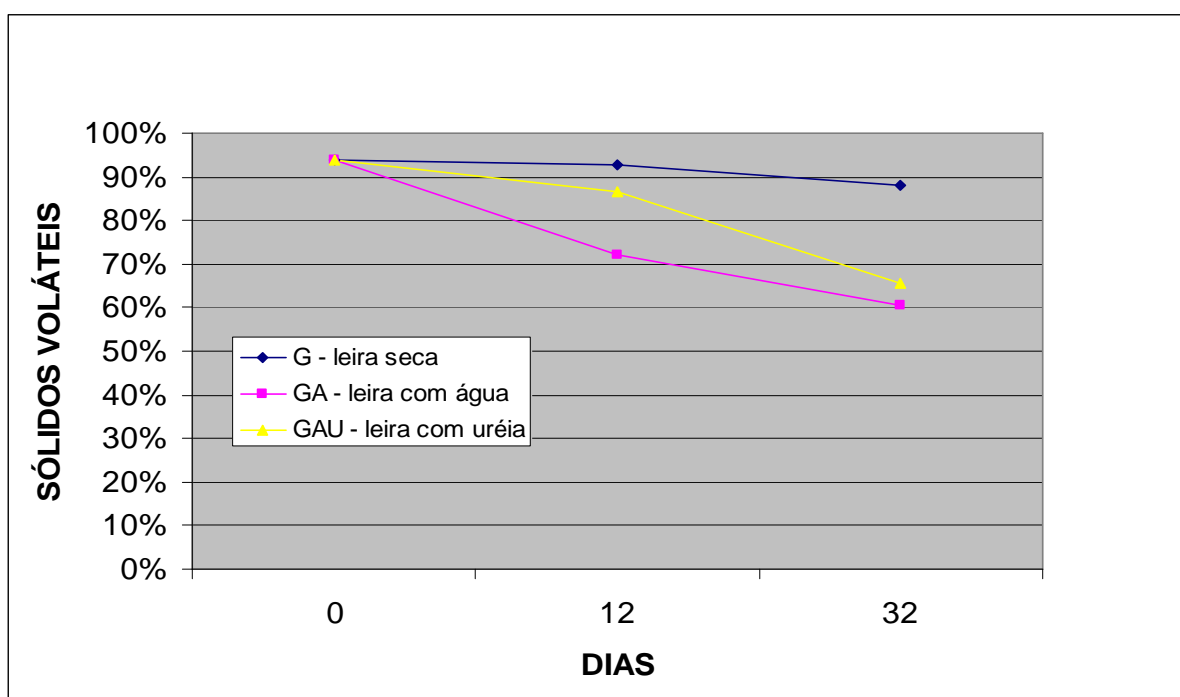
<b>Dias</b>	<b>Leira</b>	<b>Sólidos totais</b>	<b>Sólidos fixos</b>	<b>Sólidos voláteis</b>
0	G	86,03%	6,18%	93,82%
12	G	86,17%	7,36%	92,64%
12	GA	26,94%	27,97%	72,03%
12	GAU	25,49%	13,36%	86,64%
32	G	86,75%	12,10%	87,90%
32	GA	42,65%	39,59%	60,41%
32	GAU	38,42%	34,50%	65,50%

**Tabela 9** – Valores de sólidos totais, fixos e voláteis, da compostagem de resíduos de grama.

A tabela 9, que abrange o período em que as leiras se encontravam com temperaturas elevadas, pode mostrar maior degradação dos resíduos nas leiras com a umidade controlada, sendo mais nítida ainda na leira que recebeu uréia.

O dia “zero” é comum às 3 leiras, visto que foram montadas com o mesmo lote de grama, e no mesmo dia.

A queda no percentual dos sólidos voláteis, de 72,03% para 60,41% na leira com água e de 86,64% para 65,5% na leira com água e uréia, indica a diminuição da matéria orgânica presente na leira, principalmente das substâncias mais facilmente biodegradáveis. Esta queda pode ser mais bem visualizada no gráfico a seguir.



**Ilustração 9** – Monitoramento dos sólidos voláteis nas leiras de grama.

### 3.1.6 Conclusões

Esta primeira fase do estudo sobre compostagem de resíduos vegetais mostrou que o resíduo de grama apresentou um bom comportamento

durante o processo, tanto quanto à higienização dos materiais, quanto à diminuição do volume de resíduo.

Também foi possível notar a degradação da matéria orgânica pela diminuição volumétrica das leiras, passando de 7m<sup>3</sup> para menos de 1m<sup>3</sup>.



**Ilustração 10** – À esquerda, o composto já maturado da leira GAU, e à direita da leira GA.

A umidade foi fator determinante para o bom resultado do processo. Este fato pode ser observado pela não redução de volume e nem aumento de temperatura na leira em que não houve tal controle, fatos diretamente relacionados à atividade bacteriana.

Quanto à adição de nitrogênio, não foi verificada diferença significativa no percentual de degradação e na elevação da temperatura, entre a leira que recebeu uréia e a que não recebeu.

Devido à maior quantidade de resíduos de grama gerados na cidade de Londrina, quando comparada com os outros dois tipos de resíduos vegetais, é viável promover a compostagem deste resíduo isoladamente.

## 3.2 Avaliação do desempenho de misturas de resíduos vegetais determinadas a partir das proporções de geração em Londrina.

Como na primeira compostagem, foram montadas três leiras, mas agora contendo resíduos de poda, feira e grama.

