

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO, URBANISMO E AMBIENTE

CARLOS HENRIQUE STOCO ORTOLAN  
MURILO TOMAZINI MUNHOZ MOYA

**COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS DA FCT/UNESP DE PRESIDENTE PRUDENTE**  
**– SP**

PRESIDENTE PRUDENTE

2011

CARLOS HENRIQUE STOCCO ORTOLAN

MURILO TOMAZINI MUNHOZ MOYA

**COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS DA FCT/UNESP DE PRESIDENTE PRUDENTE**  
**– SP**

Trabalho de graduação apresentado ao Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – *Campus* de Presidente Prudente, como um dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

**Orientadora:** Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

PRESIDENTE PRUDENTE

2011

Ortolan, Carlos Henrique Stocco.

O89c            Compostagem dos Resíduos da FCT/UNESP de Presidente Prudente –SP  
/ Carlos Henrique Stocco Ortolan, Murilo Tomazini Munhoz Moya.  
Presidente Prudente : [s.n], 2011.

x, 64 f. : il.

Orientadora: Maria Cristina Rizk

Trabalho de conclusão (bacharelado – Engenharia Ambiental) -  
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Inclui bibliografia

1. Resíduo. 2. Compostagem. 3. Leiras. 4. Reator. 5. Tratamento. I. Moya,  
Murilio Tomazini Munhoz. II. Rizk, Maria Cristina . III. Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. IV. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Presidente Prudente



## TERMO DE APROVAÇÃO

II

MURILO TOMAZINI MUNHOZ MOYA e CARLOS HENRIQUE STOCO ORTOLAN

### "COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS DA FCT/UNESP DE PRESIDENTE PRUDENTE - SP"

Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:

Profa. Dra. Maria Cristina Rizk (Orientadora)

Profa. Dra. Renata ribeiro de Araújo

Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira

Presidente Prudente, 23 de novembro de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, acima de tudo a Deus, bem como a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e em especial:

Especialmente aos nossos pais e familiares, que tanto nos apoiaram e incentivaram ao longo de nossas vidas.

À Profa. Dra. Maria Cristina Rizk pela orientação, paciência, amizade, conhecimentos e conselhos transmitidos ao longo de nossa vida acadêmica.

Aos nossos professores, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários da FCT-UNESP, pela ajuda na obtenção de resíduos e auxílios diversos.

E por fim, a todos nossos amigos, que sempre estiveram presentes, não só nos momentos de glória, nos apoiando e nos motivando a seguir em frente.

“ Meu Deus agradeço por me dar força e convicção para concluir a tarefa que me convio. Obrigado por me guiar sem hesitar através de muitos obstáculos em meu caminho, e por me manter determinado quando o mundo parecia perdido. Agradeço a sua proteção e aos seus sinais ao longo do caminho. Obrigado pelo bem que eu possa ter feito e lamento muito pelo NÃO”.

O livro de Eli

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar o processo de compostagem utilizando dois métodos de tratamento, um convencional e outro mecanizado, para o tratamento dos resíduos de poda/capina e dos resíduos orgânicos gerados nas cantinas da FCT/UNESP. Para a realização deste trabalho, foi quantificada, por meio de pesagens, a geração desses resíduos no campus. O sistema de tratamento convencional por compostagem foi realizado em leiras com revolvimento manual nas proporções mássicas: 70% resíduo de poda/capina (RPC) e 30% resíduo orgânico da cantina (ROC), 50%RPC / 50%ROC e 30%RPC / 70% ROC. O sistema mecanizado foi constituído por um reator de 190 litros na proporção mássica de 50%RPC / 50%ROC, com aeração proveniente do uso de um compressor durante 15 minutos diários. Os parâmetros foram caracterizados ao longo do processo por meio do pH, matéria orgânica, carbono orgânico, resíduo mineral, nitrogênio Kjeldahl e fósforo. As medições de temperatura foram realizadas diariamente por meio de um termopar digital, em diferentes alturas (topo, meio e base do composto) na leira e no reator aerado. O composto final obtido foi caracterizado e seus parâmetros comparados com os valores estipulados pela Instrução Normativa n 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que regula a comercialização dos compostos orgânicos através de seus valores norteadores. Os compostos produzidos também foram utilizados no cultivo de milho. Dessa forma, a umidade foi o único parâmetro que apresentou resultados fora do considerado ideal, porém a secagem do composto pode ajustar o parâmetro facilmente. Os resultados obtidos ao longo do monitoramento das leiras 1, 2, 3 e do reator apresentaram comportamentos similares, porém o reator proporcionou uma maturação mais rápida do composto com 60 dias de experimento. No entanto, com a maior produção do resíduo de poda e capina, convém adotar a proporção 70%RPC / 30%ROC para a produção do composto em escala real. Além disso, os compostos produzidos foram utilizados no plantio de sementes de milho por meio da semeadura direta, sendo que a proporção T7 - 60% terra / 40% composto orgânico leira 2, obteve resultados estatísticos mais significantes na produção de biomassa seca. Porém, dentre os testes realizados com o composto orgânico puro, o que obteve melhor resultado foi T1 - 70% RPC / 30% ROC, indicando novamente a viabilidade de aplicação desta condição em escala real.

**Palavras-Chave:** resíduo; compostagem; leiras; reator; tratamento

## ABSTRACT

The present work aimed to study the composting process using two methods of treatment, conventional and mechanized for the treatment of pruning/weeding waste and organic waste generated in the canteens of the FCT/UNESP. For this work, it was quantified the generation of the waste. However, of the tests with pure organic compound, which had the best result was T1 - 70% RPC / 30% ROC, again indicating the feasibility of applying this condition in scales at the campus. The conventional treatment by composting was carried out on manual aerated piles: 70% residue pruning/weeding (RPC) and 30% organic waste from the canteen (ROC); 50% RPC / 50% ROC, 30% RPC / 70% ROC. The mechanized system consisted of a reactor of 190 liters – 50% RPC / 50% ROC, with air injection from a compressor for 15 minutes daily. The parameters characterized and monitored were pH, organic matter, organic carbon, ash, nitrogen kjedahl and phosphorus. The temperature measurements were taken daily by a digital thermocouple (top, middle and base of the piles and reactor). The produced composts were characterized and their parameters were compared with the Instrução Normativa n 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento about organic compost. The produced composts had been used in the corn planting. Thus, the moisture was the only parameter that showed off the results considered ideal, but the drying of the compound can easily adjust the parameter. The results obtained during the monitoring of piles 1, 2, 3 and the reactor showed similar behavior, but the reactor provided a more rapid maturation of the compound with 60 days of experiment. However, with increased production of waste pruning and weeding, it is appropriate to adopt the proportion 70% RPC / 30% ROC to produce the composite scale. In addition, tests were carried out with the planting of corn seeds by direct seeding, T7 with the proportion - 60% soil / 40% organic compost windrow 2, the most significant statistical results obtained in the production of dry biomass. However, of the tests with pure organic compound, which had the best result was T1 - 70% RPC / 30% ROC, again indicating the feasibility of applying this condition in scale.

**Keywords:** waste; composting; pile; reactor; treatment



## SUMÁRIO

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>                                                        | <b>11</b> |
| <b>2 – OBJETIVOS.....</b>                                                          | <b>12</b> |
| 2.1 – OBJETIVO GERAL .....                                                         | 12        |
| 2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                  | 12        |
| <b>3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                              | <b>13</b> |
| 3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM .....                                          | 13        |
| 3.2 – COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS .....                                                | 14        |
| 3.2.1 – <i>Relação Carbono/Nitrogênio</i> .....                                    | 16        |
| 3.2.2 – <i>Umidade</i> .....                                                       | 17        |
| 3.2.3 – <i>Aeração</i> .....                                                       | 18        |
| 3.2.4 – <i>Temperatura</i> .....                                                   | 18        |
| 3.2.5 – <i>pH</i> .....                                                            | 20        |
| 3.2.6 – <i>Dimensão das Partículas</i> .....                                       | 20        |
| 3.3 – COMPOSTO ORGÂNICO.....                                                       | 20        |
| <b>4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                                | <b>23</b> |
| 4.1 – COMPOSTAGEM CONVENCIONAL .....                                               | 24        |
| 4.2 – COMPOSTAGEM MECANIZADA .....                                                 | 25        |
| 4.3 – MÉTODOS ANALÍTICOS .....                                                     | 27        |
| 4.3.1 – <i>Temperatura</i> .....                                                   | 27        |
| 4.3.2 – <i>pH</i> .....                                                            | 27        |
| 4.3.3 – <i>Umidade, Matéria Orgânica, Resíduo Mineral e Carbono Orgânico</i> ..... | 27        |
| 4.3.4 – <i>Nitrogênio Kjeldahl</i> .....                                           | 27        |
| 4.3.5 – <i>Fósforo Total</i> .....                                                 | 27        |
| 4.4 – APLICAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO.....                                          | 28        |
| <b>5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                           | <b>30</b> |
| 5.1 – GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DA FCT/UNESP .....                                      | 30        |
| 5.2 – COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM CONVENCIONAL E MECANIZADO.....    | 32        |
| 5.2.1 – <i>Umidade</i> .....                                                       | 32        |
| 5.2.2 – <i>Resíduo Mineral</i> .....                                               | 34        |
| 5.2.3 – <i>Matéria Orgânica</i> .....                                              | 35        |
| 5.2.4 – <i>Carbono Orgânico</i> .....                                              | 36        |
| 5.2.5 – <i>Nitrogênio</i> .....                                                    | 37        |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.6 – <i>Relação C/N</i> .....                                         | 38 |
| 5.2.7 – <i>pH</i> .....                                                  | 39 |
| 5.2.8 – <i>Fósforo</i> .....                                             | 40 |
| 5.2.9 – <i>Temperatura</i> .....                                         | 41 |
| 5.2.9.1 – <i>Temperatura da leira 70% RCP / 30% ROC</i> .....            | 41 |
| 5.2.9.2 – <i>Temperatura da leira 50% RCP / 50% ROC</i> .....            | 42 |
| 5.2.9.3 – <i>Temperatura da leira 30% RPC / 70% ROC</i> .....            | 43 |
| 5.2.9.4 – <i>Temperatura Reator 50% RPC / 50% ROC</i> .....              | 44 |
| 5.3 – <b>CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO FINAL</b> .....                      | 45 |
| 5.4 – <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM O PLANTIO DO MILHO</b> ..... | 48 |
| 5.5 – <b>DIMENSIONAMENTO DA USINA DE COMPOSTAGEM</b> .....               | 49 |
| 5.5.1 - <i>Cálculo das Dimensões da Leira de Compostagem</i> .....       | 50 |
| 5.5.2 - <i>Cálculo da Área do Pátio de Compostagem</i> .....             | 50 |
| <b>6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                                    | 52 |
| <b>7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                              | 53 |
| <b>ANEXOS</b> .....                                                      | 57 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Esquema de processo de compostagem.....                                          | 15 |
| Figura 2 - Tendência de evolução dos parâmetros de compostagem .....                        | 16 |
| Figura 3 - Curva padrão da variação da temperatura durante o processo de compostagem.....   | 19 |
| Figura 4 - Especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos.....     | 22 |
| Figura 5 - Disposição final dos resíduos de poda e capina .....                             | 23 |
| Figura 6 - Resíduos de poda/capina e orgânicos triturados.....                              | 24 |
| Figura 7 - Montagem das leiras.....                                                         | 25 |
| Figura 8 - Montagem do sistema mecanizado.....                                              | 26 |
| Figura 9 - Procedimentos realizados para o plantio do milho nos sacos de polipropileno..... | 29 |
| Figura 10 - Comportamento da umidade ao longo do experimento .....                          | 33 |
| Figura 11 - Monitoramento do resíduo mineral .....                                          | 34 |
| Figura 12 - Monitoramento da matéria orgânica.....                                          | 35 |
| Figura 13 - Monitoramento do carbono orgânico .....                                         | 36 |
| Figura 14 - Monitoramento do nitrogênio.....                                                | 37 |
| Figura 15 - Monitoramento da relação C/N .....                                              | 38 |
| Figura 16 - Monitoramento do pH .....                                                       | 39 |
| Figura 17 - Monitoramento do fósforo.....                                                   | 41 |
| Figura 18 - Variação da temperatura da leira 70% RPC / 30% ROC.....                         | 42 |
| Figura 19 - Variação da temperatura da leira 50% RPC / 50% ROC.....                         | 42 |
| Figura 20 - Variação da temperatura da leira 30% RPC / 70% ROC.....                         | 43 |
| Figura 21 - Variação da temperatura do reator 50% RCP / 50% ROC .....                       | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Caracterização inicial dos resíduos de poda/capina e dos resíduos orgânicos da cantina....                            | 31 |
| Tabela 2 – Caracterização após as misturas dos resíduos para o início da compostagem.....                                        | 32 |
| Tabela 3 – Parâmetros finais dos compostos produzidos e os valores de referência da Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009..... | 46 |
| Tabela 4 – Análise estatística dos resultados obtidos no cultivo de milho .....                                                  | 48 |

## 1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção cada vez maior de resíduos, devido, principalmente, às atividades agrícolas e industriais, constitui-se em um grande problema para a sociedade moderna. Diante disso, a reciclagem surge como uma alternativa cada vez mais necessária para o gerenciamento desses resíduos.

Atualmente, no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP de Presidente Prudente, há uma geração de diferentes tipos de resíduos sólidos, sendo que os resíduos orgânicos provenientes da manutenção das áreas verdes do campus (resíduos de poda e capina) são produzidos em grandes quantidades. Estes resíduos são dispostos a céu aberto e depositados em curvas de nível e em buracos já existentes, com isso, ocorre à geração de maus odores em decorrência da decomposição do resíduo e a atração de possíveis vetores causadores de doenças, tais como o mosquito palha e animais peçonhentos, entre outros.

Outro resíduo orgânico gerado no campus é o resíduo das cantinas, constituído em geral por restos de alimentos e cascas de frutas e verduras. Estes resíduos são acondicionados em sacos plásticos de 100 litros e colocados em caçambas próximas a cantina expostas ao tempo. A coleta destes resíduos é realizada por uma empresa terceirizada contratada pela cantina, que por sua vez adota como gerenciamento a disposição final dos resíduos no lixão do município.

Nesse sentido, uma alternativa para o gerenciamento desses resíduos seria o tratamento por meio do processo de compostagem.

O processo de compostagem pode ser considerado uma versão acelerada do processo natural de transformação da matéria orgânica no solo, sendo obtido através do fornecimento de condições favoráveis (temperatura, umidade, pH e aeração) à atividade microbiana (PROVENZANO *et al.*, 2001). A decomposição biológica depende ainda da razão de degradação dos compostos de carbono presentes na amostra (carboidratos, aminoácidos, ácidos graxos, lignina, etc), bem como seu conteúdo de nutrientes (BERNAL *et al.*, 1998a).

Dessa forma, com a aplicação do processo de compostagem haveria benefícios de ordem ambiental, de saúde pública e econômica (redução da demanda por fertilizantes químicos comprados para a jardinagem do campus).

## **2 – OBJETIVOS**

### **2.1 – OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar o processo de compostagem no tratamento dos resíduos de poda/capina e dos resíduos orgânicos das cantinas, gerados no campus da FCT/UNESP.

### **2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificação dos resíduos orgânicos gerados no campus da FCT/UNESP;
- Instalação e operação de sistemas de compostagem convencional e mecanizada;
- Monitoramento dos parâmetros físico-químicos do processo de compostagem;
- Análise e comparação dos resultados obtidos nos dois sistemas de tratamento;
- Plantio de mudas de milho com o composto produzido durante a compostagem convencional e mecanizada;
- Proposição de um sistema de tratamento em escala real para os resíduos gerados no campus da FCT/UNESP.

### **3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM**

A norma brasileira NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Atualmente, os problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes da produção de resíduos sólidos na sociedade moderna não se caracterizam tão somente pela sua inadequada disposição no meio ambiente, mas também, pela menor disponibilidade de áreas para dispor estes resíduos que, nos grandes centros urbanos, atingem volumes extremamente grandes. Enquanto os países desenvolvidos encontram problemas para selecionar áreas que atendam suas necessidades, os países em desenvolvimento se defrontam com carências tecnológicas e falta de critérios e de controle na disposição final dos resíduos (RAMOS, 2004).

