

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Débora Corrêa de Mello Santos Pereira

**Compostagem pelo método de aeração passiva:
uma solução sustentável para os resíduos
sólidos orgânicos da indústria de celulose e
papel**

Taubaté - SP
2010

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Débora Corrêa de Mello Santos Pereira

**Compostagem pelo método de aeração passiva:
uma solução sustentável para os resíduos
sólidos orgânicos da indústria de celulose e
papel**

Dissertação apresentada para a obtenção
do título de Mestre pelo Curso de Ciências
Ambientais do Departamento de Agronomia
da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Transformação e
construção do ambiente Humano

Orientador: Prof.Dr. Paulo Fortes Neto

Taubaté - SP
2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

P436c Pereira, Débora Corrêa de Mello Santos
 Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução
 sustentável para resíduos orgânicos da indústria de celulose e papel
 / Débora Corrêa de Mello Santos Pereira. - 2010.
 90 f.
 Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté,
 Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2010.
 Orientação: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto, Departamento de
 Ciências Agrárias.

DÉBORA CORRÊA DE MELLO SANTOS PEREIRA

Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para os resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre pelo Curso de Ciências Ambientais do Departamento de Agronomia da Universidade de Taubaté.
Área de concentração: Transformação e construção do ambiente Humano

Data: 10 / 02 / 2010

Resultado: **APROVADO**

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. Paulo Fortes Neto

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof.Dr. Márcio Joaquim Estefano de Oliveira

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof.Dra. Juliana Lundgren Rose

Universidade Federal do RJ

Assinatura _____

Aos meus pais, esposo e irmãos pelo apoio e compreensão

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Fortes pela paciência, apoio, credibilidade que me confiou, pelo sorriso sempre presente em seu rosto e por me apresentar e preparar para um mundo até então desconhecido.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida;

Ao Professor Doutor Paulo Fortes Neto pela atenção e dedicação que me dedicou, além da segurança para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao meu amado esposo Eder, pelo companheirismo, incentivo, amor incondicional e compreensão do lazer adiado;

Aos Meus pais, Belmiro e Zoê, pelo amor, e pelo apoio incondicional que me deram, mesmo sem compreender a magnitude do que estava acontecendo;

Aos meus avós (in memória), por saber que onde estiverem, estão felizes e orgulhosos por mais esta conquista;

Aos meus irmãos Luiz Henrique e Patrícia Elaine pela cumplicidade e alegria de tê-los sempre ao meu lado;

Às minhas sobrinhas Naiara, Niandra, Maria Eduarda e Lucas pela alegria, ternura e inocência;

Ao meu cunhado José Luiz e cunhada Elaine Patrícia pelo imenso carinho recíproco;

Ao Meu sogro João e minha sogra Nilce pelas palavras e carinho que me deram desde que nos conhecem;

Ao meu gerente, Antonio Rossener, por confiar em meu potencial, lutar por mim e ser sempre a voz amiga de incentivo e força;

À Volkswagen do Brasil pela bolsa de estudos concedida;

À Universidade de Taubaté, pelo apoio nas análises que se fizeram necessárias;

À todos os professores por toda soma feita em minha vida acadêmica;

À coordenação do programa de Ciências ambientais, pelo caráter profissional de todos;

E à todos os meus amigos os quais os nomes não estão aqui, mas sempre estiveram comigo me ajudando direta e indiretamente me dando força e coragem para desenvolver este trabalho;

“Considero impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, tanto quanto conhecer o todo sem conhecer, particularmente, as partes.”

Pascal

"Não somos o que deveríamos ser; não somos o que queríamos ser; mas graças a Deus, não somos o que éramos".