A leira **PF** continha resíduos de poda de árvores e feira, misturados na proporção que são gerados na cidade de Londrina (1 parte de resíduos de feira para 12 partes de resíduos de poda).

A leira **PFG** era formada pelos três resíduos estudados. A inserção de grama na leira foi motivada pela sua boa capacidade de reter umidade e capacidade de acelerar o processo de degradação. Este fato pôde também ser verificado quando Mota (2002) adicionou resíduos de grama a resíduos orgânicos domiciliares e conseguiu acelerar a decomposição da matéria orgânica, fazendo com que a fase de degradação terminasse depois de 30 dias.

Mota (2002) também adicionou serragem às leiras de resíduos domiciliares, conseguindo manter temperaturas elevadas por maior tempo (60 dias), e promover assim melhor desinfecção dos resíduos.

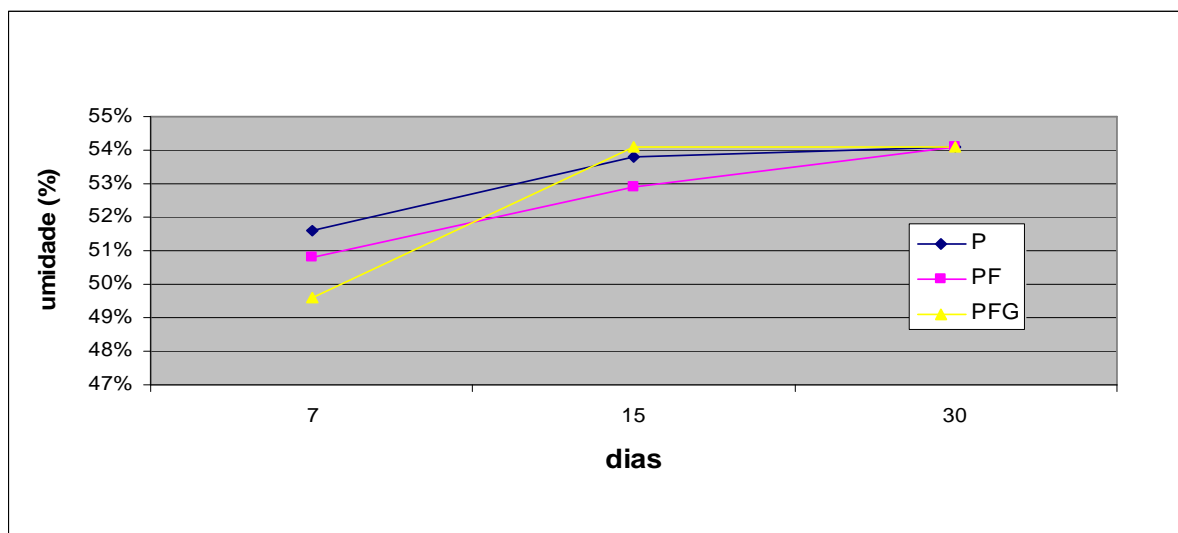
A leira **P** serviu para avaliar se a adição de frutas e/ou grama poderiam melhorar o processo de compostagem.

Seguem os resultados desta compostagem.

### 3.2.1 Acompanhamento do teor de umidade

A umidade foi controlada da mesma maneira da compostagem anterior, uma vez que tal método proporcionou um resultado satisfatório.

Tal procedimento acabou não resultando em teores de umidade ideais, devido aos resíduos de poda de árvores e arbustos não reterem água como retêm os resíduos de grama.



**Ilustração 11** – Dados referentes aos teores de umidade, medidos durante o processo de compostagem dos resíduos de poda, grama e resíduos de feira.

Pode-se verificar na Ilustração 15 que o teor de umidade foi corrigido depois do sétimo dia de compostagem, fato que pode ter ocasionado o problema de falta de aquecimento nas leiras.

Quando se adicionou água, depois do dia 7, a temperatura das leiras caiu, mostrando um esfriamento da massa de resíduos devido à adição de água.

Depois do esfriamento, as leiras não mais se aqueceram, mostrando que o erro cometido no começo do processo comprometeu o restante da compostagem.