Segundo Kassenga (1999), há mais de 50 anos, a disposição de resíduos urbanos tem se tornado um difícil problema para o desenvolvimento dos países, pois interfere diretamente no saneamento básico. Muitas cidades e comunidades adotam métodos inadequados de disposição dos resíduos, os quais são responsáveis por problemas ambientais como a contaminação das águas superficiais e sub superficiais, do solo e do ar. Também, como consequência das condições inadequadas de disposição dos resíduos sólidos urbanos aparece a proliferação de vetores, que coloca em risco a saúde da população, a alteração da estética da paisagem e a geração de odores desagradáveis, que contribuem para a diminuição do valor comercial de venda da terra (BRAGA e BONETTO, 1993; IBGE, 2000; SOARES e GRIMBERG, 2000).

Na tentativa de se resolver ou atenuar o problema da disposição de resíduos sólidos urbanos, algumas medidas têm sido tomadas, em relação às questões de produção de energia, geração de empregos e preservação dos recursos naturais renováveis e não renováveis. A implantação de programas de reciclagem pode proporcionar a oportunidade de recuperar resíduos e transformá-los novamente em materiais utilizáveis. Desta forma, recuperar recursos de valor intrínseco é uma justificativa para a reciclagem. Para isto, é necessário que sejam

encontradas soluções, não necessariamente de baixo custo, e estabelecidos critérios que possam facilitar a implantação e a operação desses sistemas e que sejam de grande durabilidade (HASSOL, 1989, SOARES e GRIMBERG, 2000; VAZ e CABRAL, 2000, CALDERONI, 2003; CALDAS, 2000; GRIPPI, 2001).

Giffoni e Lange (2005) citam que o desenvolvimento de estudos visando à reciclagem ou reutilização de resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas, diminuindo os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores dos resíduos, além de preservar o meio ambiente.

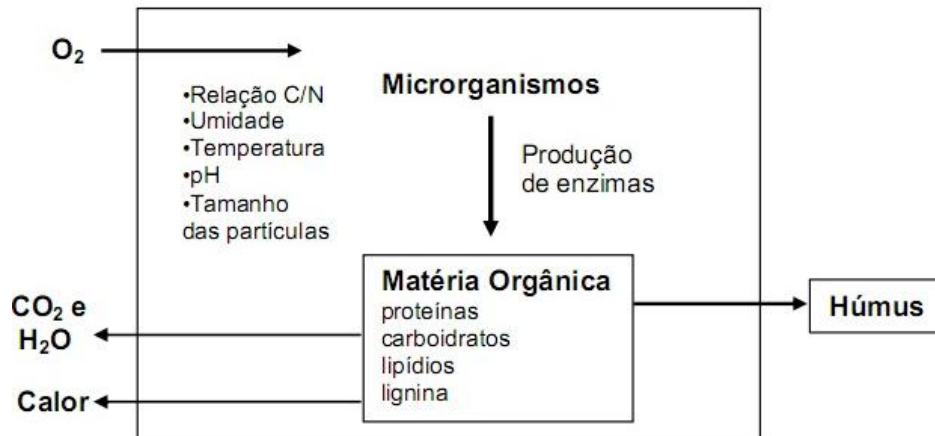
Para a fração orgânica dos resíduos, a compostagem se mostra como uma alternativa interessante de reutilização, pois tem a capacidade de reduzir em aproximadamente 50% o volume e a massa dos resíduos, além de gerar um produto estável que pode ser reaproveitado de forma benéfica na agricultura (SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2002; CHEFETZ *et al.*, 1996). Além disso, o aumento do custo dos fertilizantes comerciais e a crescente preocupação com a qualidade ambiental fazem do uso de resíduos orgânicos na agricultura uma alternativa atrativa.

### 3.2 – COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS

A compostagem pode ser definida como um processo biológico de oxidação aeróbia e exotérmica de um substrato orgânico, no estado sólido, caracterizando-se pela produção de CO<sub>2</sub>, vapor de água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável denominada húmus (BERNAL *et al.*, 1998b).

Na matéria orgânica é encontrada uma densa população de microrganismos, que usam minerais, compostos orgânicos, água e oxigênio para o crescimento e suas atividades metabólicas. A capacidade dos microrganismos transformarem a matéria orgânica depende de suas habilidades de produzir enzimas necessárias à degradação dos substratos (TUOMELA *et al.*, 2000). Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas das transformações, sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo (BETTIOL e CAMARGO, 2000). As interações entre as variáveis ambientais durante o processo da Figura 1 não são bem compreendidas e deste modo, às vezes, não são consideradas no controle do processo.





**Figura 1 - Esquema de processo de compostagem**

Fonte: Adaptado de (TUOMELA *et al.*, 2000)

Segundo Pereira Neto (1987) a compostagem pode ser efetuada em duas fases distintas: fase ativa – ocorrem reações bioquímicas de oxidação mais intensas, predominantemente termófilas; fase de maturação – ocorre o processo de humificação e o húmus resultante deste processo é considerado excelente condicionador de solos.

O processo de compostagem pode ser executado de três maneiras principais (Von Sperling, 1996):

- Leiras revolvidas: Revolvimento por tratores, possibilitando a aeração da mistura, cujo tempo de detenção é entre 50 e 90 dias;
- Leiras estáticas aeradas: Aeração por tubulação perfurada, com o ar advindo de sopradores ou sendo aspirado, cujo tempo de detenção é entre 30 e 60 dias.
- Reatores Biológicos: Sistemas fechados, com maior controle e menor tempo de reação, cujo tempo de detenção é de pelo menos 14 dias no reator e 14 a 21 dias em cura.

Assim, o processo de compostagem aeróbio de resíduos orgânicos tem como produto final o composto orgânico, um material rico em húmus e nutrientes minerais que pode ser utilizado na agricultura como condicionador de solos, com algum potencial fertilizante (IBAM, 2001).

De acordo com Sant’anna (2001), o composto orgânico produzido pela compostagem de resíduos tem como principais características a presença de nutrientes e a sua qualidade é função da quantidade destes elementos. O húmus torna o solo poroso, permitindo a aeração das raízes, retenção de água e de nutrientes. Os nutrientes minerais podem chegar a 6% em

peso do composto e incluem nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro, que são absorvidos pelas raízes das plantas.

O composto orgânico pode ser utilizado em qualquer tipo de cultura associado ou não a fertilizantes químicos, podendo ainda ser utilizado para corrigir a acidez do solo, na recuperação de áreas erodidas e em projetos de reflorestamento de encostas (SANT'ANNA 2001).

A Figura 2 apresenta as tendências de evolução das principais variáveis limitantes da compostagem: pH, umidade, matéria orgânica total, nitrogênio total e relação C/N, sendo que as mesmas serão descritas a seguir.

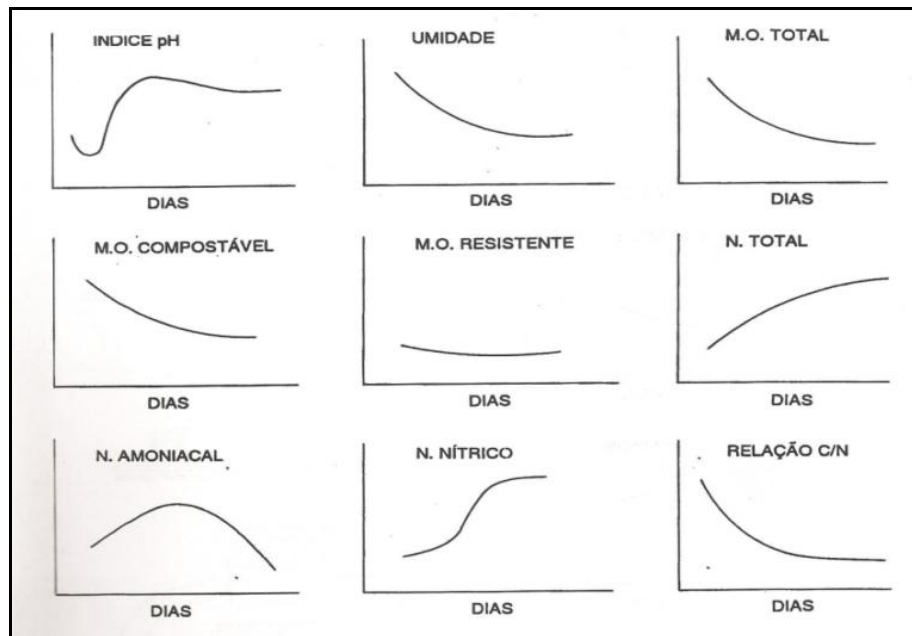


Figura 2 - Tendência de evolução dos parâmetros de compostagem

Fonte: (JARDIM *et al*, 1995)

### 3.2.1 – Relação Carbono/Nitrogênio

A relação C/N desejável para o início da compostagem deve ser de 30/1 e o teor de nitrogênio deve estar entre 1,2 e 1,5%. Ao longo do processo, parte do carbono é transformada em gás carbônico e parte é usada para crescimento microbiano. O nitrogênio fica retido no material como nitrogênio orgânico e inorgânico. Relações C/N elevadas (60/1, por exemplo) demandam maior tempo de compostagem. Se a relação C/N for muito baixa, ou seja, teor de nitrogênio elevado deve-se incorporar ao material outro resíduo rico em carbono.

A relação C/N igual ou inferior a 18/1 indica que o composto está semicurado e inferior a 12/1, curado (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas. É por esta razão que a relação C/N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos.

Teoricamente, a relação C/N inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 30/1. Na realidade, constata-se que ela pode variar de 20 a 70/1 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limita a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se a relação C/N for muito elevada, os microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado. Como resultado, o processo de compostagem será mais lento. Independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N converge para um mesmo valor, entre 10 e 20/1, devido às perdas maiores de carbono do que nitrogênio no desenvolvimento do processo (PROSAB, 1999).

Segundo Kiehl, (1985) os microrganismos absorvem os elementos em uma proporção de 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio; o carbono é utilizado como fonte de energia, sendo 10 partes incorporadas ao protoplasma celular e 20 partes eliminadas como gás carbônico. Cada parte de nitrogênio é assimilada na proporção de 10 partes de carbono, daí a razão do húmus ter uma relação C/N próxima de 10/1. De acordo com a hierarquia básica de decomposição, os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição e haverá a geração de energia. Na sequência, são degradados hemicelulose e celulose. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos e no caso de sofrer alguma degradação, isto ocorre em último estágio.

### **3.2.2 – Umidade**

A presença de água durante o desenvolvimento da compostagem é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. A matéria orgânica a ser compostada deve ter umidade em torno de 50%, sendo os limites máximos e mínimos iguais a 60 e 40%, respectivamente. Segundo Alves (1996) o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação. Valores abaixo de 40% fazem com que se

diminua a ação dos microrganismos e valores acima de 60% podem levar a falta de oxigênio, ocasionando à decomposição anaeróbia, que é indesejável, por gerar mau cheiro e depreciar a qualidade do composto. Nessas condições, ocorre a formação de chorume, acarretando em perda de nutrientes por lixiviação.

### **3.2.3 – Aeração**

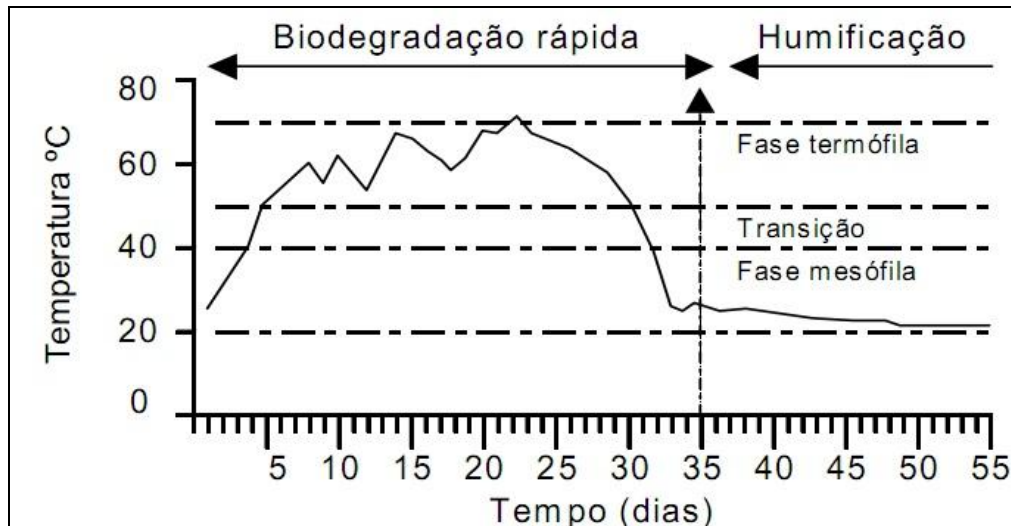
O oxigênio presente no meio é necessário para a atividade biológica e irá atuar de forma determinante sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica. A aeração depende da granulometria e da umidade dos resíduos. Se o teor de oxigênio reduzir demasiadamente, a decomposição da matéria orgânica será feita pelos microrganismos anaeróbios, os quais atuam com lentidão, produzindo maus odores e atraindo moscas, além de não conseguirem a plena estabilização da matéria orgânica (AMORIM, 2002).

Por outro lado, a aeração excessiva pode resfriar e ressecar a massa em compostagem, o que diminui a atividade microbiana. Já no final do processo, pode ser utilizada uma forte aeração, para reduzir a umidade aos níveis inferiores a 40%.

### **3.2.4 – Temperatura**

A temperatura é um dos principais fatores para controle e eficiência do processo da compostagem. O valor da temperatura varia conforme a fase em que se apresenta o processo de compostagem, alterando de acordo com a curva-padrão da variação da temperatura mostrada na Figura 3. Além disso, a temperatura também varia no interior da leira ou do reator no topo, meio e base do composto.

A temperatura passa a exercer influência no processo num intervalo aproximado de 24 horas após a mistura, o que pode ser observado com a elevação da temperatura do meio. Se não houver identificação de aumento de temperatura neste período, existe a possibilidade do processo aeróbio estar comprometido por insucesso de fatores como a concentração de oxigênio, umidade, granulometria e relação carbono/nitrogênio (FONSECA, 2000).



**Figura 3 - Curva padrão da variação da temperatura durante o processo de compostagem**

Fonte: (FERNANDES, 1999)

Há quatro importantes fases da temperatura durante o processo de compostagem: Fase mesofílica – é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C. Tem duração média de dois a cinco dias; Fase termofílica – quando o material atinge sua temperatura máxima (> 40 °C) e é degradado mais rapidamente. Esta fase pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado; Fase de resfriamento – é marcada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente; Fase da maturação – é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade, que é denominado húmus. Pode ter a duração de semanas ou meses (BERNAL *et al.*, 1998c).

Um aumento na temperatura apresenta vários benefícios, incluindo um aumento na solubilidade dos compostos orgânicos, melhor taxa de reação biológica e química, um aumento na taxa de mortalidade dos organismos patogênicos. Entretanto, a aplicação de temperaturas elevadas pode aumentar a fração de amônia livre, que inibe vários microrganismos. O importante no controle da temperatura é manter a estabilidade da mesma durante o processo (APPELS *et al.*, 2008).

### 3.2.5 – pH

Durante a compostagem, o pH situa-se numa faixa entre 6 e 9. Quando o pH é muito ácido, abaixo de 6,0, inibe o crescimento das bactérias, o que irá afetar a compostagem. Já os fungos e actinomicetos são tolerantes a pH ácido e algumas populações de bactérias são selecionadas para maior atividade em pH alcalino.

### 3.2.6 – Dimensão das Partículas

A forma, o tamanho e a estrutura das partículas afetam as condições do sistema. Partículas muito grandes necessitam de um tempo maior para a sua decomposição. Partículas muito pequenas apresentam um arranjo comprimido, que acabam reduzindo a passagem do oxigênio pelos espaços da leira, principalmente quando combinadas com alto teor de umidade, favorecendo condições anaeróbias (DALPIAN, 2004).