Martin Luther King

RESUMO

Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para os resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel

Autora: Débora Corrêa de Mello Santos Pereira

Orientador: Prof.Dr. Paulo Fortes Neto

O presente trabalho, na área das Ciências Ambientais, estudou a compostagem de resíduos sólidos provenientes da indústria de celulose e papel. Partindo-se da hipótese que a compostagem é resultado da ação de microorganismos e a aeração é um dos fatores principais para o desenvolvimento de suas atividades, o objetivo deste trabalho foi verificar qual a melhor composição de resíduos (lodo primário, lodo secundário, rejeitos de depuração, casca de eucalipto, dregs, grits e cinza) e a eficiência da biodegradação das leiras de compostagem submetidas à duas metodologias de aeração: revolvimento mecânico e aeração passiva. O revolvimento mecânico foi realizado semanalmente com o auxílio de uma pá carregadeira e a aeração passiva foi proporcionada pela presença de tubos flexíveis perfurados no interior da leira, onde por consequência da diferença de temperatura entre a parte interna e externa, possibilitou a inserção de oxigênio no material. Para alcançar os objetivos foram montadas nove leiras com misturas diferentes de resíduos, sendo que seis eram periodicamente revolvidas e três eram estáticas e montadas com tubos em seu interior. Ao longo de 120 dias foram monitoradas temperatura, umidade, microorganismos patogênicos, relação C/N e metais pesados. Os resultados indicaram que: a) No final do processo todos os compostos atenderam os limites estipulados pelo CONAMA 375/2006; b) Houve redução de *Salmonellas* e Coliformes Termotolerantes; c) A metodologia de aeração passiva foi eficiente na aeração das leiras; d) O composto atingiu o grau de maturação. A leitura dos resultados obtidos permitiu concluir que para os resíduos da indústria de celulose e papel a compostagem pelo método de aeração passiva foi eficiente e não é necessário a incorporação do lodo primário no material a ser compostado.

Palavras chave: Compostagem; Aeração passiva; Resíduos orgânicos; Celulose e papel.

ABSTRACT

Composting a sustainable solution for the organic waste from pulp and paper industry: method of passive aeration

Author: Débora Corrêa de Mello Santos Pereira
Adviser: Prof.Dr. Paulo Fortes Neto

Through this work, in the area of Environmental Science, it was studied the composting of solid waste from pulp and paper industry. Based on the hypothesis that composting is a result of the action of microorganisms and the aeration is one of the major factors for the development of its activities, the objective of this study was to determine which is the best waste composition (primary sludge, secondary sludge, tailing sludge, bark from eucalyptus, dregs, grits and ash) and efficiency of biodegradation of the compost piles subjected to two methods of aeration: mechanical tillage and passive aeration. Mechanical tillage was done weekly using a front loader and the passivity was proposed in this work provided by the presence of drilled flexible pipes inside the windrow, where consequently the temperature difference between the internal and external areas enabled the insertion of oxygen in the material. Achieving the objectives it has been set up nine piles with different mixtures of waste, providing that six were periodically tilled and three were static and had drilled flexible pipes inside then. During 120 days it was monitored temperature, humidity, pathogenic microorganisms, C / N ratio and heavy metals. The results showed that: a) all piles met the criteria set by CONAMA 375/2006, b) there was a reduction of *Salmonellas* and fecal coliforms c) the methodology for passive aeration was effective in the plowing of windrows process, d) the compound reached the degree of maturation. The reading of the results enables us to draw the conclusion that for the waste from pulp and paper industry the composting of treatment was effective in piles that used the method for passive aeration and those ones which did not have in their composition any primary sludge.

Key Words: Composting; Passive Aeration; Solid Organic Waste; Cellulose and paper.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação química do Lodo da Indústria de Celulose e Papel e de amostras de lodo de esgoto urbano no Brasil	26
Tabela 2 - Percentual de Destinação de resíduos nas regiões brasileiras	27
Tabela 3 - Temperatura e tempo de exposição tolerado por patógenos	47
Tabela 4 - Limites variáveis Químicas	49
Tabela 5 -Caracterização Química e Biológica dos resíduos da indústria de celulose e papel	51
Tabela 6 - Análises químicas, físicas e biológicas realizadas durante o processo	61
Tabela 7 - Caracterização do lodo de esgoto e os limites estipulados pela Resolução CONAMA375:2006	64
Tabela 8 - Caracterização química e biológica determinada em amostras de composto após 120 dias de tratamento, de acordo com a Instrução Normativa nº27:2006, nº23:2006 do Ministério da Agricultura e pecuária e CONAMA 375:2006	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição de resíduos das leiras e método de aeração aplicado	54
Figura 2 - Bacias formada com cascas de eucalipto para receber os demais Resíduos	56
Figura 3 - Montagem das leiras de compostagem	57
Figura 4 - Montagem das leiras de compostagem com os tubos flexíveis	58
Figura 5 - Operação de revolvimento das leiras com a pá escavadeira	59
Figura 6 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (1) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca; (2) Lodo biológico + lodo primário + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca e (3) Lodo biológico + ½ geração lodo primário + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca	67
Figura 7 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (4) Lodo biológico + ½ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca; (5) Lodo biológico + lodo primário + ½ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca e (6) Lodo biológico + ½ geração lodo primário + ½ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca	68