### 3.2.2 Verificação da relação C/N

LEIRA	C/N inicial	C/N final
P	26,6	23
PF	19,2	16,4
PFG	25,3	22,8

**Tabela 10** – relação carbono/nitrogênio durante a compostagem dos três tipos de resíduos.

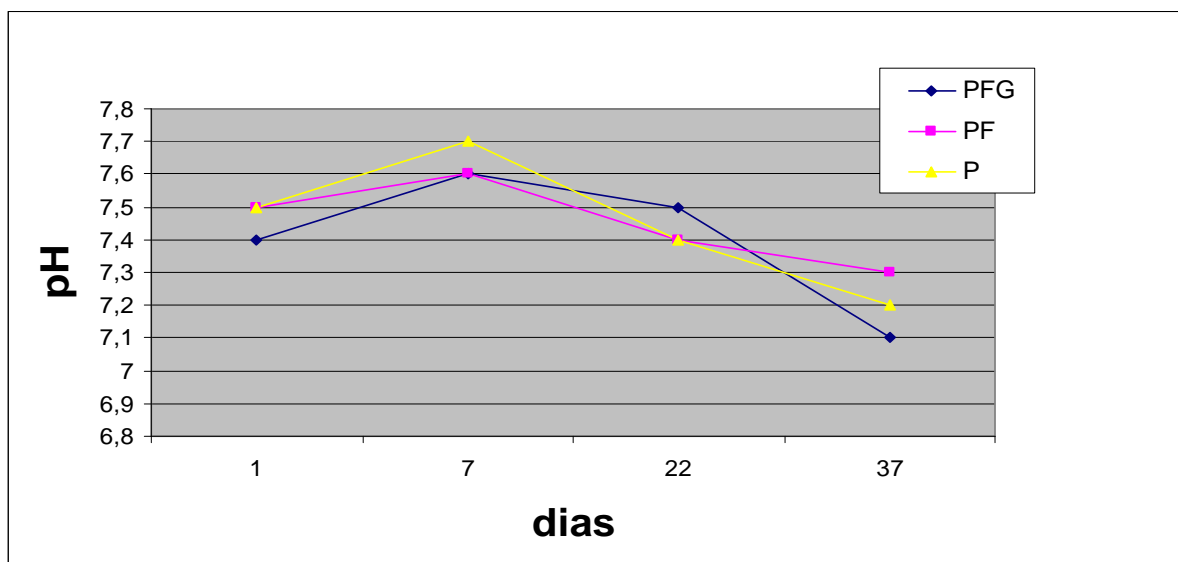
Os valores de C/N finais foram determinados em amostras coletadas com 180 dias de compostagem.

A baixa taxa de degradação da matéria orgânica gerou a pequena queda na relação C/N visualizada na Tabela 10, ou seja, pouco carbono foi degradado.

Como já foi descrito anteriormente, o carbono dos resíduos de poda são de difícil degradação, está na forma de celulose, lignina e etc.

Os teores de nitrogênio e Carbono não foram limitantes para o crescimento bacteriano.

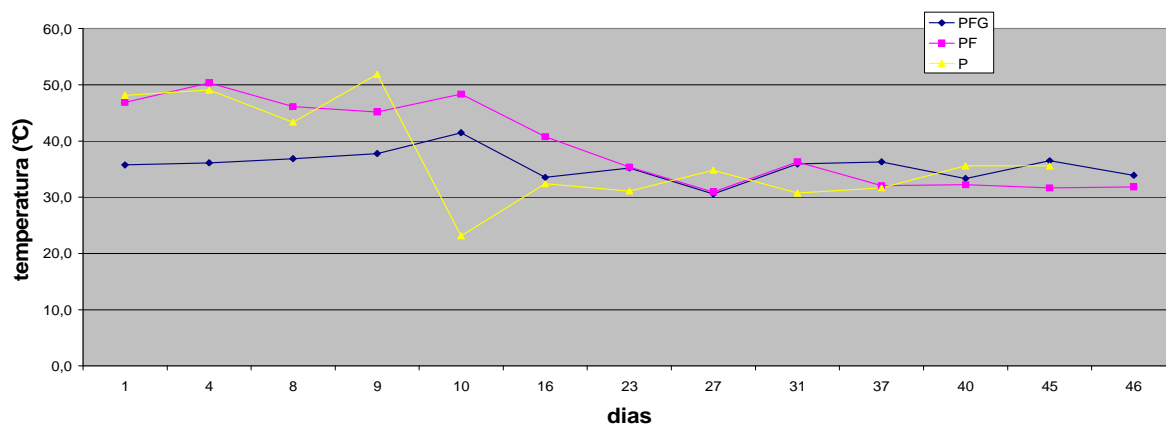
### 3.2.3 Monitoramento do pH



**Ilustração 12** – Acompanhamento do pH da compostagem de resíduos vegetais.

O pH manteve-se praticamente neutro durante todo o processo, não ocasionando problemas para a população de microorganismos.

### 3.2.4 Evolução da temperatura



**Ilustração 13** – Evolução da temperatura na compostagem dos três tipos de resíduos vegetais.

Nota-se que a temperatura das leiras não atingiu níveis satisfatórios, não oferecendo assim condições para esterilização dos patógenos.

Apesar das baixas temperaturas verificadas num âmbito geral, observa-se que nos 10 primeiros dias encontram-se as maiores temperaturas, dias estes considerados como os de maior ação e crescimento das bactérias.

O fato da temperatura não aumentar deveu-se provavelmente ao erro no controle da umidade na primeira semana de processo, como pode ser verificado na **ilustração 15**.