O ideal é que os materiais utilizados na compostagem não tenham dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior é a sua superfície específica e, portanto, mais fácil é o ataque microbiano ou a disponibilidade biológica das partículas, mas em contrapartida, se aumentam os riscos de compactação e de falta de oxigênio (KIEHL, 2002).

## 3.3 – COMPOSTO ORGÂNICO

A qualidade do composto orgânico depende de uma série de fatores como, por exemplo, tamanho de partículas, umidade, teor de matéria orgânica, teor de carbono, concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, metais pesados, salinidade, capacidade de troca catiônica, capacidade de retenção de água, porosidade, microrganismos patogênicos e grau de estabilidade do composto. Entretanto, os parâmetros mais importantes, em termos de manutenção da saúde pública, do solo e do ambiente, são aqueles relacionados aos microrganismos patogênicos; aos compostos potencialmente tóxicos, compostos orgânicos e inorgânicos; e a estabilidade e, posteriormente, aqueles relativos à imobilização e lixiviação do nitrogênio e a fitotoxicidade (LASARIDI *et al.*, 2006).

Caso seja aplicado no solo resíduos orgânicos frescos ou compostos imaturos (ainda não estabilizados) ocorre uma rápida decomposição que pode gerar alta concentração de CO<sub>2</sub>,

baixos níveis de O<sub>2</sub>, o qual pode levar à deficiência de O<sub>2</sub> na rizosfera e, consequentemente, condições anaeróbias e redutoras no solo. A alta atividade microbiana também pode promover a degradação da matéria orgânica inerente ao solo. O nitrogênio inorgânico (N – inorgânico) pode ser imobilizado através de sua incorporação nas células microbianas, tornando-se temporariamente indisponível às plantas. Produtos intermediários da degradação da matéria orgânica, como ácidos voláteis, álcoois e fenóis, são tóxicos para as plantas e as condições redutoras podem solubilizar metais tóxicos no solo (BERNAL *et al.*, 1998a; BERNAL *et al.*, 1998b; PROVENZANO *et al.*, 2001; RIVERO *et al.*, 2004).

Os principais benefícios do composto orgânico são (SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2002):

- Aumento da capacidade de retenção de água nos solos;
- Aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos, assim os nutrientes ficam menos sujeitos às perdas por lixiviação;
- Formação de agregados de solos mais estáveis, portanto melhora a aeração e drenagem dos solos, prevenindo a erosão e, consequentemente, o assoreamento de rios;
- Aumento do pH e do poder tampão do solo;
- Nova forma de matéria orgânica para os solos e de macro e micronutrientes para as plantas;
- Incremento da biodiversidade das comunidades microbianas dos solos, tornando-o mais produtivo.

Sobre a qualidade do composto, os parâmetros legais são apresentados em Legislação Federal e Estadual sobre fertilizantes:

- DECRETO nº. 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, revogado pelo DECRETO nº. 4.954, de 14 de janeiro de 2004; regulamenta a lei nº. 6.894, de Dezembro de 1980, alterada pela lei nº. 6.894, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura;
- PORTARIA nº. 01, de 04 de Março de 1983; Resolve: Art. 1º - Aprovar normas, sobre especificações, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos, e os modelos oficiais a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou

biofertilizantes, destinados à agricultura; Instrução Normativa (I.N.) nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), define fertilizante orgânico composto como: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas. A Figura 4 apresenta as especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos, estabelecidas pelo Anexo III da referida norma.

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

**Figura 4 - Especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos**

Fonte: (BRASIL, 2009)

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



#### 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

A fase inicial de desenvolvimento desta pesquisa consistiu na quantificação dos resíduos de poda/capina (RPC) e dos resíduos orgânicos das cantinas (ROC) gerados no campus da FCT/UNESP. A quantificação dos resíduos de poda/capina foi realizada por meio de entrevistas com os funcionários responsáveis pela poda/capina do campus da FCT. Além disso, após cada manutenção da poda/capina, foi feito um trabalho de campo que possibilitou estimar visualmente o volume de resíduo produzido, Figura 5.



**Figura 5 - Disposição final dos resíduos de poda e capina**

A determinação da geração dos resíduos orgânicos das cantinas foi realizada por meio de entrevista com os funcionários das mesmas, além de se fazer as pesagens dos resíduos orgânicos produzidos ao longo de uma semana.

A coleta dos resíduos da cantina foi feita para que se obtivesse uma amostragem o mais representativa possível em relação aos resíduos gerados. Os resíduos de poda/capina foram coletados em curvas de nível no fundo de vale da FCT/UNESP, sendo que foi observado ao longo da coleta maior predominância dos resíduos de capina. Ambos os resíduos foram armazenados em bombonas plásticas antes de serem caracterizados e utilizados na compostagem.

Em seguida, os resíduos da cantina e de poda/capina foram triturados num triturador elétrico da marca CID35 SL, apresentando diâmetro final de cerca de cinco centímetros,

Figura 6. Posteriormente, as amostras foram caracterizadas físico-quimicamente em termos de pH, matéria orgânica total, resíduo mineral total, carbono orgânico e nitrogênio de Kjeldahl e relação C/N, cujos métodos de análise serão apresentados no item 4.3 – Métodos Analíticos.



**Figura 6 - Resíduos de poda/capina e orgânicos triturados**

A caracterização inicial dos resíduos foi necessária para se estimar quais seriam os melhores ajustes das proporções de resíduos da cantina e resíduos de poda/capina a serem estudados nos ensaios de compostagem.

#### **4.1 – COMPOSTAGEM CONVENCIONAL**

O sistema de compostagem convencional foi realizado em três leiras construídas sobre lonas plásticas, onde os resíduos foram intercalados em camadas. As leiras tiveram as seguintes dimensões: 1,5 metros de largura x 1,5 metros de comprimento x 0,5 metros de altura, Figura 7.

Foram utilizados cem quilos de resíduos em cada uma das três leiras que foram construídas com as seguintes proporções mássicas: leira 1 – 70% RPC e 30% ROC; leira 2 – 50% RPC e 50% ROC; leira 3 – 30% RPC e 70% ROC.

Durante o processo, utilizou-se o método de leiras aeradas, cujo revolvimento foi manual, efetuado uma vez a cada cinco dias. No caso de ocorrência de precipitações pluviométricas as leiras eram cobertas com lona plástica, a fim de evitar a influência da

penetração de água, bem como nos períodos secos, foi adicionado água nas leiras de compostagem para ajustar a umidade.



**Figura 7 - Montagem das leiras**

A análise dos parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica, carbono orgânico, resíduo mineral, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N foi feita nas três leiras a cada 20 dias. As amostras foram coletadas por meio de amostragem composta.

A medição das temperaturas das leiras foi realizada uma vez ao dia às 17 horas, por meio de um termopar digital da marca Novus. A temperatura foi medida em diferentes alturas (topo, meio e base).

#### **4.2 – Compostagem Mecanizada**

O sistema de compostagem mecanizado foi realizado em um reator aerado constituído de um tambor de ferro de 190 litros, com uma torneira plástica em sua base para a retirada do possível chorume formado durante o processo. O reator possui furos laterais que permitiram aeração do composto em diversas alturas.

A proporção mássica adotada utilizada no sistema mecanizado foi de 50% RPC / 50% ROC, com massa total de resíduo igual a 50 quilos. Essa proporção foi estudada, pois a caracterização inicial da mistura desses resíduos apresentou valores mais próximos dos considerados ideais pela literatura para o início do processo de compostagem, quando comparado com as proporções 70%RPC / 30%ROC e 30%RPC / 70%ROC.

Os resíduos foram aerados no reator diariamente, durante 15 minutos, por meio de um compressor da marca Black&Decker com 1,5 HP de potência e 25 litros de reservatório de ar.



Na montagem do reator, os resíduos de poda/capina e orgânico foram dispostos em camadas intercaladas até o preenchimento completo do reator, Figura 8.



**Figura 8 - Montagem do sistema mecanizado**

A análise dos parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica, carbono orgânico, resíduo mineral, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N foram realizadas a cada quinze dias. A coleta das amostras foi feita por meio de amostragem composta.

A temperatura foi medida uma vez ao dia às 17 horas, por um termopar digital da marca Novus.

Os parâmetros do reator foram monitorados ao longo da compostagem a cada quinze dias, já que com a introdução de ar no sistema, esperava-se que houvesse maior degradação da matéria orgânica biodegradável pelos microrganismos aeróbicos em menor tempo.

### **4.3 – MÉTODOS ANALÍTICOS**

#### **4.3.1 – Temperatura**

A temperatura foi determinada com auxílio de um mini termômetro digital marca *Novus*, com sensor externo à prova de água, haste de 3m de comprimento e faixa de medição de (–) 40°C à 95°C.

#### **4.3.2 – pH**

As medidas de pH foram realizadas em um pHmetro de bancada, marca HANNA – modelo HI-221.

O pH foi determinado em solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), conforme procedimento estabelecido por (KIEHL,1985), Anexo I.

#### **4.3.3 – Umidade, Matéria Orgânica, Resíduo Mineral e Carbono Orgânico**

A determinação do percentual de umidade, matéria orgânica, cinzas total e carbono orgânico foram realizadas pelo método de calcinação proposto por (KIEHL,1985), Anexo I.

#### **4.3.4 – Nitrogênio Kjeldahl**

O nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico e amoniacal) foi determinado pela metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 1985). Segundo Silva *et al.* (2006) um dos métodos mais utilizados para a determinação de nitrogênio total, é método Kjeldahl, assim, ao longo do presente trabalho, o uso dos termos N Kjeldahl e N total indicam o mesmo resultado, Anexo II.

#### **4.3.5 – Fósforo Total**

Para a determinação de fósforo, foi utilizada a metodologia de colorimetria de metavanadato descrita por MALAVOLTA (1997), apresentada no Anexo III.

#### 4.4 – Aplicação do Composto Orgânico

A avaliação dos compostos orgânicos produzidos foi realizada por meio do plantio de sementes de milho comercial.

Antes de realizar o plantio das sementes de milho, foi necessário peneirar os quatro diferentes compostos produzidos. Foram peneirados também cerca de 10 kg de solo coletado no fundo de vale do campus da FCT/UNESP. O peneiramento foi feito com uma peneira com aro de madeira e tela de arame galvanizado malha 8 (abertura 2,79mm) fio 28 BWG (0,36mm) e com diâmetro 60cm.

Para o cultivo das mudas também foi utilizado adubo químico comercial (N, P, K) com a seguinte especificação: 4 partes N, 14 partes P e 8 partes K, que não precisou ser peneirado, já que se encontrava na forma granular e pronto para ser usado nos ensaios.

O cultivo foi realizado em uma área coberta, onde as mudas foram produzidas por semeadura direta de três sementes, em embalagens de polietileno preto com dimensões de 10x10x10 cm, Figura 9. Quando as plantas atingiram 5 cm de comprimento efetuou-se o desbaste, mantendo a planta mais vigorosa e sadia. A umidade das mudas foi mantida aproximadamente constante por meio da introdução de 50 ml de água diariamente por meio de uma seringa graduada.

O procedimento experimental utilizado foi feito com dez tratamentos e dez plantas por parcela. Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

- T1: 100% de composto na proporção 70% RPC e 30% ROC (Leira 1);
- T2: 100% de composto na proporção 50% RPC e 50% ROC (Leira 2);
- T3: 100% de composto na proporção 30% RPC e 70% ROC (Leira 3);
- T4: 100% de composto na proporção 50% RPC e 50% ROC (Reator mecanizado);
- T5: 100% terra;
- T6: 60% de terra + 40% de composto Leira 1;
- T7: 60% de terra + 40% de composto Leira 2;
- T8: 60% de terra + 40% de composto Leira 3;
- T9: 60% de terra + 40% de composto Reator;
- T10: 60% de terra + 40% adubo comercial (N, P, K).

A utilização da dosagem de 40% de composto orgânico foi baseada nos estudos de ALMEIDA (2003), MENDONÇA *et al.* (2007) e RIZK (2009), que comprovaram que essa

dosagem de composto orgânico é bastante recomendada para produção de mudas de diversas espécies.

Após 30 dias de plantio, as mudas foram colhidas tentando preservar ao máximo a integridade da sua parte aérea e da raiz. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa a 60°C, até atingir peso constante (aproximadamente 72 horas). Em seguida, a massa seca foi determinada em uma balança analítica. A Figura 9 apresenta a seqüência dos procedimentos experimentais realizados para o plantio das sementes de milho em embalagens de polipropileno com o composto maturado, bem como aplicação dos diferentes compostos produzidos.

Os dados de biomassa seca foram analisados por meio da análise não paramétrica de Kruskal – Wallis, complementada com o teste de Dunn, no nível de 5% de significância. Os teste estatísticos foram realizados utilizando o *software* BioEstat 5.0.



**Figura 9 - Procedimentos realizados para o plantio do milho nos sacos de polipropileno**

## **5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 – GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DA FCT/UNESP**

A maior parte dos resíduos orgânicos gerados pela cantina da FCT/UNESP é composta principalmente por bagaço de laranja e sobras de comida, como cascas de frutas e verduras, que são acondicionados em sacos plásticos de 100 litros e colocados em caçambas próximas às cantinas, expostos às condições climáticas ambiente e sofrendo decomposição à céu aberto. Em entrevistas realizadas com os funcionários da cantina e por meio da realização de pesagem ao longo de uma semana, foi possível estimar a geração de cerca de 25 kg de resíduos orgânicos por dia, sendo que constatou-se com maior frequência uma quantidade significativa de cascas de laranja.

Os resíduos orgânicos provenientes da poda/capina do campus são compostos principalmente por capim (maior volume) e folhas e galhos. Após a manutenção da limpeza do campus, os resíduos são depositados em curvas de nível e em buracos já existentes dentro do campus, com isso, ocorre à geração de maus odores em decorrência da decomposição do resíduo, e a atração de possíveis vetores causadores de doenças, tais como o mosquito palha e animais peçonhentos, entre outros.

Segundo funcionários responsáveis pela poda/capina, a manutenção do campus é feita em média quatro vezes por ano, dependendo principalmente da frequência de chuva que associada ao calor faz com que a vegetação se desenvolva mais rapidamente, acarretando em uma produção aproximada em torno de 2000 kg capim e folhas por manutenção do campus. Com relação à mensuração do volume ou massa de galhos produzidos no campus, foi difícil estimar a sua produção, já que troncos e galhos de árvores são de difícil manuseio para pesagem. A retirada desse resíduo do campus é feita por uma empresa terceirizada. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na caracterização inicial dos resíduos de poda/capina e dos resíduos orgânicos da cantina.

A partir da análise dos resultados da Tabela 1, é possível dizer que o resíduo de poda e capina pode contribuir com uma significativa concentração de matéria orgânica (85,56%). Com relação ao valor no teor de umidade (62,09%) está um pouco acima do considerado ideal, variando de 40% a 60% de acordo com Alves (1996).



**Tabela 1 – Caracterização inicial dos resíduos de poda/capina e dos resíduos orgânicos da cantina**

| <b>Parâmetros</b>           | <b>Resíduo Poda/Capina</b> | <b>Resíduo Orgânico Cantina</b> |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| <b>Umidade (%)</b>          | 62,09                      | 77,97                           |
| <b>Resíduo Mineral (%)</b>  | 14,45                      | 28,03                           |
| <b>Matéria Orgânica (%)</b> | 85,56                      | 71,97                           |
| <b>Carbono Orgânico (%)</b> | 47,53                      | 39,98                           |
| <b>Nitrogênio (%)</b>       | 0,76                       | 3,47                            |
| <b>Relação C/N</b>          | 62,45                      | 11,53                           |
| <b>pH</b>                   | 5,92                       | 6,20                            |

A relação C/N com valor igual a 62,45 para o resíduo de poda/capina, esta acima dos valores de referência, já que está alta relação pode aumentar o período de compostagem. Pereira Neto (1989) aconselha adicionar um material com boa concentração de nitrogênio. O parâmetro resíduo mineral total (14,45%) encontrado é considerado ótimo de acordo com Silva *et al.* (2002), que classificou os valores como sendo: ótimo (menor que 20%); bom (20 – 40%); indesejável (maior que 40%). Deste modo, o resíduo já se encontra num valor ótimo antes de ser compostado. Além disso, o valor de pH (5,92) é satisfatório para o início do processo de acordo com D’Almeida e Vilhena (2000).