- Figura 8** - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (1) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (7) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos) 70
- Figura 9** - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (2) Lodo biológico + lodo primário + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (8) Lodo biológico + lodo primário + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos). 71
- Figura 10** - Variação da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (3) Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (9) Lodo biológico + lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos) 71
- Figura 11** - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (7) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos); (8) Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + sem revolvimentos (tubos); (9) Lodo biológico + lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos). 72
- Figura 12** - Variação do valor da relação C/N durante os 120 dias de compostagem. (A) tratamentos 1, 2 e 3; (B) tratamentos 4, 5 e 6; (C) tratamentos 1 e 7; (D) tratamentos 2 e 8; (E) tratamentos 3 e 9 74
- Figura 13** - Variação do teor de nitrogênio total durante os 120 dias de 78

compostagem. (A) tratamentos 1, 2 e 3; (B) tratamentos 4, 5 e 6; (C) tratamentos 1 e 7; (D) tratamentos 2 e 8; (E) tratamentos 3 e 9

Figura 14 - Peso da matéria seca do tomate semeado em misturas de composto e areia, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100%. (A) tratamento 1 e (B) tratamento 7

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT	Associação brasileira de Normas Técnicas
APA	Área de Preservação Ambiental
APMs	Área de Proteção aos Mananciais
APP	Área de Preservação Permanente
C	Carbono
C/N	Ralação Carbono / Nitrogênio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRA	Capacidade de Retenção de Água
Cu	Cobre
H ₂ S	Gás Sulfídrico
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia
K	Potássio
Mg	Magnésio
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogenionico
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	15
1.2 - OBJETIVO	18
2 - REVISÃO LITERÁRIA	
2.1 - Composição e Classificação dos resíduos sólidos	19
2.2 - Resíduos da indústria de celulose e Papel	21
2.2.1 - Lodos de esgoto	23
2.3 - Destinação final e técnicas de tratamento	26
2.3.1 - Vazadouros a céu aberto	28
2.3.2 - Aterros controlados	28
2.3.3 - Aterros sanitários	29
2.3.4 - Incineração	30
3 - Compostagem	31
3.1 - Princípios da compostagem	33
3.1.1 - População microbiana	33
3.1.2 - Umidade	34
3.1.3 - Aeração	36
3.1.4 - pH	37
3.1.5 - Temperatura	38
3.1.6 - Relação C/N	41
3.2 - Qualidade do composto	43
3.2.1 - Microorganismos patogênicos	45
3.4.2 - Acumulação de metais pesados	48

4 - MATERIAS E MÉTODO	
4.1 - Caracterização dos Resíduos	50
4.2 - Tratamento e método de compostagem	53
4.3 - Preparo da mistura	55
4.4 - Montagem das Leiras	56
4.5 - Operacionalização da compostagem	58
4.5.1 - Revolvimento das leiras	58
4.5.2 - Monitoramento do processo	60
4.6 - Finalização do processo de compostagem	62
4.7 - Teste de maturação do composto	62
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1 - Caracterização dos resíduos utilizados para compostagem	63
5.2 - Temperatura	65
5.3 - Relação C/N	73
5.4 - Caracterização da composição do composto	75
5.5 - Teste de maturação	79
6 - CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são um dos problemas ambientais enfrentados pela sociedade moderna. O crescimento demográfico e o desenvolvimento da indústria e da tecnologia vêm aumentando consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos gerados pelo homem, e torna-se mais preocupante quando considerado a redução da disponibilidade de áreas para disposição segura para estes materiais.