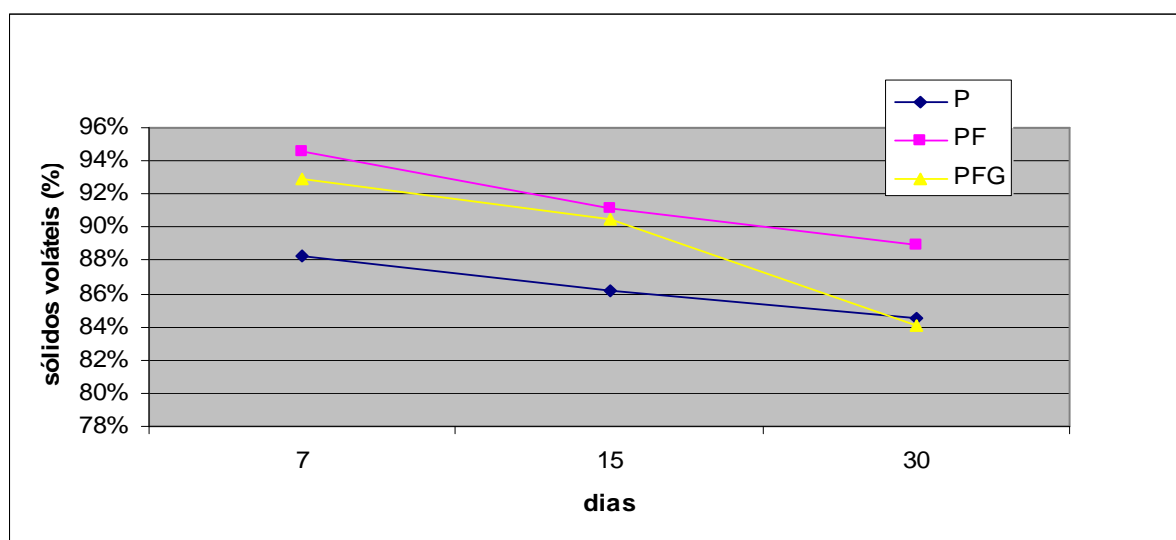
### 3.2.5 Evolução do teor de sólidos

Este experimento teve uma baixa diminuição dos sólidos voláteis, como pode ser visto na Tabela 11 e na Ilustração 18, ambos a seguir.

### Série de sólidos

Dias	Leira	Sólidos totais	Sólidos Fixos	Sólidos Voláteis
7	P	48,40%	11,70%	88,30%
7	PF	49,20%	5,40%	94,60%
7	PFG	50,40%	7,10%	92,90%
23	P	46,20%	13,80%	86,20%
23	PF	47,10%	8,88%	91,12%
23	PFG	45,90%	9,50%	90,50%
38	P	45,90%	15,49%	84,51%
38	PF	45,90%	11,08%	88,92%
38	PFG	45,90%	15,89%	84,11%

**Tabela 11** – Valores de sólidos totais, fixos e voláteis da segunda compostagem.



**Ilustração 14** – Monitoramento da degradação da matéria orgânica no 2º experimento.

É possível observar na Tabela 11, que mesmo para intervalos grandes de tempo, cerca de 15 dias, o aumento dos sólidos fixos foi ínfima, e conseqüente

baixa diminuição dos sólidos voláteis. Isso mostra a pequena taxa de decomposição da matéria orgânica.

Essa baixa taxa de degradação foi devida ao não aumento da população de bactérias termófilas, sendo que tal aumento não aconteceu devido às condições inadequadas de umidade.

### 3.2.6 Conclusões

Ao contrário da primeira compostagem, este experimento não obteve resultados satisfatórios, mostrando uma lentidão na degradação da matéria orgânica.

Como já discutido, a baixa umidade no início do processo acarretou num baixo crescimento bacteriano e conseqüente baixa decomposição da matéria orgânica, visto que outros possíveis fatores interferentes no processo foram bem controlados e não podem ser apontados como as causas da baixa e lenta decomposição dos resíduos, como por exemplo, a relação Carbono/Nitrogênio ou o pH.

## **3.3 Avaliação de misturas de resíduos vegetais determinadas em função da otimização da umidade final.**

Após a verificação de que a baixa umidade foi o fator que interferiu negativamente para o processo de compostagem dos resíduos vegetais, e que o controle do teor de umidade por meio da adição de água nas leiras torna o processo inviável operacionalmente, surgiu uma nova proposta para a escolha das proporções das leiras.

A umidade final foi utilizada como fator determinante para a mistura dos resíduos. Deste modo, as leiras ganharam maiores quantidades de frutas e verduras, e simultaneamente, maiores quantidade de nitrogênio.

### 3.3.1 Perda de umidade dos resíduos de grama

Os 2 experimentos anteriores mostraram que o resíduo de grama, dentre os 3 resíduos que fizeram parte do estudo, é o que perde umidade mais rapidamente. Por este motivo, foi realizado um estudo sobre este fenômeno, com finalidade de repor a água perdida pela grama.

Foram então, coletadas amostras de grama, e acompanhou-se a perda da umidade dessas amostras durante 4 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 12.

<b>Dia</b>	<b>Teor de umidade</b>	<b>% de umidade perdida</b>
1	68,90%	0,00%
2	16,10%	76,63%
3	8,90%	87,08%
4	7,80%	88,68%