As concentrações de matéria orgânica (71,97%) e de nitrogênio (3,47%) presentes nos resíduos orgânicos das cantinas favorecem seu tratamento por meio de processos biológicos. O teor de resíduo mineral (28,03%) encontrado é considerado bom de acordo com Silva *et al.* (2002). O pH também apresentou valor adequado (6,20), conforme D’Almeida e Vilhena (2000).

As limitações do uso dos resíduos de poda/capina de forma isolada baseiam-se no alto teor da umidade (62,09%), alta relação C/N (62,45%) e no baixo teor de nitrogênio (0,76%). Já com relação ao resíduo orgânico os fatores que podem interferir no processo de compostagem isolada são: alto teor de umidade (77,90%) e baixa relação C/N (11,53), por isso a mistura destes resíduos pode ajustar os parâmetros para o início da compostagem.

A Tabela 2 expressa os valores obtidos na caracterização inicial da mistura dos resíduos.

**Tabela 2 – Caracterização após as misturas dos resíduos para o início da compostagem**

| <b>Parâmetros</b>           | <b>Leira 70%</b> | <b>Leira 50%</b> | <b>Leira 30%</b> | <b>Reator</b>   |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
|                             | <b>RPC / 30%</b> | <b>RPC / 50%</b> | <b>RPC / 70%</b> | <b>50%RPC /</b> |
|                             | <b>ROC</b>       | <b>ROC</b>       | <b>ROC</b>       | <b>50%ROC</b>   |
| <b>Umidade (%)</b>          | 35,36            | 47,1             | 78,48            | 65,82           |
| <b>Resíduo Mineral (%)</b>  | 11,58            | 9,09             | 5,44             | 14,21           |
| <b>Matéria Orgânica (%)</b> | 88,41            | 90,9             | 94,82            | 85,99           |
| <b>Carbono Orgânico (%)</b> | 49,01            | 50,5             | 52,53            | 47,77           |
| <b>Nitrogênio (%)</b>       | 1,38             | 1,39             | 1,39             | 1,18            |
| <b>Relação C/N</b>          | 35,47            | 35,35            | 38,3             | 41,02           |
| <b>pH</b>                   | 6,39             | 6,23             | 5,9              | 6,33            |
| <b>Fósforo (%)</b>          | 0,0225           | 0,0233           | 0,0246           | 0,0196          |

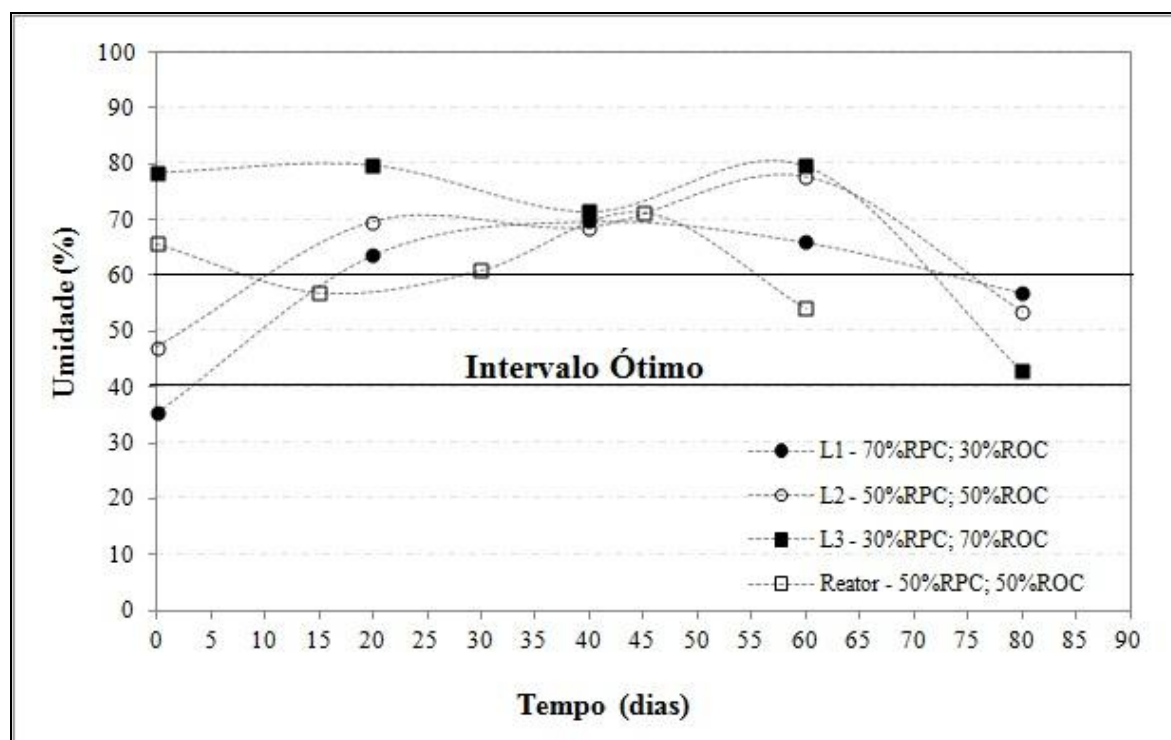
Analisando a Tabela 2, foi possível perceber que a mistura dos resíduos proporcionou o ajuste dos parâmetros para o início do processo de compostagem.

Observando os valores apresentados, verifica-se que a relação C/N da mistura aproximou-se das condições ideais para o início da compostagem. Com relação ao parâmetro umidade, somente a leira 30% RPC / 70% ROC apresentou valor distante do considerado ideal (40% – 60%) de acordo com (ALVES, 1996). Os demais parâmetros também apresentaram valores mais adequados para o início da compostagem.

## **5.2 – COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM CONVENCIONAL E MECANIZADO**

### **5.2.1 – Umidade**

A Figura 10 mostra o comportamento do parâmetro umidade ao longo do processo de compostagem, que apresentou variação acentuada uma vez que também é dependente da temperatura.



**Figura 10 - Comportamento da umidade ao longo do experimento**

No início do experimento de compostagem somente a leira 2 se encontrava dentro dos valores de umidade estabelecidos como ótimo (40 – 60%) pela literatura. Para a leira 1, logo no início do processo foram adicionados 5 litros de água, com a finalidade de correção do parâmetro.

Ao longo do monitoramento a maioria das amostragens indicou valores de umidade acima da faixa ótima, apesar disso, não houve a formação de chorume nos experimentos testados, sendo esta uma vantagem significativa na compostagem desses resíduos.

Aos 40 dias de experimento, as leiras 1, 2 e 3 apresentaram valores muito próximos, 69,76%; 68,58% e 71,46%, respectivamente, sendo que este comportamento se deve provavelmente ao fato de mudança da fase de degradação para a fase de maturação do composto. O reator aerado iniciou com uma umidade de 65,82% decaindo para 57% em 15 dias, aumentando para 61% em 30 dias e 71,40% com 45 dias. No ponto 60 dias, a sua umidade aproximou-se dos valores finais obtidos pelas leiras, devido à adição de 5 litros água no sistema mecanizado.

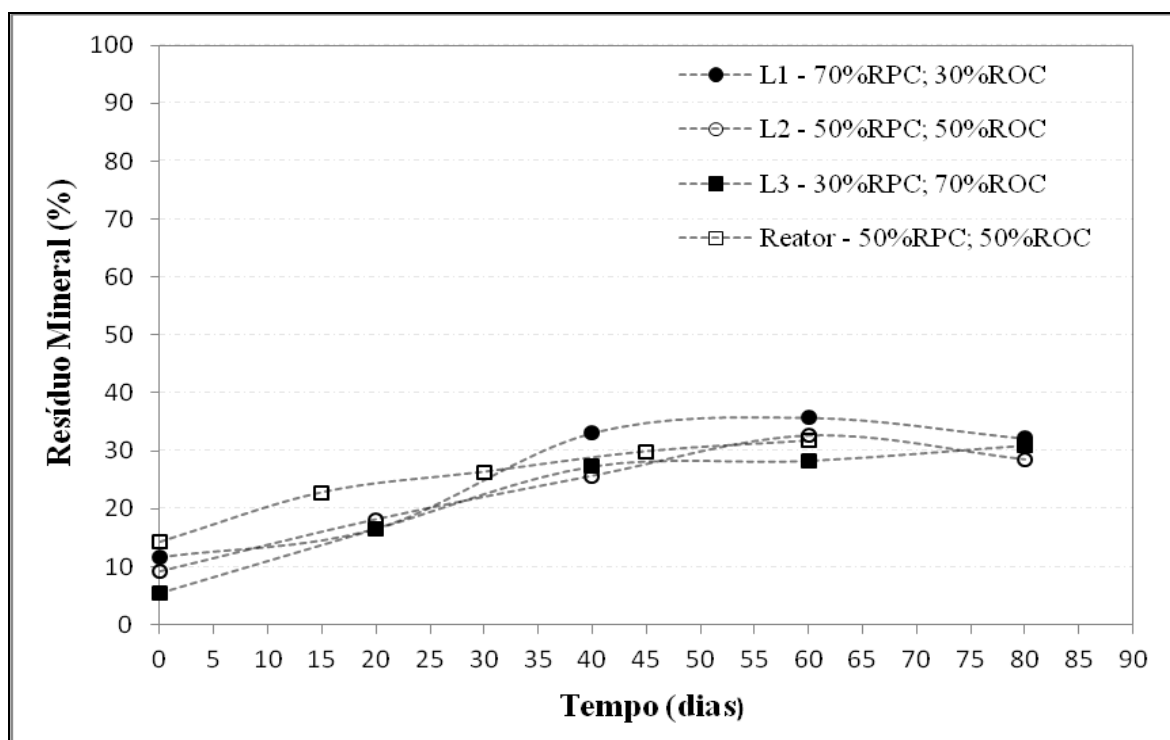
No ponto de amostragem que corresponde a 60 dias para as leiras e 45 dias para o reator, nota-se que a umidade dos experimentos se encontrava fora da faixa ótima e que a partir deste tempo houve uma queda brusca nos valores, atingindo então, a faixa ótima de umidade. Essa queda brusca pode ter sido ocasionada, em primeiro lugar, pelo aumento da

temperatura ambiente nesse período, fazendo com que as leiras e o reator perdessem umidade mais facilmente para meio. Em segundo lugar, esta queda também pode ter acontecido pelo fato das leiras e do reator estarem no período de maturação, que tem como característica baixa atividade microbiana, facilitando assim a perda de umidade para o meio. Ainda, Kiehl (2002) afirma que a diminuição repentina da umidade pode ser justificada em leiras de menores dimensões que estão mais sujeitas à perda de umidade.

### 5.2.2 – Resíduo Mineral

O monitoramento do resíduo mineral ao longo do processo foi analisado de acordo com a Figura 11.

Ao longo do processo verifica-se um aumento progressivo da porcentagem de resíduo mineral até 60 dias para as leiras e para o reator, uma vez que conforme a matéria orgânica vai sendo degradada, há a formação de resíduo mineral. Nos últimos 20 dias de maturação das leiras 70%RPC / 30% ROC e 50%RPC / 50%ROC, nota-se que houve uma leve redução nos valores finais do teor de resíduo 32,19% e 28,52% e um aumento na sua concentração na leira 3 (30,94%).



**Figura 11 - Monitoramento do resíduo mineral**

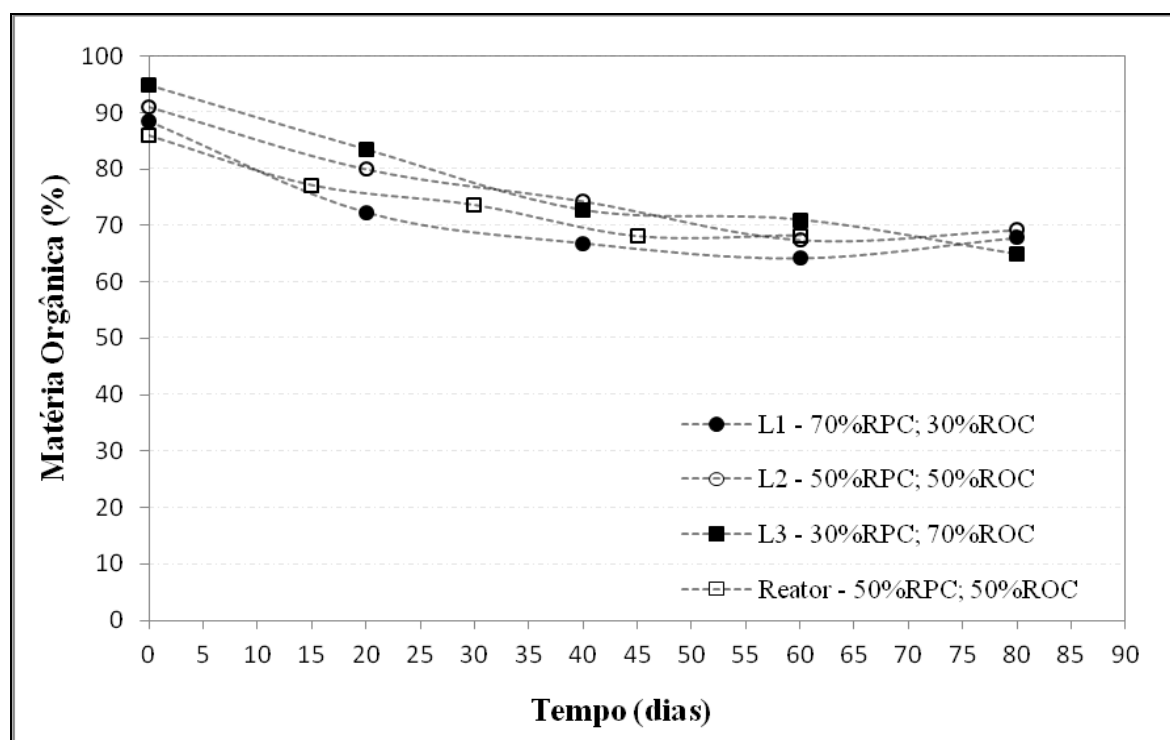
O teor inicial de resíduo mineral pode ser classificado de acordo com Silva *et al.* (2002) como: ótimo (menor que 20%); bom (20 – 40%); indesejável (maior que 40%). Assim,

o teor de resíduo mineral inicial tanto para as leiras 1, 2 e 3 – 11,58%; 9,09% e 5,44%, respectivamente, como para o reator (14,21%) estão no intervalo considerado como ótimo.

Da mesma forma, os valores finais são classificados como bom para as leiras 1, 2 e 3 – 32,19%; 28,52% e 30,94%, respectivamente, e para o reator (31,74%).

### 5.2.3 – Matéria Orgânica

A Figura 12 mostra o resultado do monitoramento da matéria orgânica, onde se observa o mesmo perfil da matéria orgânica tanto nas leiras como no reator ao longo do experimento. Foi constatado na leira 3 (30% RPC / 70% ROC) a maior variação da matéria orgânica, variando de 90,90% para 69,26%, ou seja, uma variação de 23,80%. Tal fato pode ser justificado pela grande concentração inicial de matéria orgânica.