Em tempos passados, a eliminação dos resíduos não representava um grande problema, uma vez que a população era reduzida e havia abundância de áreas para a deposição de resíduos. Atualmente, a preocupação com os resíduos é sob o foco ambiental e tem-se considerado como prioridade: a prevenção de geração de resíduos e sua redução na fonte; a reutilização direta; a reciclagem e a geração de resíduos através de medidas “fim de linha”. As três primeiras práticas, baseadas na metodologia dos 3 R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), são sustentáveis a longo prazo, ao passo que a última é uma necessidade de minimização dos efeitos negativos dos resíduos que não tiveram gestão adequada no processo gerador (FERNANDES PINTO, 2005).

A quantidade de resíduos gerados, bem como a diversidade de composição, dificulta a capacidade de assimilação destes materiais pela natureza. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, mais da metade dos resíduos gerados é de origem orgânica, que se depositado sem nenhum tratamento no solo, como é o que acontece

nos lixões, gera poluição do solo, das águas subterrâneas e superficiais, do ar e é um atrativo de vetores de doença, tornando-se um risco a saúde pública.

Com o objetivo de amenizar o impacto gerado pelos resíduos, vários métodos de tratamento e disposição vêm sendo pesquisados em todo o mundo, e a compostagem constitui a alternativa econômica e ambientalmente correta para a estabilização de resíduos orgânicos.

A compostagem é um processo de destinação dos resíduos orgânicos utilizados desde os tempos mais remotos, onde a fração orgânica é decomposta por reações bioquímicas controladas, transformando-se em um material mais estável, o chamado composto, que é um condicionador, fertilizante e ativador de atividades biológicas no solo, estimulando a incorporação no solo de elementos, como o nitrogênio, o potássio e o fósforo, elevando o nível de produtividade dos mesmos, geralmente pobres em nutrientes essenciais às plantas (BARREIRA, 2004; NAUMOFF E PERES 2000). Um ponto que merece ser mencionado é que o material a ser compostado pode ser de origem urbana, rural, industrial ou até mesmo proveniente do tratamento de esgoto.

Todo o processo de compostagem é desenvolvido por uma colônia de microorganismos, e sua atividade é afetada pela variação de alguns fatores como temperatura, aeração, teor de umidade e a concentração de nutrientes. Partindo da hipótese que a transformação da matéria orgânica em um ambiente aeróbio é ambientalmente positiva e rápida, e como resultado produz um composto de qualidade, o escopo deste estudo foi comparar a eficiência de duas metodologias de aeração: o revolvimento mecânico e a aeração passiva (HAUG, 1993).

O revolvimento mecânico consiste em proporcionar a aeração a partir do revolvimento da massa a ser compostada. O segundo método consiste em deixar o

material a ser compostado estático, e a aeração sendo proporcionada por tubulações perfuradas no interior do material, permitindo a movimentação do ar em seu interior, onde o ar quente e saturado de CO_2 sai e o ar frio e rico em O_2 entra. Esta renovação é gerada pela diferença de temperatura entre a parte externa e a parte interna do material, garantindo que os microrganismos tenham oxigênio necessário para a transformação da matéria orgânica do resíduo-base em um composto de boa qualidade do ponto de vista agronômico e sanitário.

O reaproveitamento da matéria orgânica dos resíduos sólidos, independente de sua origem, torna-se necessário quando se sabe que de um lado tem-se o aumento da carência de matéria orgânica dos solos, necessidade de recuperação de áreas degradadas e impedimento de processos de desertificação, e de outro lado, resíduos orgânicos que tem urgência de destinações sustentáveis, minimização de impactos ambientais decorrentes da falta de cuidado com as destinações, aumento de vida útil dos aterros e proteção à saúde pública.