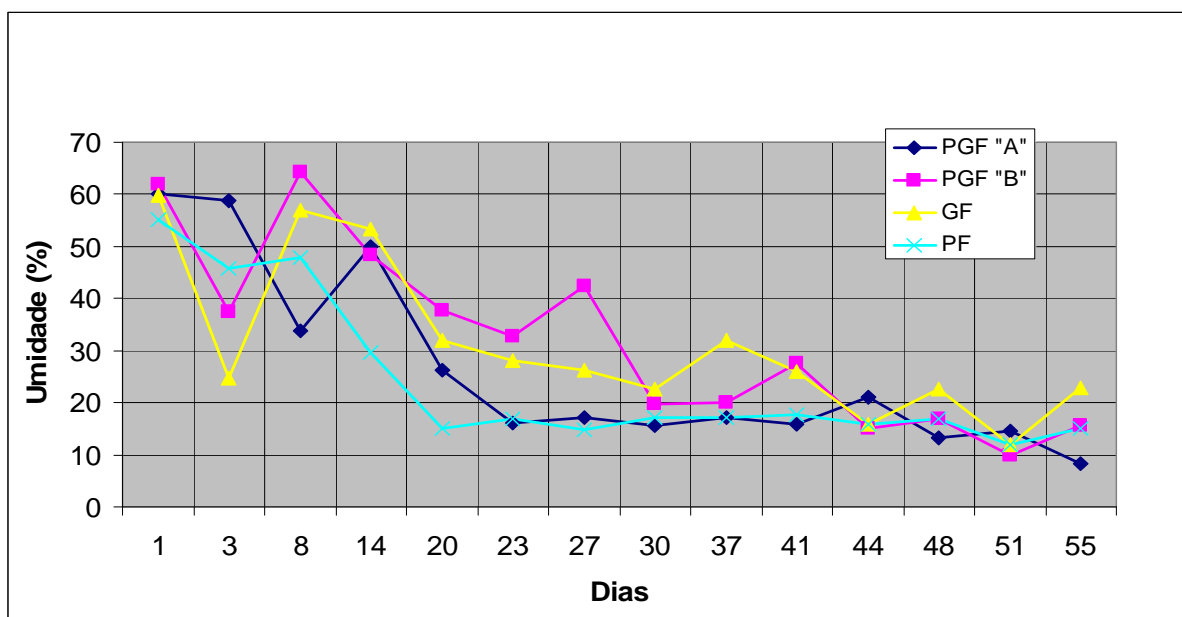
**Tabela 12** – perda de umidade da grama ao longo do tempo.

Pode-se notar que em 4 dias as aparas de grama perderam mais de 80% da sua umidade original, portanto, se os resíduos demorarem para ser encaminhados às leiras, a perda de umidade deve ser levada em conta para determinação das proporções de resíduos na mistura.

Como o resíduo de grama que foi utilizado neste experimento havia sido podado 3 dias antes da montagem das leiras, foi necessário adicionar 14 litros de água em cada leira para que a umidade da grama retornasse à original.

### 3.3.2 Acompanhamento do teor de umidade

Em todos os experimentos constatou-se uma grande diminuição da umidade das leiras, apesar de água ser um dos produtos da decomposição.



**Ilustração 15** - Evolução do teor de umidade no 3º experimento.

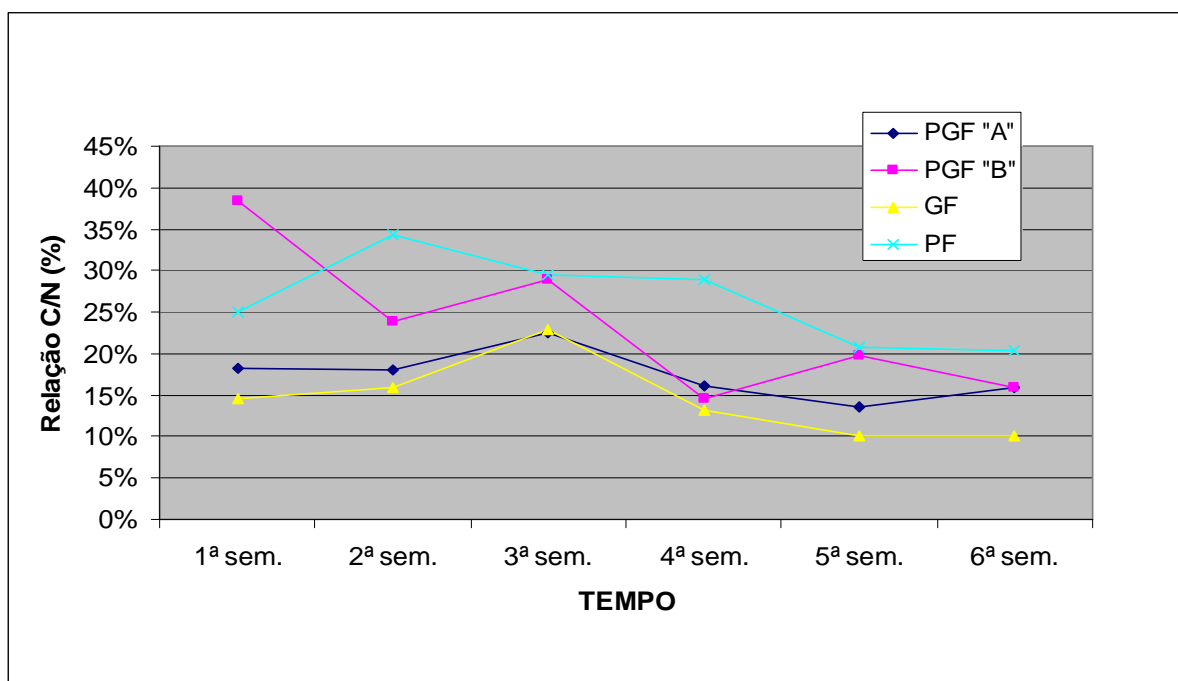
Nota-se que apesar de a umidade considerada como ótima ter sido conseguida; sem adição de água, apenas com a mistura dos diferentes tipos de resíduos, em poucos dias seus valores caíram e não mais retornaram aos valores iniciais. Este fato deveu-se ao fato da perda de umidade para o ambiente não ter sido compensada pela produção de água no processo de degradação e não ter havido reposição externa suficiente.

Diante da situação, durante os 30 primeiros dias foram adicionados 10 litros de água semanalmente em cada uma das leiras, para que a umidade não diminuísse em demasia. Assim que cessou a adição de água, a umidade permaneceu em torno dos 20%.