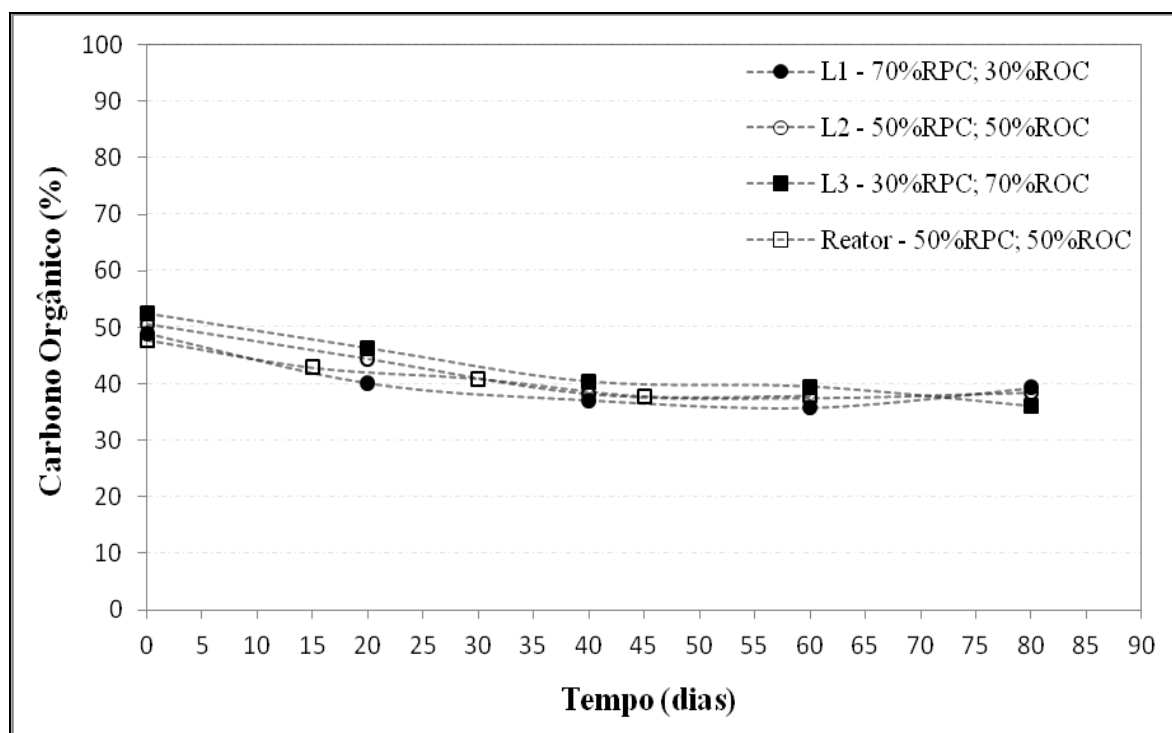
**Figura 12 - Monitoramento da matéria orgânica**

Silva *et al.* (2002) apresenta valores norteadores que permitem classificar a matéria orgânica do composto de lixo da seguinte maneira: ótimo (maior que 60%); bom (50 – 60%); baixo (menor que 50%). Assim, analisando os resultados finais, verifica-se que as leiras 1, 2, e 3, juntamente com o reator, apresentaram quantidades ótimas de matéria orgânica – 67,80%; 69,26%; 64,86% e 68,25%, respectivamente. Dessa forma, como a matéria orgânica tem

efeito direto sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos (RICCI, 2006), é importante que o composto orgânico produzido apresente quantidade suficiente para que seja capaz de melhorar as propriedades dos solos onde será aplicado, assim como teor de matéria orgânica obtida ao final da compostagem foi significativo, poderá ser possível que o composto quando aplicado no solo proporcione tais melhorias.

#### 5.2.4 – Carbono Orgânico

O resultado do monitoramento do carbono orgânico é apresentado na Figura 13.



**Figura 13 - Monitoramento do carbono orgânico**

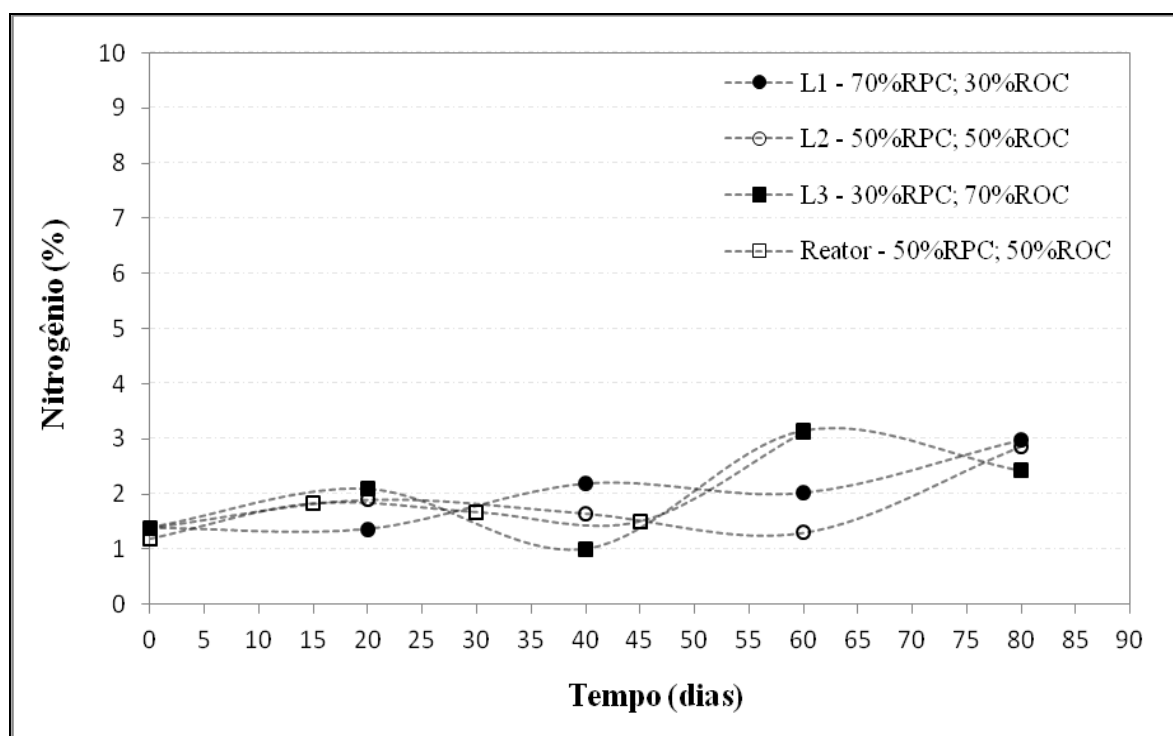
O carbono orgânico apresentou um comportamento similar em todos os seus pontos de amostragem, sendo que nos 20 primeiros dias nas leiras e nos 15 primeiros dias no reator houve uma redução mais acentuada. Esta redução foi devida provavelmente ao intenso consumo do carbono orgânico e matéria orgânica pelos microorganismos aeróbios, que utilizam esses materiais para retirar energia necessária para a realização da degradação e liberação do  $\text{CO}_2$  e vapor d'água como produto final.

O valor final do carbono orgânico nas leiras 1, 2, 3 e no reator (39,30%, 38,47%, 36,03% e 37,90%, respectivamente) é significativo, apresentando uma porcentagem relevante

que pode contribuir para melhorar a estrutura do solo, reduzir a plasticidade e a coesão. O alto teor de carbono para as raízes das plantas é muito significativo, uma vez que ele aumenta a capacidade de retenção de água e a aeração, permitindo maior penetração e distribuição das raízes.

### 5.2.5 – Nitrogênio

A análise do teor de nitrogênio ao longo do experimento pode ser verificada de acordo com a Figura 14.



**Figura 14 - Monitoramento do nitrogênio**

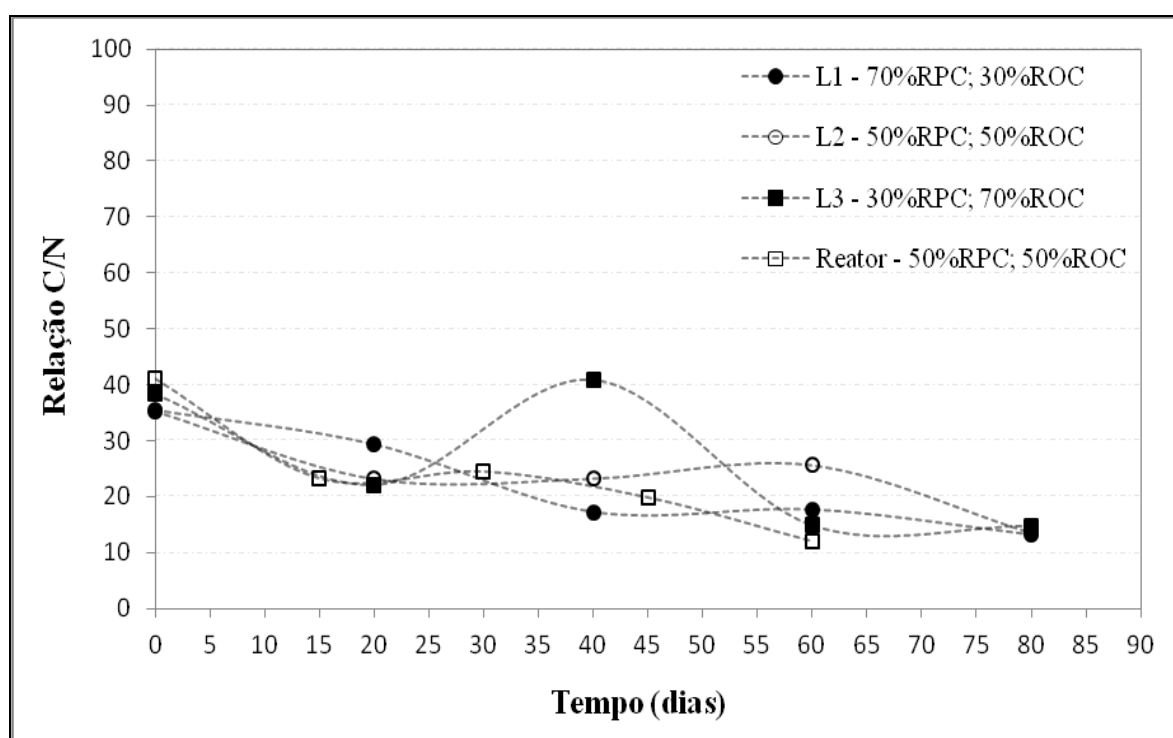
O comportamento do nitrogênio foi variado ao longo dos experimentos, exceto no início da compostagem nas leiras e no reator, sendo que nos primeiros 20 dias das leiras e 15 dias do reator as variações foram: leira 1 (1,38 a 1,36%), leira 2 (1,39 a 1,90%), leira 3 (1,39 a 2,09%) e o reator (1,18 a 1,83%). Este aumento pode ser justificado por Brito (2008), em que o aumento de nitrogênio pode ser devido ao fato da oxidação do carbono orgânico a  $\text{CO}_2$  ser maior do que a perda de nitrogênio relacionada ao seu consumo pelos microrganismos.

Apesar deste comportamento alternado entre os primeiros 60 dias de experimento, foi possível perceber que os valores finais no teor de nitrogênio obtidos nas leiras 1 (2,99%), 2 (2,87%), 3 (2,42%) e no reator (3,13%), convergiram para valores semelhantes.

É preciso considerar que mesmo essa proximidade com a quantidade de nitrogênio final no reator - 50% RPC / 50% ROC ( 3,13%) quando comparado com as leiras ao longo do experimento, foi possível verificar que o uso da aeração mecanizada, pode ter produzido uma pequena diferença com relação a aeração manual para este parâmetros.

### 5.2.6 – Relação C/N

Os resultados do monitoramento da relação C/N se encontram na Figura 15.



**Figura 15 - Monitoramento da relação C/N**

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que, em sua maioria, os experimentos apresentaram reduções da relação C/N ao longo do tempo. O reator foi o que apresentou melhor resultado (12,10) seguido das leiras 1, 2 e 3 (13,14; 13,40 e 14,80, respectivamente).

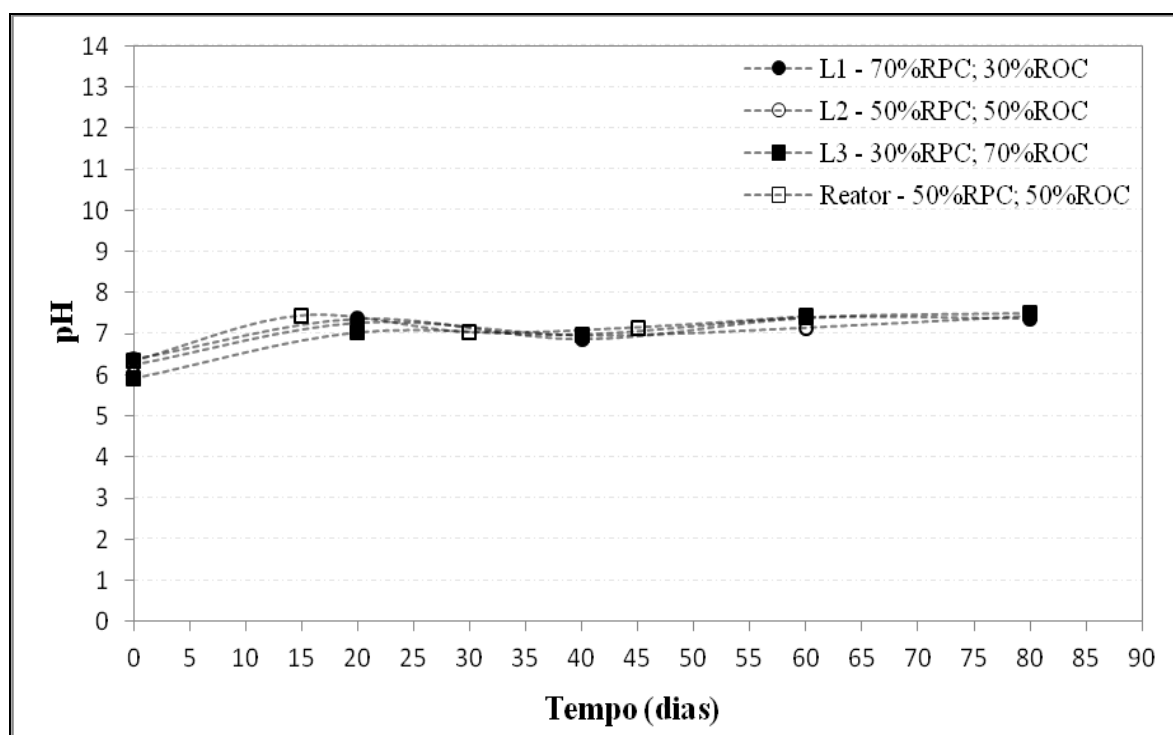
Aos 40 dias de estudo somente a leira 1 apresentava o seu composto no estado semicurado (17,21). O composto produzido na leira 3 (14,90) atingiu o estado de semicurado em 60 dias e no reator no ponto 45 dias (19,90). A leira 2 (13,40) só atingiu este estado ao final do processo com 80 dias.



Segundo D'Almeida e Vilhena (2000) a relação C/N, adequada para aplicação do composto na agricultura deve ser, no máximo, de 18/1, sendo que esse valor indica que o composto está semicurado. Quando o valor é inferior a 12/1, o resíduo é considerado curado. Assim, com os parâmetros finais, foi possível dizer que os ensaios experimentais produziram um composto orgânico semicurado, sendo que o reator (12,10) foi o único que pode ser considerado curado.

### 5.2.7 – pH

A Figura 16 apresenta a variação do pH durante o período da compostagem.



**Figura 16 - Monitoramento do pH**

Com relação ao comportamento do pH, nota-se um perfil crescente ao longo da compostagem, sua maior variação ocorreu no início do processo, convergindo com o decorrer dos dias para valores finais próximos de pH em todas as condições estudadas – leiras 1 (7,38), 2 (7,44), 3 (7,50) e no reator (7,42), apresentando assim, um aspecto de quase neutralidade.

A redução dos valores de pH ocorreu entre 15 e 30 dias para o reator (7,44 – 7,03) e 20 a 40 dias para a leira 1 (7,37 – 6,88 ), leira 2 (7,27 – 6,96 ) e leira 3 (7,27 – 6,98). De acordo com Brito (2008) na primeira fase da compostagem os microrganismos que

predominam são os mesofílicos (25 a 45°C), esses microrganismos atacam as substâncias mais facilmente degradáveis, como carboidratos simples e nitrogenados solúveis, gerando ácidos orgânicos simples, o que resulta numa redução do pH (redução encontrada entre 20 e 40 dias). Na segunda fase, a intensidade das reações químicas e a temperatura diminuem, pois as substâncias de rápida decomposição vão se esgotando. A temperatura diminui até atingir a ambiente e o pH se torna aproximadamente neutro.