1.2 OBJETIVO

Os objetivos deste trabalho foram:

- Avaliar qual mistura de resíduos, provenientes da indústria de celulose e papel, é melhor para o processo de compostagem.
- Verificar a eficiência da biodegradação das leiras de compostagem submetidas ao revolvimento mecânico e à aeração passiva.
- Verificar o atendimento do composto ao CONAMA 375/2006.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Composição e Classificação dos resíduos sólidos

O acúmulo de resíduos é um fenômeno exclusivo da sociedade humana, inicialmente estes materiais eram ricos em elementos orgânicos, como os restos de alimentos, porém com a Revolução Industrial houve um aumento na manufatura de bens duráveis o que gerou uma maior diversidade na composição dos resíduos gerados. Atualmente o resíduo dos países em desenvolvimento é composto em grande parte por matéria orgânica (IPT / CEMPRE, 2000).

A preocupação com estes resíduos tem aumentado à medida que houve um aumento da industrialização, crescimento demográfico, concentração urbana, desenvolvimento de tecnologias e novos materiais. As matérias primas são retiradas, transformadas em progresso e conforto e depois retornadas ao meio como um material inútil, classificado como lixo. Encontramos algumas definições para as sobras de determinadas atividades, sendo as mais conhecidas lixo e resíduo, muitas vezes utilizadas sem distinção. O que distingue uma da outra é o seu valor social, econômico e ambiental, sendo desta forma, o lixo aquele material com aspecto de inutilidade e sujeira, enquanto o resíduo possui algumas características favoráveis (IPT/CEMPRE, 2000; RANCURA, 2002; BARREIRA, 2004).

O resíduo urbano brasileiro, de acordo com dados do IBGE 2000, é constituído por mais de 50%, em peso, de matéria orgânica, que pode ser transformada em composto orgânico voltando para a natureza sob a forma de um material humificado usado na agricultura, em recuperação de solos ou como fertilizante orgânico. Porém apenas 3% de todo o lixo orgânico gerado no país é destinado a usinas de compostagem.

O gerenciamento deste resíduo é de responsabilidade das prefeituras, sendo uma parcela do Imposto da Propriedade Territorial Urbana (IPTU) destinado a esta finalidade, em conformidade com o artigo 145, inciso II da Constituição Federal. A coleta de resíduos urbanos abrange residências, comércio, indústrias entre outros, que tenha uma geração inferior a 50 kg/dia. Os resíduos de varrição e limpeza de logradouros também constituem a fração dos resíduos urbanos. Este tipo de atividade é comum em municípios maiores, que mantêm serviços regulares em toda a zona urbana, juntamente com limpeza de praças, serviços de capina, roçagem entre outros (IPT / CEMPRE, 2000).

Os resíduos sólidos ou semi-sólidos são resultantes de atividades da comunidade e podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de varrição, sendo classificados, de acordo com a ABNT 10004:2004 como:

- Perigosos (Classe I), abrangendo os resíduos com características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, gerando assim risco à saúde pública que ao serem dispostos e manuseados de forma inadequada pode causar mortandade ou incidência de doenças além de efeitos ao meio ambiente;

- Não perigosos e não inertes (Classe II A), estão neste grupo aqueles que possuem propriedades como combustibilidade, solubilidade em água e biodegradabilidade;

- Não perigosos e inertes (Classe II B), são aqueles que quando submetidos a testes de solubilidade não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, executando-se os padrões: aspecto, cor, odor, turbides e sabor.

O Instituto de Pesquisa e Tecnologia – IPT (2000) sugere outra classificação, agrupando os resíduos quanto a sua natureza (secos e molhados), quanto à composição química (orgânico e inorgânico) e quanto a sua origem (industriais, urbanos, construção civil, saúde, rurais e de portos, aeroportos e ferroviários). Essa classificação é importante, pois sabendo a origem do material é mais assertivo e simples a determinação da sua destinação.

Independente de sua classificação, os resíduos devem ser devidamente dispostos. Além da redução da emissão de gases do efeito estufa, o tratamento de resíduos sólidos e sua disposição minimizam a degradação de solos e diversos problemas a saúde pública.