Como as frutas e legumes não foram triturados, na tentativa de reproduzir mais fielmente uma situação real de compostagem em grande escala, pode ter ocorrido dificuldade de compartilhamento de água, principalmente das partes mais internas destes materiais, e conseqüente dificuldade na incorporação da umidade dos resíduos de feiras pelas demais partes da leira.

### 3.3.3 Verificação da relação C/N

O Carbono e o Nitrogênio são utilizados pelas bactérias durante a decomposição da matéria orgânica, e seu consumo está diretamente ligado ao aumento da quantidade de microorganismo e na taxa de degradação que eles proporcionam.



**Ilustração 16** – Acompanhamento da relação C/N.

É possível observar a queda nos níveis de carbono, considerando apenas o início e o fim do experimento, porém existiram momentos de elevação desse elemento durante o processo.

Analisando o processo como um todo, é esperada a diminuição nos níveis de carbono, visto a degradação da matéria orgânica.

A leira PGF "B" alcançou uma taxa de degradação de carbono de 60%, que proporcionou a queda nos valores de C/N.

Muniz et al (2001) obteve diminuição de 50% na relação C/N quando compostou resíduos de feiras misturados a palhas de milho e feijão. A queda da relação C/N, no estudo de Muniz deveu-se à degradação do carbono total, cerca de 87% de transformação de carbono.

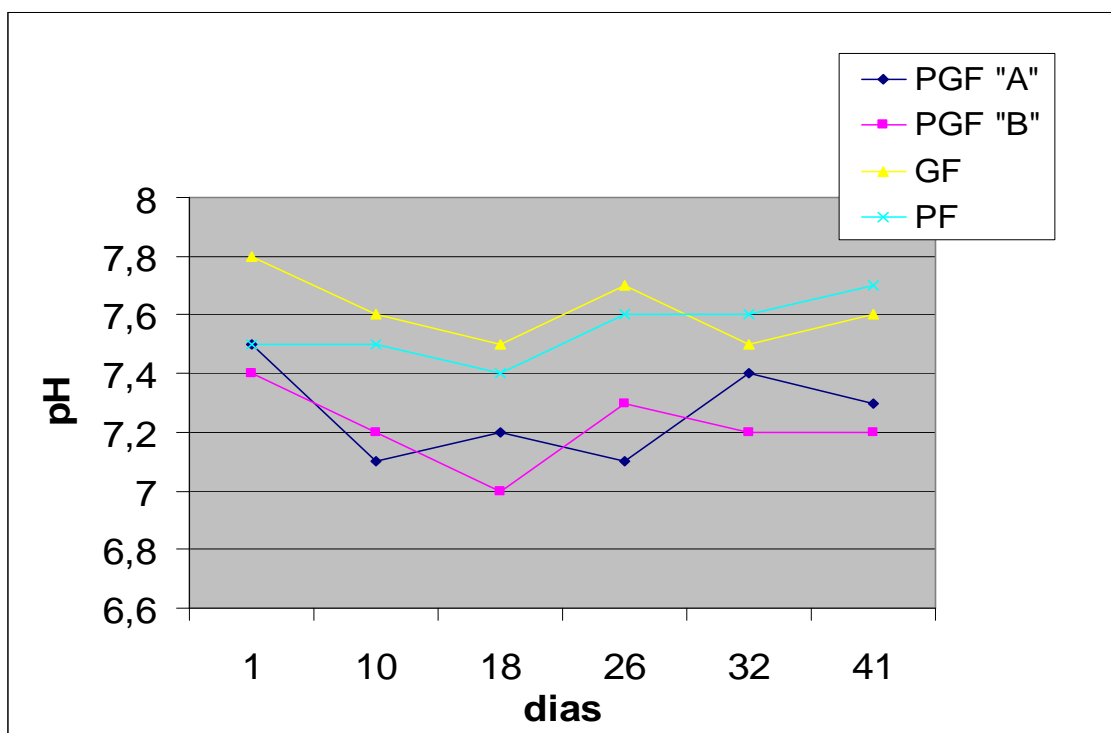
Ainda no trabalho de Muniz pôde-se verificar um aumento relativo nas quantidades de nitrogênio, assim como o acontecido neste presente estudo.

Na leira PGF "B" verifica-se a maior queda na relação C/N, na 1ª semana de compostagem, devido à diminuição nos níveis de carbono. Neste período a umidade média encontrava-se na faixa dos 55%, garantindo assim condições para o desenvolvimento dos microorganismos e decomposição da matéria orgânica.

Nota-se então, comparando o gráfico da relação C/N na Ilustração 21 com o gráfico da evolução dos sólidos na Ilustração 24, semanas em que a degradação de carbono foi a grande responsável pela diminuição da matéria orgânica das leiras (5ª semana), e outras semanas, em que a taxa de decomposição de carbono foi menor que a taxa de decomposição total nas leiras (1ª semana).

Analisando a leira PF, verifica-se-se uma taxa de degradação de carbono inferior às demais leiras, isto se explica pelo fato desta leira ser composta por maiores quantidades de poda de árvores, resíduo este, em que prevalece o carbono na forma de celulose. A celulose, como já foi dito anteriormente, é um tipo de molécula composta por cadeias de carbono que não são facilmente degradadas.