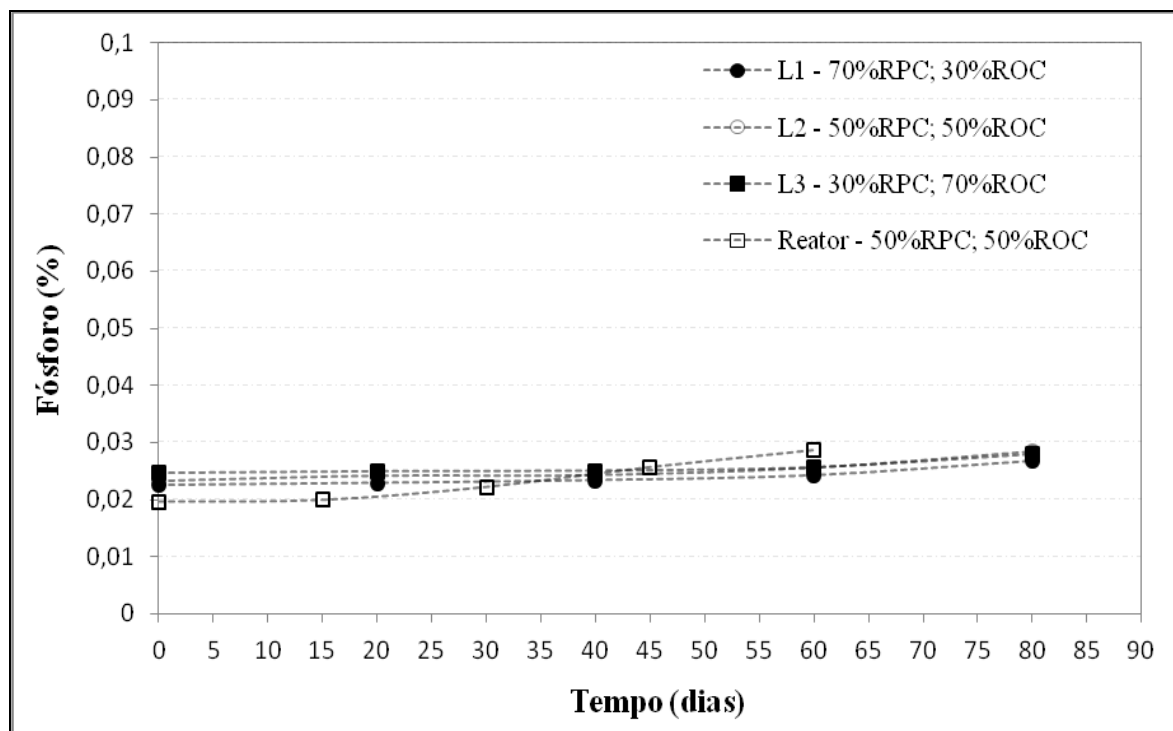
É preciso considerar que a leira 30 % RPC / 70% ROC foi a que apresentou o pH mais ácido (5,90%) no início do processo, isso por ter ocorrido pela maior presença de cascas de laranja no resíduo, acarretando em uma maior acidez da mistura.

#### 5.2.8 – Fósforo

A evolução do fósforo ao longo do experimento é observada pela Figura 17. O fósforo teve um comportamento levemente crescente ao longo da compostagem, sua maior variação ocorreu no início do processo convergindo com o transcorrer dos dias para valores semelhantes em todas as condições testadas – leiras 1 ( $2,69 \times 10^{-2}\%$ ), 2 ( $2,84 \times 10^{-2}\%$ ), 3 ( $2,79 \times 10^{-2}\%$ ) e reator ( $2,87 \times 10^{-2}\%$ ).

O reator foi o que apresentou maior variação (0,0196 a 0,0287%), tal fato pode ter ocorrido por causa dos valores significantes de carbono orgânico dos resíduos do reator. A leira 3 foi a que apresentou maiores valores quando comparada com a leira 1 e 2, provavelmente por possuir maior quantidade do resíduo orgânico.

O fósforo é necessário às bactérias, e ainda que as conseqüências de um alto teor não sejam drásticas, a sua ausência inibe o processo. A relação ideal carbono: fosfato é em torno de 150:1 (NOGUEIRA, 1986). Em nenhum dos experimentos conseguiu-se atingir esta relação, porém a correção deste parâmetro pode ser facilmente corrigida através da adição de fosfato no composto final.



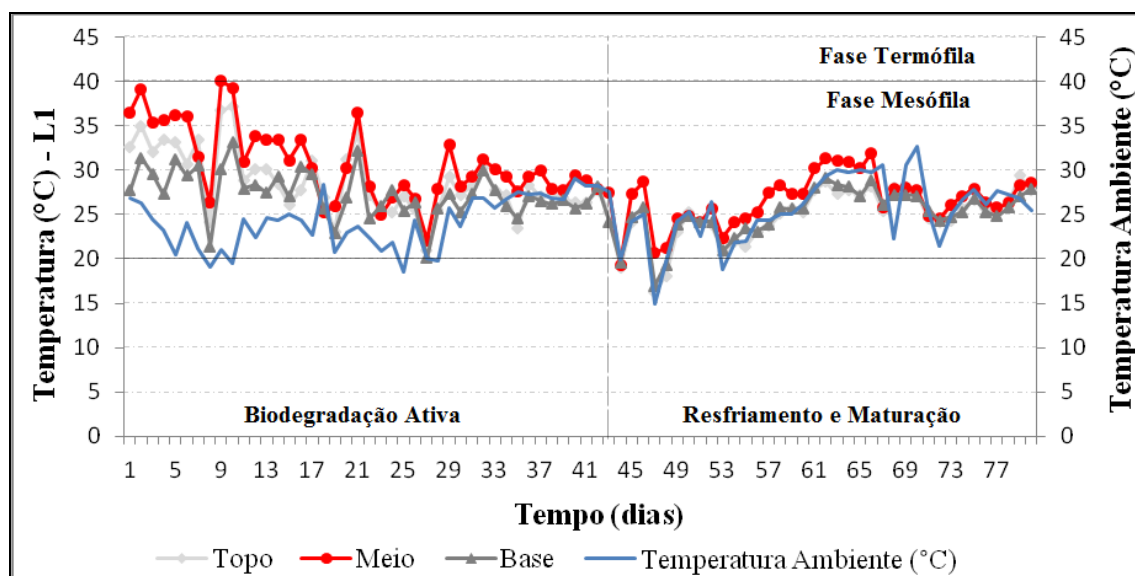
**Figura 17 - Monitoramento do fósforo**

## 5.2.9 – Temperatura

### 5.2.9.1 – Temperatura da leira 70% RCP / 30% ROC

O monitoramento da temperatura foi acompanhado ao longo do processo de acordo com a Figura 18.

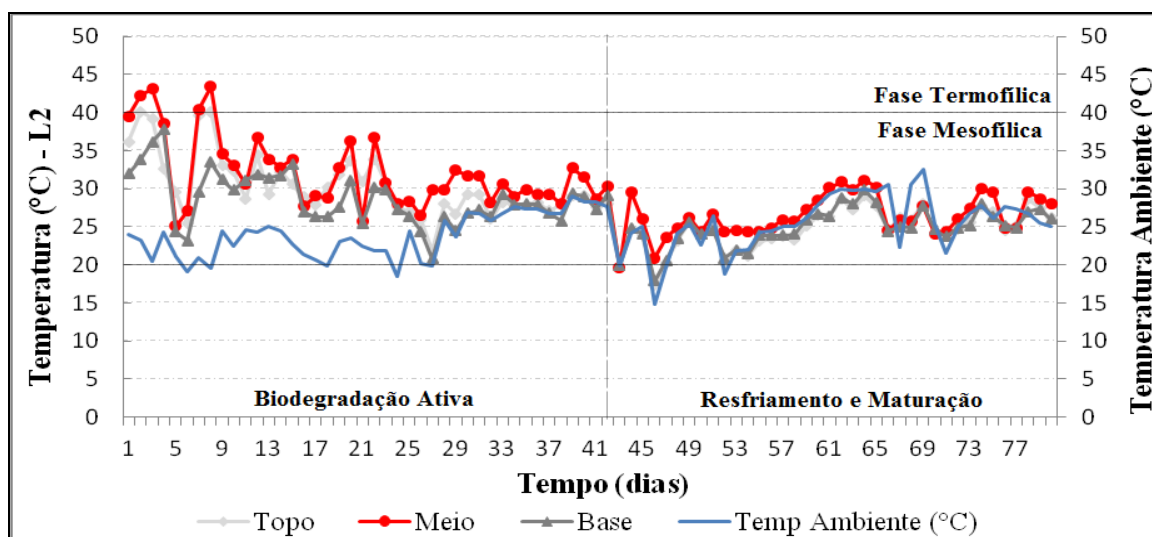
Observa-se que esta leira apresentou pouca oscilação da temperatura e a fase termofílica (40°C) teve duração de 1 apenas um dia. Nota-se também que a fase predominante foi a fase mesofílica (39,3°C), que permaneceu cerca de 43 dias. Foi possível detectar durante o monitoramento, que a leira não atingiu temperaturas superiores a 45°C, muito provavelmente por causa da baixa quantidade do resíduo ROC e também por causa da baixa temperatura ambiente, já que a leira operou em período de inverno. O restante do período foi marcado pela fase de resfriamento e maturação (19,3°C) do composto com duração de cerca de 36 dias. Com relação a temperatura ambiente, observa-se que a temperatura média ficou em torno de 24 °C.



**Figura 18 - Variação da temperatura da leira 70% RPC / 30% ROC**

#### 5.2.9.2 – Temperatura da leira 50% RCP / 50% ROC

A variação da temperatura na leira pode ser analisada de acordo com a Figura 19.



**Figura 19 - Variação da temperatura da leira 50% RPC / 50% ROC**

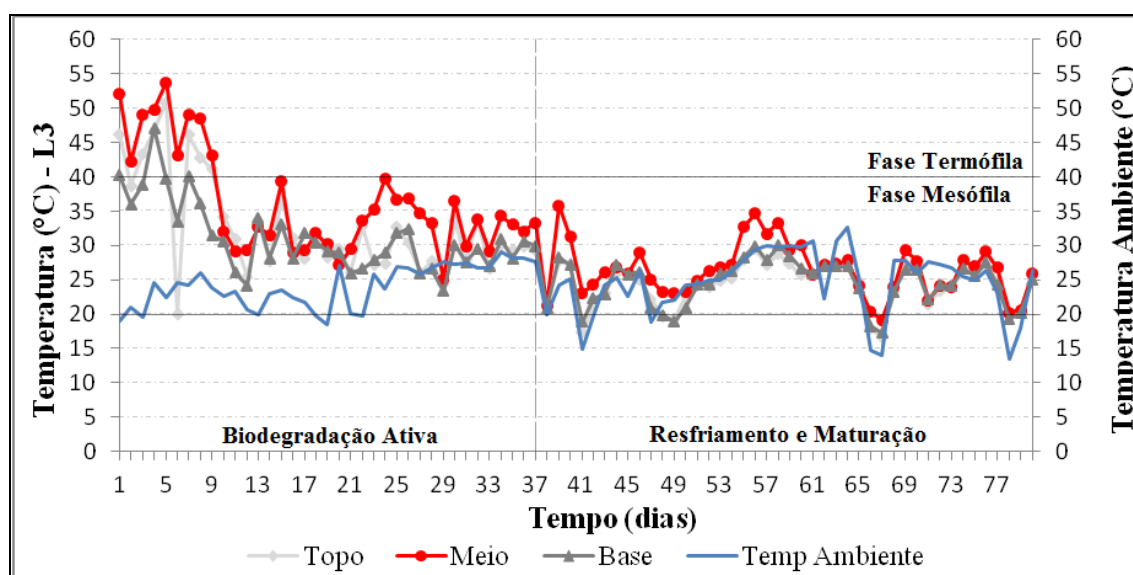
A temperatura nesta proporção 50% RPC / 50% ROC variou de forma mais acentuada quando comparada com a leira 70% RPC / 30% ROC. Ao longo do período de compostagem foi possível detectar as quatro fases características do processo que são: fase termófila, mesófila, resfriamento e de maturação. Observa-se que a fase termofílica (43,4°C)

teve duração de 4 dias, seguida da fase mesofílica (39,6°C) que permaneceu por 41 dias, sendo esta a fase predominante do experimento. O restante do período foi marcado pela fase de resfriamento e maturação (19,7°C) do composto com cerca de 35 dias. Com relação a temperatura ambiente, observa-se que a temperatura média ficou em torno de 24 °C.

Verifica-se que já na fase de maturação, por volta do 69º dia, houve um pico na temperatura ambiente, porém, apesar do alto valor de temperatura ambiente, a mesma não influenciou na variação da temperatura da leira, devido ao fato da leira se encontrar na fase de maturação com reduzida atividade microbológica.

### 5.2.9.3 – Temperatura da leira 30% RPC / 70% ROC

A variação da temperatura ao longo do período de compostagem pode ser analisada pela Figura 20, que evidencia que a leira 30% RPC – 70% ROC foi a que atingiu a maior temperatura 54,8°C, este fato pode ter ocorrido pela maior quantidade de ROC, que favorece maior atividade microbiana, acarretando assim em uma maior variação da temperatura.



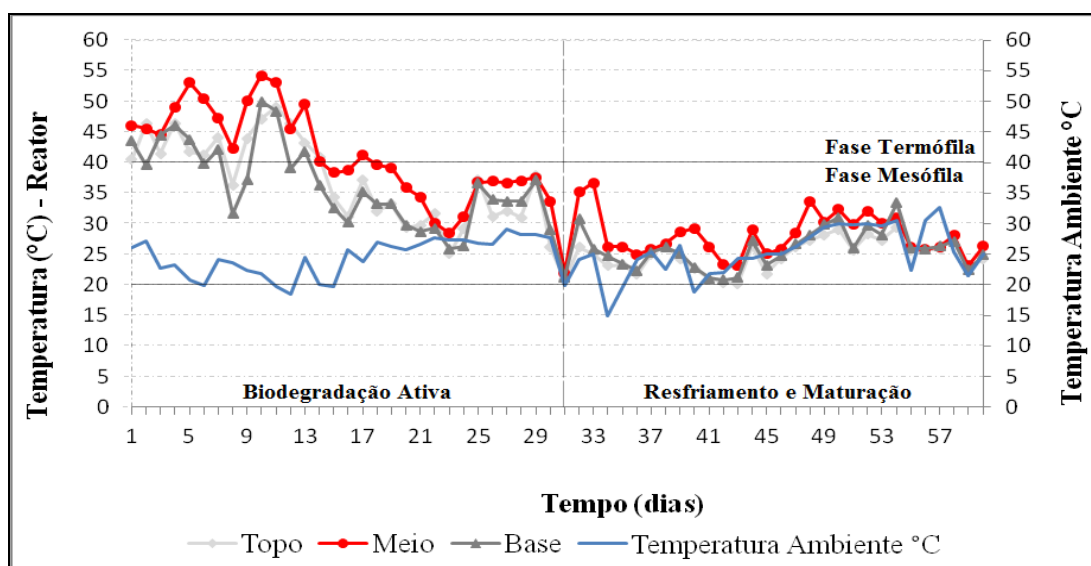
**Figura 20 - Variação da temperatura da leira 30% RPC / 70% ROC**

Além disso, esta leira foi a que mais tempo permaneceu na fase termófila (53,8°C), 11 dias, quando comparado com as leiras 1 e 2. Outro aspecto relevante a ser considerado, é que foi possível detectar as quatro fases características da compostagem que são: fase termófila, mesófila, resfriamento e de maturação, de forma mais rápida, uma vez que a variação de temperatura nesta leira foi mais relevante. A fase predominante do experimento foi a mesófila (39,7°C), que permaneceu por 32 dias. O restante do período foi marcado pela fase de

resfriamento e maturação (19,2°C) que iniciou-se no 39º dia, e permaneceu por mais 37 dias até o fim do experimento.