### 3.3.4 Monitoramento do pH



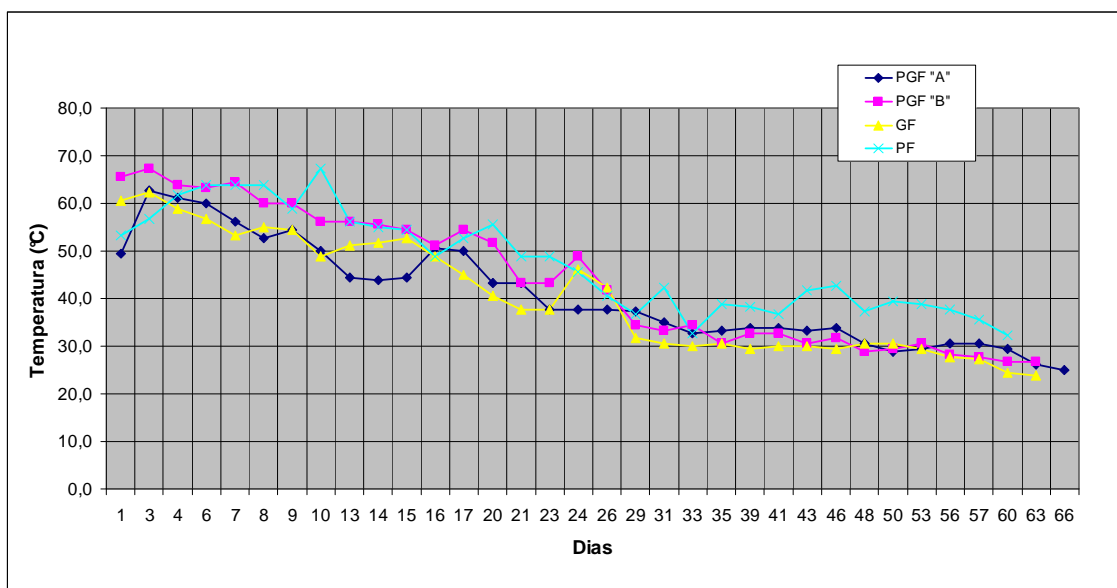
**Ilustração 17** – Acompanhamento do pH no 3º experimento.

Num panorama geral, os valores de pH mantiveram-se dentro da faixa que não inibia a ação das bactérias.

Uma leve queda nos valores de pH foi verificada durante as 3 primeiras semanas,. Provavelmente este fato deveu-se à formação de ácidos orgânicos durante o processo de degradação, em momentos de anaerobiose do processo.

### 3.3.5 Evolução da temperatura

De acordo com a Ilustração 23 a seguir, verifica-se que as leiras mantiveram temperaturas termofílicas por aproximadamente 20 dias, podendo promover esterilização dos microorganismos patógenos.

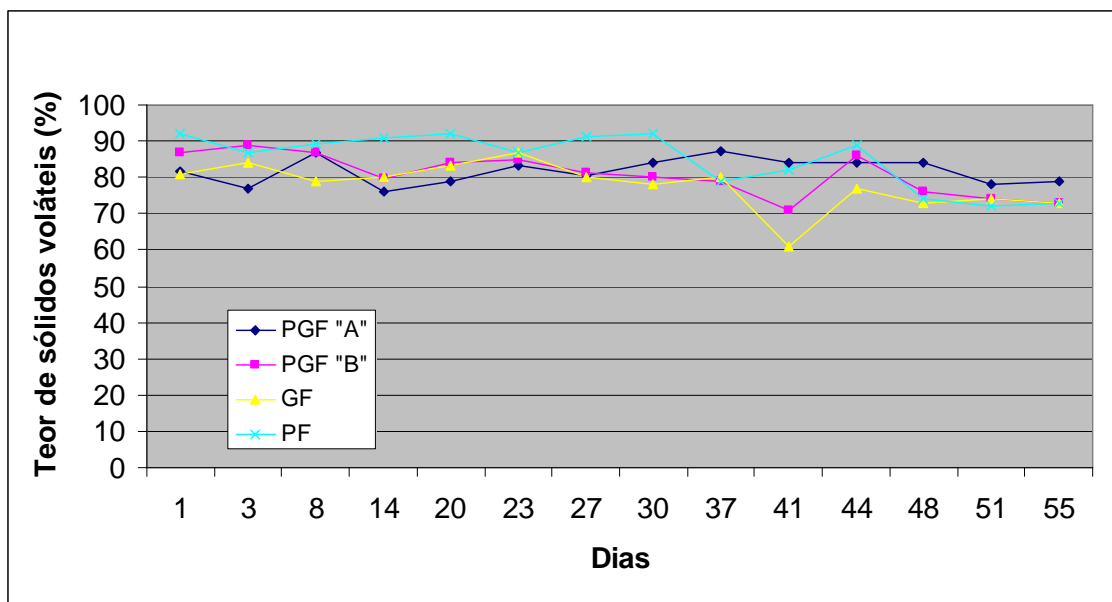


**Ilustração 18** – Acompanhamento da temperatura no interior das leiras do 3º experimento.

O fator que possivelmente influenciou o curto período de temperaturas acima de 50°C, foi a queda no teor de umidade. Esta explicação pode ainda ser confirmada analisando os picos de temperaturas ocorridos durante o processo, que são respostas à adição de água semanal.

### 3.3.6 Série de sólidos

Apresenta-se a seguir o acompanhamento da degradação da matéria orgânica das leiras, observando os percentuais de sólidos voláteis presentes na massa de resíduos.



**Ilustração 19** – Evolução dos sólidos voláteis no 3º experimento.

Para todas as leiras, verifica-se um baixo índice de degradação de matéria orgânica, o maior encontrou-se em torno de 10%, na leira PF.

Além do fato do resíduo em questão ter uma baixa degradabilidade, visto que é composto por celulose, lignina e outras formas de carbono de difícil decomposição, a alta perda de umidade levou as leiras a uma condição não ideal para um bom processo de compostagem.

### 3.3.6 Conclusões

Após a análises dos dados apresentados, pode-se concluir que a mistura de frutas e verduras aos resíduos de podas e aparas não garantiu um teor de umidade considerado apropriado para o processo de compostagem durante um tempo suficiente para que ocorresse uma maior degradação da matéria orgânica, mesmo quando os 3 resíduos foram misturados em proporções que alcançaram valores propícios de umidade, em torno de 60%.

A baixa taxa de degradação foi devida aos baixos teores de umidade, aliados com a difícil degradabilidade dos resíduos de podas.

Os dados de temperatura deste estudo são semelhantes àqueles que Dias (1999) encontrou (50° e 65°C na fase termófila), em leiras revolvidas, compostas por resíduos orgânicos da Universidade Estadual de Feira de Santana (restos de cantina e creche misturados a resíduos de poda e bagaço de cana). Neste estudo, Dias controlou a umidade durante todo o processo, por meio de adição de água. As leiras de Feira de Santana eram semelhantes às deste trabalho, bem como as quantidades de resíduos de poda.

## 4. CONCLUSÕES

Tendo em vista os 3 experimentos realizados, na tentativa de avaliar a compostagem de diferentes tipos de resíduos vegetais e encontrar um método de composição das leiras que não cause grandes dificuldades operacionais, ficou claro a necessidade de controlar a umidade durante a fase de degradação ativa do processo.

O controle da umidade pode ser feito com freqüente adição de água nas leiras, porém este processo pode se tornar inviável do ponto de vista operacional, principalmente quando a quantidade de resíduos compostados é grande.

A utilização dos resíduos de frutas e verduras para atingir a umidade é válida, porém, a umidade perdida para o ambiente deve ser reposta.

Os resíduos de aparas de grama têm maior facilidade de decomposição do que os resíduos de poda, quando a compostagem acontece em condições favoráveis, não havendo necessidade de acrescentar quaisquer outros resíduos ou substâncias nas leiras para acelerar a compostagem.

Um problema operacional foi verificado durante a compostagem de resíduos vegetais, mais especificamente com as frutas e legumes.

A maior parte dos resíduos de feira e mercados municipais é composta por laranjas, cebolas e batatas, e a sua forma geométrica (arredondados) dificulta a mistura com os demais resíduos. Quando as leiras têm a forma cônica, de base circular, os resíduos de feira tendem a rolar para fora da massa, tanto durante a montagem, quanto no revolvimento das leiras.

Também ocorreram dificuldades durante o revolvimento das leiras compostas apenas por aparas de jardins. Após a segunda semana de compostagem, os resíduos fundiram-se em placas de grama, dificultando a sua

manipulação. Estas placas começaram a desfazer-se apenas no final da fase de degradação.

Provavelmente, utilizando um sistema que garanta o teor de umidade necessário ao processo de compostagem, serão verificados melhores resultados, porém, o método de adição de água na massa de resíduos deve ser escolhido de acordo com as possibilidades operacionais.

Uma sugestão que merece um estudo mais aprofundado é adição periódica e controlada de resíduos de frutas, como forma de adição de água.

## 5. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

1. ALKOAİK, F.; GHALY, A.E. **Influence of dairy manure addition on the biological and thermal kinetics of composting of greenhouse tomato plant residues.** Biological Engineering Department, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada, 2005.
2. CASTILHOS, A. B. J. **Tratamento de resíduos sólidos.** Edição. PROSAB/FINEP Rio de Janeiro, 2006.
3. DIAS, S. M. F.; CARVALHO, M. C. **Fungos em pilhas de compostagem aeróbica.** 20º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 1999.
4. EPA – Environmental Protection Agency. **Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste.** USA, 1994.
5. EPSTEIN, E. **The Science of Composting.** CRC Press, 1997.
6. FERNANDES, F.; Silva, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de biossólidos.** Edição. PROSAB/FINEP, Rio de Janeiro, 1999
7. FUSCALDO, W. C. **Resíduos sólidos: práticas e conceitos. Um estudo a partir da experiência de Londrina-PR.** São Paulo, 2004.
8. LIMA, L. M. Q. **Lixo – tratamento e biorremediação.** 3a ed. São Paulo: Hemus Editora, 1995.
9. MARGESIN, R.; CIMADOM, J.; SHINNER F. **Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures.** Institute of Microbiology, Leopold Franzens University, Technikerstrasse 25, A-6020 Innsbruck, Áustria, 2006.

10. MOTA, J. P. et al. **Utilização da compostagem para o tratamento de resíduos de madeira e aparas de grama.** XXVIII Congresso Interamericano, México, 2002.
11. MUNIZ, A. C. S. et al **Eficiência de transformação de carbono total e nutrientes no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental , 2001.
12. TEIXEIRA, L. B. et al. **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural.** Edição. EMBRAPA/MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, Belém, 2004.