#### 5.2.9.4 – Temperatura Reator 50% RPC / 50% ROC

Na Figura 21 estão apresentadas as variações de temperatura ao longo do experimento.



**Figura 21 - Variação da temperatura do reator 50% RCP / 50% ROC**

Os altos picos de temperaturas prevaleceram por 14 dias, principalmente no início do processo, chegando a atingir 54,2 °C, o que caracteriza a fase termófila. Devido ao maior predomínio das altas temperaturas no reator foi preciso introduzir uma maior quantidade de água, com a finalidade de ajustar a umidade nos primeiros 30 dias do ciclo de compostagem, por isso que se constatou um comportamento diferente (redução) da umidade analisada acima. A fase mesófila (39,6°C) teve duração de 23 dias e durante os 23 dias restantes foi constatada a atuação concomitante das fases de resfriamento (22°C) e de maturação do composto.

Inicialmente na fase termofílica, nota-se altos valores na variação de temperatura do reator em comparação com a temperatura ambiente, fato que pode ser explicado pelo processo mecanizado em que a injeção de O<sub>2</sub> no sistema possibilitou uma atividade microbiológica maior, acarretando na elevação da temperatura do reator. Comparando com a leira 2 que apresentava a mesma composição de resíduos, este fato não foi observado.

### 5.3 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO FINAL

A Tabela 3 apresenta as características finais dos compostos produzidos durante o presente estudo realizado nas 3 leiras e no reator comparando-os com os valores estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Esta normativa determina as especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos, que classifica como classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura. De acordo com a classificação estabelecida na Instrução Normativa, os compostos produzidos nas leiras 1, 2, 3 e no reator são pertencentes à Classe A.

De acordo com a Tabela 3, é possível dizer em relação à umidade que somente a umidade do composto final obtido na leira 30% RPC e 70% ROC esteve em acordo com o valor estabelecido pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009. Este valor de umidade (42,87%) final não era esperado, já que esta proporção é a que apresenta maior porcentagem de resíduos orgânicos, o que contribui de forma significativa para aumentar a umidade. Em relação à umidade dos demais compostos produzidos, observa-se que a mesma não esteve distante dos valores ideais: reator 50% RPC e 50% ROC (54,10%), leira 70% RPC e 30% ROC (56,90%) e leira 50% RPC e 50% ROC (53,44%), sendo também que este parâmetro consegue ser facilmente ajustado, bastando apenas à secagem do composto antes de seu uso.

**Tabela 3 – Parâmetros finais dos compostos produzidos e os valores de referência da Instrução Normativa n° 25 de 23/07/2009**

| <b>Parâmetros</b>               | <b>Leira 70%<br/>RPC e<br/>30% ROC</b> | <b>Leira 50%<br/>RPC e<br/>50% ROC</b> | <b>Leira 30%<br/>RPC e<br/>70% ROC</b> | <b>Reator<br/>50% RPC<br/>e 50%<br/>ROC</b> | <b>I. N. n.<br/>25/2009</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Umidade (%)</b>              | 56,90                                  | 53,44                                  | 42,87                                  | 54,10                                       | Máxima de<br>50%            |
| <b>Resíduo Mineral<br/>(%)</b>  | 32,19                                  | 28,52                                  | 30,94                                  | 31,74                                       | -                           |
| <b>Matéria<br/>Orgânica (%)</b> | 67,80                                  | 69,26                                  | 64,86                                  | 68,25                                       | -                           |
| <b>Carbono<br/>Orgânico (%)</b> | 39,30                                  | 38,47                                  | 36,03                                  | 37,90                                       | Mínimo de<br>15%            |
| <b>Nitrogênio (%)</b>           | 2,99                                   | 2,87                                   | 2,42                                   | 3,13                                        | Mínimo de<br>0,5%           |
| <b>Relação C/N</b>              | 13,14                                  | 13,40                                  | 14,80                                  | 12,10                                       | Máximo de<br>20/1           |
| <b>pH</b>                       | 7,38                                   | 7,44                                   | 7,50                                   | 7,42                                        | Mínimo de<br>6              |
| <b>Fósforo (%)</b>              | 0,0269                                 | 0,0287                                 | 0,0279                                 | 0,0284                                      | -                           |

Verifica-se que o parâmetro resíduo mineral não é um parâmetro a ser seguido pela normativa, ou seja, não existe valores reguladores para o parâmetro. Silva *et al.* (2002) classificaram os valores de resíduo mineral como sendo: ótimo (menor que 20%); bom (20 – 40%); indesejável (maior que 40%). Desta forma, os teores de cinza obtidos no composto final foram bons nas leiras 1, 2, 3 e no reator – 32,19%; 28,52%; 30,94%; 31,74%, respectivamente.

Com relação ao teor de matéria orgânica a I.N. n. 25/2009 não estipula valores reguladores a serem seguidos que inviabilizem o uso do composto na agricultura. Os valores finais encontrados na leira 1 (67,80%), leira 2 (69,26%), leira 3 (64,86%) e reator (67,80%) podem ser classificados como ótimo (maior que 60%) de acordo com SILVA *et al.*, (2002).



A I.N. n. 25/2009 estabelece que o parâmetro carbono orgânico seja no mínimo de 15%, com isso verifica-se que todos os experimentos testados se encontram em acordo com a normativa, com valores para a leira 1 de 39,30%, leira 2 de 38,47%, leira 3 de 36,03% e reator de 37,90%. Os valores do carbono orgânico obtidos apresentaram como resultado final uma porcentagem relevante deste parâmetro, podendo assim contribuir para melhorar a estrutura do solo, reduzir a plasticidade e a coesão.

O teor de nitrogênio do reator (3,13%) foi o maior valor obtido ao final do processo de compostagem, quando comparado com os valores das leiras 70% RPC / 30% ROC (2,99%); 50% RPC / 30% ROC (2,87%); 30% RPC / 70% ROR (2,42%). Além disso, todas as proporções testadas apresentaram a quantidade mínima exigida pela I.N. n. 25/2009 (0,5%).

A relação C/N teve para todos os experimentos resultados satisfatórios com relação à normativa (máximo de 20/1), atingindo valores finais de 13,14; 13,40; 14,80 e 12,10, que correspondem respectivamente às leiras 1, 2 e 3 e ao reator. Sendo que o reator obteve o melhor resultado dentre os 4 experimentos.

Os valores de pH dos compostos produzidos na leira 1 (7,38%), leira 2 (7,44%), leira 3 (7,50%) e reator (7,42%) estão de acordo com o estipulado pela I.N. n. 25/2009 (mínimo de 6).

A normativa não estipula valores para o teor de fósforo que o composto maturado deve conter. Porém de acordo com a literatura, a relação C/P deve estar em torno de 150/1, e os valores finais da relação C/P para as leiras 1 (1460/1), 2 (1340/1), 3 (1291/1) e do reator (1334/1) estão acima desta relação.

#### 5.4 – Análise dos Resultados Obtidos com o Plantio do Milho

Os resultados obtidos no cultivo de milho utilizando os compostos orgânicos puros (100%) e misturados com terra (40% de composto orgânico e 60% de terra) foram avaliados estatisticamente e estão apresentados na Tabela 4.

Para a análise estatística, o software Bioestat 5.0 gera uma matriz de comparação entre os testes em questão, ou seja, o software atribui letras (**a, b, c, d**) em que a presença de letras iguais em testes diferentes implica na significância estatística existente entre os testes realizados.

**Tabela 4 – Análise estatística dos resultados obtidos no cultivo de milho**

| Teste                                            | Massa                  |
|--------------------------------------------------|------------------------|
| T1 – 100% do composto da leira 1                 | 9.16 ± 5.09 <b>ab</b>  |
| T2 – 100% do composto da leira 2                 | 0.00 ± 0.00 <b>d</b>   |
| T3 – 100% do composto da leira 3                 | 0.00 ± 0.00 <b>cd</b>  |
| T4 – 100% do composto do reator                  | 0.00 ± 0.00 <b>cd</b>  |
| T5 – 100% de terra                               | 7.78 ± 2.88 <b>abc</b> |
| T6 – 60% terra + 40 % do composto da leira1      | 9.45 ± 4.02 <b>ab</b>  |
| T7 – 60% terra + 40% do composto da leira 2      | 15.68 ± 3.99 <b>b</b>  |
| T8 – 60% terra + 40% do composto da leira 3      | 0.64 ± 2.07 <b>acd</b> |
| T9 – 60% terra + 40% do composto do reator       | 0.00 ± 0.00 <b>d</b>   |
| T10 – 60% terra + 40% de adubo químico comercial | 0.00 ± 0.00 <b>cd</b>  |

Obs. Os valores seguidos de letra igual indicam diferença estatística não significativa ( $p > 0,05$ ). Kruscal-Wallis, teste de Dunn. Mediana ± desvio interquartilico

O Teste T7 (proporção 60% terra / 40% composto orgânico da leira 2) produziu mudas com a maior biomassa ( $p < 0,05$ ) quando comparado com T1 (100% composto da leira 1) e T5 (100% terra), que apresentaram valores próximos de biomassa, porém, mesmo com as diferenças de biomassa, os testes não estatisticamente.

Apesar do teste T8 não apresentar características adequadas de comercialização, ou seja, não foi capaz de produzir biomassa suficiente para ser utilizado na agricultura, o teste não diferiu estatisticamente dos testes T1, T5 e T6.

Desta forma, pode-se dizer que o uso do composto orgânico puro apresentou uma boa capacidade produtiva de mudas de milho apenas com T1 – 70% RPC / 30% ROC. Já com relação às misturas realizadas com composto/terra e adubo comercial/terra, verificou-se que T7 foi mais vantajoso, quando comparado com as proporções T6 - 60% terra + 40 % do composto da leira1, T8 - 60% terra + 40% do composto da leira 3, T9 - 60% terra + 40% do composto do reator e T10 - 60% terra + 40% de adubo químico comercial.

Não houve diferença estatística nos testes T2, T3, T4, T9 e T10, sendo que nos testes T3, T4 e T10 houve a germinação de apenas uma semente e nos testes T2 e T9 não houve germinação de nenhuma semente. Esperava-se que o composto do T4 e do T9 pudessem apresentar bons resultados, pois se referem ao composto do reator que atingiu maior grau de maturação, entretanto, não se sabe o que pode ter ocorrido para praticamente não ter havido germinação nestas condições.

### **5.5 – Dimensionamento da Usina de Compostagem**

O campus da FCT/UNESP tem uma produção anual aproximada de 13.000 Kg de resíduos orgânicos a serem compostados, sendo que o resíduo orgânico contribui com 5.000 Kg e o resíduo de poda/capina com 8.000Kg.

Assim, o dimensionamento foi baseado nos resultados obtidos na leira 1 (70% RPC / 30% ROC), pois esta proporção apresentou um composto no estado semicurado com apenas 40 dias de experimento, sendo que este estado do composto foi observado pela relação C/N (17,21), além dos seus principais parâmetros estarem de acordo com o estabelecido pela Instrução Normativa n. 25/2009. Apesar de o reator apresentar um tempo de maturação 20 dias menor quando comparado com as leiras, não se optou pelo seu dimensionamento em escalar real, por causa da viabilidade dos custos que implicaria na sua implantação para a FCT/UNESP.

Os cálculos apresentados a seguir foram baseados em Pereira Neto (2007).

Admitindo-se que a densidade da mistura desses materiais seja de 570 kg/m<sup>3</sup> pôde-se dimensionar uma unidade de compostagem de baixo custo para o tratamento e reciclagem desses resíduos, de acordo com os cálculos apresentados a seguir:

### 5.5.1 - Cálculo das Dimensões da Leira de Compostagem

Serão adotadas leiras com seção reta triangular com 1,50 m de altura e 1,50 m de largura.

Cálculo do comprimento da leira (L):

$$\text{Área de seção reta } A_s = \frac{1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}}{2} = 1,125 \text{ m}^2$$

Densidade da massa de compostagem (D)

$$D = 570 \text{ kg/m}^3$$

Volume da leira de compostagem (V)

$$V = \frac{8.000 + 5.000 \text{ (kg)}}{570 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = 22,8 \text{ m}^3$$

Comprimento da leira (L)

$$L = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{A_s \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{22,8 \text{ (m}^3\text{)}}{1,125 \text{ (m}^2\text{)}} = 20,26 \text{ m}$$

Comprimento adotado L = 21,00 m

Assim sendo, as dimensões das leiras são: 1,5 m x 1,5 m x 21 m

### 5.5.2 - Cálculo da Área do Pátio de Compostagem

$$\text{Área da base da leira } A_b: A_b = 1,5 \text{ m} \times 21 \text{ m} = 31,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de folga para o revolvimento da leira } A_f = 31,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Admite-se que cada leira ocupará } A_b + A_f = 63 \text{ m}^2$$

Supondo-se tratar de um material cujo período de compostagem (fase ativa e fase de maturação) seja de 80 dias, e que seja montada uma leira a cada três dias, a área útil ( $A_u$ ) do pátio de compostagem será:

$$A_u = \frac{63 \text{ m}^2 \times 80 \text{ dias}}{3 \text{ dias}} = 1680 \text{ m}^2$$

3 dias

Adotando-se um coeficiente de segurança de 10% (devido ao possível aumento da quantidade de resíduos produzido pela cantina ou por aumento da frequência da poda/capina), tem-se uma área adicional de  $168 \text{ m}^2$ .

Assim, a área total do pátio de compostagem será:

$$A_t = 1680 \text{ m}^2 + 168 \text{ m}^2 = 1848 \text{ m}^2$$

Área total do pátio adotada  $A_t = 1850 \text{ m}^2$

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais resultados obtidos com este estudo revelam que todos os compostos produzidos nas quatro condições distintas se encontram dentro dos valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, instituído pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009, sendo que a umidade foi o único parâmetro que permaneceu um pouco acima do estabelecido nas leiras 70% RPC / 30% ROC, 50% RPC / 50% ROC e no reator 50% RPC / 50% ROC. Entretanto, este parâmetro é facilmente ajustado com a secagem do composto.

A leira 70%RPC / 30%ROC seria a mais indicada a ser implantada pela FCT/UNESP para o tratamento de seus resíduos orgânicos, já que no campus foi verificada uma maior produção do resíduo de poda e capina quando comparado com o resíduo orgânico, acarretando na redução da possível acumulação do RPC nas curvas de nível e buracos no fundo da UNESP. Além disso, esta leira apresentou um menor tempo de maturação do composto juntamente com o reator, ambos apresentaram um composto semicurado baseado na relação C/N (17,21; 19,90) com 40 dias para a leira 1 e 45 dias para o reator, respectivamente.

Em relação ao plantio de milho, o uso do composto orgânico puro apresentou uma boa capacidade produtiva apenas com T1 – 70% RPC / 30% ROC, indicando novamente a viabilidade de aplicação desta condição em escala real. A mistura dos resíduos da leira 2 (50%RPC / 50% ROC) com terra – T7 também apresentou resultados satisfatórios no cultivo de milho.

Pode-se dizer também que seria interessante testar as proporções 70%RPC /30% ROC e 30%RPC / 70%ROC no sistema mecanizado, já que devido à falta de estrutura física ficou inviabilizada a realização destes testes nessas proporções.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A., 2003, “**Composto de Lixo Urbano na Composição Química do Solo e seus Efeitos no Desenvolvimento de Mudas de Maracujazeiro Amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L)**”, *Revista Biociência*, v. 9, n. 2, pp. 7-15.

ALVES, W.L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento do lixo urbano**. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 47p.

AMORIM, A.C., **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

APPELS, L., BAEYENS, J., DEGRÈVE, J. *et al.*, 2008, “**Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge**”, *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 34, pp. 755-781.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação**. NBR 10004, 2004.

\_\_\_\_\_. **Amostragem de resíduos sólidos**. NBR 10.007, 2004.

\_\_\_\_\_. **Resíduos de Serviço de Saúde**. NBR 12.808, 1993.

\_\_\_\_\_. **Resíduos de Serviço de Saúde – procedimentos na coleta** NBR 12.810, 1993.

BIDONE, F.R.A. **Resíduos Sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Porto Alegre: PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 2001.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. **Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil**. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 69, p. 175-189, 1998a.

BERNAL, M. P.; NAVARRO, A. F.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; CEGARRA, J. **Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil**. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 30, n. 3, p. 305-311, 1998b.

BERNAL, M. P.; PAREDES, C. SÁNCHEZ-MONEDERO; CEGARRA, J. **Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes**. *Bioresource Technology*, v. 63, p. 91-99, 1998c.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BRAGA, M.C.B., BONETTO, E. R. **Solid Waste Management in Curitiba, Brazil – Alternative solutions**. *The journal of resources and technology*, Marh 1993, Volume 21, number 1.

BRITO, M. J. C., (2008), **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**, Dissertação de M. Sc., UNIT, Aracajú, SE, Brasil.

BÜTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Anegelina – SC.** Florianópolis - SC, março/2004, 140 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental), Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

CALDAS, E., LACZYNSKI, P. Sistema de coleta e tratamento de lixo. In: PAULICS, V. **125 Dicas – Idéias para a Ação Municipal.** São Paulo: Pólis, 2000. p. 193-194.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo.** 4a Ed. São Paulo: Humanitas FFLCH/SP, 2003. 346 p.

CHEFETZ, B.; HATCHER, P. G.; HADAR, Y.; CHEN, Y. **Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste.** Journal of Environmental Quality, v. 25, p. 776-785, 1996.

D'ALMEIDA, M. L. O., VILHENA, A, 2000: **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento de Resíduos.** 2a edição. São Paulo: IPT/CEMPRE.

DALPIAN, J. J., (2004), **Compostagem de resíduos sólidos contendo gordura e celulose de indústria de produtos cárneos: valoração de resíduos à sub-produto**, Dissertação de M. Sc., Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

FONSECA, E. **Sistemas de Compostagem.** Curso: Modelo de Gestão Integrada dos resíduos Sólidos Urbanos – Módulo 6. Brasília: ABES, 2000. 183 p.

GIFFONI, P. O. & LANGE, L. C. **A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 10, no. 2, abr./jun. 2005, p. 128-136.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras.** RJ: Interciência, 2001.

IAL – NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos.** São Paulo: 3a edição, Editoração Débora D. Estrella Rebocho, 1985.

IBAM – **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos** / José Henrique Penido Monteiro et al. coordenação técnica: Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

HASSOL, S., RICHMAN, B. **Creating a Healthy World – 101 Practical Tips For Home And Work – Recycling.** First Edition. Colorado: The Windstar Foundation, 1989.

JARDIM, N.Z. *et al.* IPT/CEMPRE: **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT, 1995. 278 p.



KASSENKA, G. R. Potencial and constraints of composting as a market solid wastes disposal option for Dar Es Salaam, Tanzania. **The journal of solid waste technology and management**, May 1999, Volume 26, number 2.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda., 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. 2002, **Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: 3ª edição.

LASARIDI, K., PROTOPAPA, I., KOTSOU, M., *et al.*, 2006, “**Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance**”, *Journal of Environmental Management*, v. 80, pp. 58-65.

MENDONÇA, V., ABREU, N. A. A., SOUZA, H. A., *et al.*, 2007, “**Diferentes níveis de composto orgânico na formulação de substratos para a produção de mudas de mamoeiro “Formosa”**”, *Revista Caatinga*, v. 20, n. 1, pp. 49-53.

PEREIRA NETO, J. T. (1987) – **A Low Cost Technology Approach on the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting** – Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Leeds, Inglaterra

PEREIRA NETO, J.T. **Conceitos modernos de compostagem**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, ABES, n. 2, pp.104-109, abr/jun, 1989.

PEREIRA NETO, J.T. (2007), **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Editora UFV, Viçosa-MG, 81p.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84p.

PROVENZANO, M. R.; OLIVEIRA, S. C.; SILVA, M. R. S.; SENESI, N. **Assessment of maturity degree of composts from domestic solid wastes by fluorescence and fourier transform infrared spectroscopies**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, p. 5874-5879, 2001.

RAMOS, S. I .P. **Sistematização técnico-organizacional de programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em municípios do Estado do Paraná**. Curitiba, 13/08/2004, 211 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná.

RIVERO, C.; CHIRENJE, T.; MA, L. Q.; MARTINEZ, G. **Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions**. *Geoderma*, v. 123, p. 355-361, 2004.

RIZK, M. C., 2009, **Tratamento de resíduos frutihortícolas**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J.; GARCÍA, D.; ROIG, A. **Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting**. *Biodegradation*, v. 13, p. 361-371, 2002.

SANT'ANNA, F. **Compostagem**. 2001. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/publique/media/Boletim5rs.pdf>. Acesso em 03 de agosto de 2011.

SILVA, F. C., BERTON, R. S., CHITOLINA, J. C., *et al.*, (2002), “**Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**”, *Embrapa – Circular Técnica 3*, pp. 1-17.

SILVA, L. I. D, CARNEIRO, M. C., EMÍDIO, V. S., *et al.*, 2006, “**Determinação das formas de nitrogênio e nitrogênio total em rochas-reservatório de petróleo por destilação com arraste de vapor e método do Indofenol**”, *Química Nova*, v. 29, n. 1, pp. 46-51.

SOARES, A. P. M., GRIMBERG, E. Coleta seletiva e o princípio dos 3 R's. In: PAULICS, V. **125 Dicas – Idéias para a Ação Municipal**. São Paulo: Pólis, 2000. p. 167-168.

SOUZA, F.A., AQUINO, A.M. , RICCI, M.S.F. , FEIDEN, A. . **Compostagem**. EMBRAPA, 2001. Disponível em: <http://www.pronaf.gov.br/dater/arquivos/2014419928.pdf>. Acesso em 23 de agosto de 2011.

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

VAZ, J. C.; CABRAL, C. C. Coleta seletiva e reciclagem do lixo. In: PAULICS, V. **125 Dicas – Idéias para a Ação Municipal**. São Paulo: Pólis, 2000. p. 169-170.

ZANETTI, M.C.; CONTI, R. New proposals for integrated MSW management in landfill, **The journal of solid waste technology and management**. February 1998, Volume 25, number 1.

VON SPERLING, (2001), M. **Lodo de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFGM.

## ANEXOS

**ANEXO I****UMIDADE, MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL, RESÍDUO MINERAL TOTAL,  
CARBONO ORGÂNICO E RELAÇÃO C/N  
(KIEHL, 1985)**

Lavar uma cápsula de porcelana com água destilada, levar à estufa por uma hora e após, à mufla a 550°C por 30 minutos e colocar no dessecador até resfriamento total. Pesquisar obtendo-se  $P_1$ .

**Análise da em umidade (%):**

Pesar uma porção de amostra, obtendo-se  $P_2$ . Levar a cápsula contendo a amostra à estufa, graduada para a faixa de 100-110°C, permanecendo por mínimo 16 horas. Deixar esfriar no dessecador por 30 minutos e pesar obtendo-se  $P_3$ .

$$\text{Umidade}(\%) = \frac{(P_2 - P_3) \times 100}{(P_2 - P_1)}$$

**Análise de matéria orgânica total (MO%):**

Levar a cápsula com o material da análise de umidade à mufla e ligá-la mantendo a porta entreaberta para proporcionar aeração; a amostra deve ser aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material; recomenda-se, neste caso, que o procedimento seja repetido. Fechada a porta e alcançada a temperatura de 550°C, manter nessa temperatura por 1 hora, retirar a cápsula, resfriar em um dessecador e pesar  $P_4$ .

$$\text{MO}_{\text{Total}}(\%) = \frac{(P_3 - P_4) \times 100}{(P_3 - P_1)}$$

**Análise de resíduo mineral total (RM%):**

O resíduo mineral que restou na cápsula é geralmente designado como cinza ou material não volátil ou resíduo mineral total. A determinação do resíduo total por simples cálculo a partir dos dados da análise de matéria orgânica total.

$$RM_{Total}(\%) = \frac{(P_4 - P_1) \times 100}{(P_3 - P_1)}$$

**Análise de carbono orgânico (CO):**

Segundo KIEHL (1985), a porcentagem de carbono orgânico possui um fator de conversão entre 1,724 e 1,923 que corresponde a 52 e 58%, respectivamente, de carbono contido na matéria orgânica degradada, assim:

$$CO(\%) = \frac{MO_{Total}(\%)}{1,8}$$

**Análise da relação C/N:**

A determinação da relação carbono/nitrogênio é um parâmetro que se obtém dividindo-se o teor de carbono orgânico pelo nitrogênio obtido na amostra, a partir do procedimento no anexo IX, representando-se o numerador da relação obtida sempre por um número inteiro.

$$C/N = \frac{CO(\%)}{N(\%)}$$

## ANEXO II

### NITROGÊNIO KJELDAHL (ADOLFO LUTZ, 1985)

#### **Preparo da amostra:**

A amostra é seca em estufa à 105-110°C durante 12 horas, moída e deixada novamente na estufa até peso constante e deixada esfriar em dessecador.

#### **Preparo da solução digestora:**

Adicionar 100 partes de  $K_2SO_4$  em 1 parte de  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  e 0,8 partes de  $Se_8$ .

#### **Preparo da solução indicadora de ácido bórico:**

Para 1000 mL de  $H_3BO_3$  a 4%, adicionar 15 mL de vermelho de metila (0,1% em álcool) e 6 mL de verde de bromocresol (0,1% em álcool);

#### **Solução de NaOH – 50%:**

Adicionar 500 g de NaOH em 1000 mL de água destilada.

#### **Digestão:**

Pesar 0,5 g de amostra e introduzir em um tubo kjeldahl, adicionar de 1 a 2 g da mistura digestora e 12 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Colocar os tubos no digestor e aquecê-los moderadamente no início, tendo o cuidado de utilizar capela, devido os vapores ácidos desprendidos. Continuar a digestão até que a solução torne-se incolor e a temperatura tenha 350°C. Em seguida aquecer os tubos por mais 30 minutos. Deixá-los esfriar.

#### **Destilação:**

Adicionar a cada tubo 10 mL de água destilada e acoplá-los ao aparelho de destilação. Adicionar 40 mL de solução de NaOH – 50% ao conjunto de destilação. Adicionar este moderadamente. Colocar um erlenmeyer de 250 mL contendo 25 mL de solução indicadora de ácido bórico na ponta do condensador para receber o  $NH_3$ . Após a adição do NaOH iniciar a destilação. A ponta do condensador deve ser introduzida na solução para evitar perdas da amônia. Coletar um volume do destilado de 2 a 3 vezes maior do que o volume inicial.

**Titulação:**

Titular com uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  de normalidade padronizada. Para se obter a porcentagem de nitrogênio na amostra, utiliza-se

$$N(\%) = \frac{V \times N \times 14 \times 100}{P_A}$$

Em que,

V: volume do ácido titulado (mL);

N: normalidade do ácido;

$P_A$ : peso da amostra (mg).

OBS: Para digestão de amostra líquida: 2 mL de amostra + 12 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Aumentar a temperatura para  $100^\circ\text{C}$  por 30 minutos, elevar  $50^\circ\text{C}$  e permanecer por 30 minutos, assim sucessivamente, até  $350^\circ\text{C}$  permanecendo por 1 hora.

### ANEXO III

#### FÓSFORO (MALAVOLTA, 1997)

##### **Preparo da amostra:**

A amostra é seca em estufa à 105-110°C durante 12 horas, moída e deixada novamente na estufa até peso constante e deixada esfriar em dessecador.

##### **Preparo da mistura para extração:**

Preparar uma solução de proporção 2:1 (v/v) de HNO<sub>3</sub> e HCl.

##### **Extração pela digestão ácida a quente (nítrico-clorídrica):**

Passar uma quantidade de material seco e moído para tubo de digestão, anotar a massa da amostra. Adicionar 10 mL de mistura para extração. Levar para o bloco digestor aumentado gradativamente a temperatura até atingir 160°C e deixar nessa temperatura até o volume reduzir à metade. Aumentar a temperatura para 210°C e deixar nesta temperatura até o extrato apresentar-se sem sólidos. Caso preciso, adicionar um pouco mais de mistura para extração (mesma proporção inicial) para terminar a digestão, deixar reduzir o volume à 1 mL. Esfriar, transferindo o extrato para um balão volumétrico de 50 mL. Completar o volume com água deionizada.

##### **Preparo da solução aquosa de molibdato de amônio 5%, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>:**

Em um béquer de 1000 mL colocar cerca de 400 mL de água destilada quente. A seguir, acrescentar aos poucos e agitando até dissolver 25 g de molibdato de amônio. Esperar esfriar e passar para um balão volumétrico de 500 mL, lavando o Becker com porções de água destilada fria até completar o volume do balão e homogeneizar. Guardar esse reativo em frasco âmbar.

##### **Preparo da Solução de metavanato de amônio 0,25%, NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>:**

Em um béquer de 1000 mL colocar cerca de 200 mL de água destilada quente. A seguir, acrescentar aos poucos e agitando até dissolver 1,25 g de NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>. Acrescentar 175 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado e esfriar. Passar para um balão volumétrico de 500 mL, lavando o



béquero com porções de água destilada fria até completar o volume do balão e homogeneizar. Guardar esse reativo em frasco âmbar.

**Preparo do reativo misturado:**

Misturar partes iguais de molibdato de amônio 5% com metavanadato de amônio a 0,25%, homogeneizar e guardar em refrigerador, por uma semana. De preferência misturar o reativo um pouco antes de utilizá-lo.

**Preparo da solução estoque de fósforo (80 ppm de P):**

Em um balão volumétrico de 1000 mL contendo cerca de 300 mL de água destilada e 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10N (280 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado/1) adicionar 0,3509 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (fosfato monobásico de potássio) seco em estufa por 2 horas a 70-80°C e resfriado em dessecador. Agitar e completar o volume com água destilada.

**Preparo da solução padrão de fósforo:**

Em um balão volumétrico de 100 mL adicionar através de uma bureta: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mL da solução estoque de P (80 ppm), 4 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 N, completar o volume com água destilada e homogeneizar. Essas soluções contém, respectivamente, 0, 4, 8, 12, 16 e 20 ppm de P.

**Preparação da curva padrão:**

Pipetar 5 mL dos padrões para tubo. Adicionar 2 mL do reativo misturado e homogeneizar. Deixar em repouso por 5 minutos e ler a absorbância em um comprimento de onda de 420 nm, sendo que essa leitura pode ser feita até 30 horas após a adição do reativo colorido; colocar em eixos coordenados, sendo as concentrações de fósforo na abscissa (0, 20, 40, 60, 80 e 100  $\mu\text{g P}/5\text{mL}$ ) e na ordenada as leituras obtidas (absorbância = A).

**Análise de Fósforo no extrato da digestão ácida:**

Pipetar 0,4 mL do extrato nítrico-clorídrica (extrato da digestão ácida) em um tubo. Adicionar 2 mL de água destilada, 2 mL de reativo colorido e homogeneizar; Deixar em repouso por 5 minutos e ler a absorbância em 420 nm. Para os cálculos, pela quantidade de matéria seca (MS) utilizada, supondo ter-se utilizado 1 mL do extrato nítrico-perclórico (0,5 g MS/50 mL).

$$0,5 \text{ g MS} \longrightarrow 50 \text{ ml}$$

$$X \text{ g MS} \longrightarrow 1 \text{ ml}$$

$$X = 0,01 \text{ g MS}$$

$$0,01 \text{ g MS} \longrightarrow C (\mu\text{g P} / 5 \text{ ml})$$

$$100 \text{ g MS} \longrightarrow \% \text{ P}$$

$$\% \text{ P} = 0,01 \times C$$

Em que C é a concentração de fósforo no extrato ( $\mu\text{g P}/5 \text{ mL}$ ) determinado através da curva padrão.

OBS: Para a extração da amostra líquida: 10mL de amostra é seca, colocar 10 mL de HCl 10%, filtrar e completar com água deionizada em um balão de 25 mL. Base de cálculo utilizada 10 mL.