2.2 Resíduos da indústria de celulose e Papel

O Brasil é o 4º maior produtor mundial de celulose e o 11º maior produtor mundial de papel, com 220 empresas em 450 municípios, localizados em 17 estados e

nas 5 regiões, possui 2,0 milhões de hectares Plantados, sendo que está no estado de São Paulo a maior fatia, de 491 mil hectares (BRACELPA, 2009).

Nos processos industriais que envolvem a madeira, os resíduos gerados possuem um alto percentual de matéria orgânica e são provenientes das diversas etapas do processo, que por algum motivo não são incorporados ao produto final. Este é um grande problema para este tipo de indústria, devido a grande quantidade gerada, aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida. A disposição deste material em aterros sanitários requer cuidados especiais de manuseio, tendo em vista o risco de contaminação ambiental. Embora este material também seja rico em matéria orgânica e o solo seja grande atraente na depuração deste material, deve-se levar em consideração que em sua composição possuem elementos prejudiciais ao solo, tanto pela característica química, quanto pela quantidade presente (BELLOTE *et al.*, 1998).

Os resíduos gerados na indústria de celulose e papel provêm das diversas fases do ciclo de produção, as que mais contribuem são: tratamento de efluentes (34%) e preparação da madeira (25%). (FERNANDES PINTO, 2005)

Os resíduos mais comuns gerados na indústria de celulose e papel são os dregs/grits, lodo de esgoto, biomassa, cinzas e rejeitos de depuração (BERGAMIN *et al.*, 1994).

Após o plantio e poda, a tora de madeira passará pelo processo de descascamento, os resíduos desta etapa contêm impurezas e são separados, constituindo assim o combustível para a geração de vapor e energia. Após a combustão, o resíduo gerado é a denominada cinza, que possui como principais

características, alto teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio e relação C/N de 30/1 (BELLOTE, 1998).

O licor branco, utilizado no processo de deslignização da madeira, quando contaminado com impurezas que prejudicam e comprometem a eficiência do processo, o produto passa pelo processo denominado recuperação do licor, neste momento denominado licor negro. As impurezas sólidas indesejáveis no processo são os chamados dregs e Grits. Os Dregs são constituídos por carbonatos de cálcio, carbonato de sódio e outros sais provenientes do processo; e Grits que é um resíduo constituído por carbonato de sódio. Em ambos os resíduos encontram-se presente metais pesados (FERNANDES PINTO, 2005).

2.2.1 Lodos de Esgoto

Durante o tratamento das águas servidas, de origem urbana ou industrial, é gerado um resíduo denominado lodo de esgoto (ALVES SOBRINHO, 2000), que segundo Fernandes (2000), é composto por 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo os sólidos formados por 70% de compostos orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e 30% de inorgânicos (areia, sais e metais). Dependendo das características do esgoto pode haver maior ou menor concentração de metais pesados e microorganismos patogênicos. Tsutya *et al* (2000) acrescenta que o custo para o tratamento ou disposição final deste material é da ordem de 20% a 40% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto.

Durante anos, o projeto das estações de tratamento de esgoto (ETE) ignorava a destinação do lodo, porém, atualmente o tratamento e correta disposição faz parte de todo o projeto, independente de sua origem, urbana ou industrial. A preocupação é que por sua carga de metais pesados, compostos orgânicos complexos e patógenos, possa transferir todo este material contaminado para as plantas, solo e água subterrânea e superficial. (MELO E MARQUES, 2000).

O lodo “fresco” possui algumas características indesejáveis, sendo necessário passar por processos de bioestabilização, transformando-se em um produto estabilizado, com baixo potencial de putrefação, odor e baixa concentração de microorganismos patogênicos (FERNANDES, 2000). Segundo Tsutya *et al* (2000) e Melo e Marques (2000), quando o lodo é processado, higienizado e seco, permitindo o seu manuseio de maneira segura na agricultura, este é denominado de biosólido.

Nos sistemas de tratamento de esgoto convencionais, é obtido lodo primário e lodo secundário ou ativado. Ambos são materiais instáveis e que necessitam ser estabilizados. Entretanto, com tecnologias mais recentes, há a possibilidade do lodo ser estabilizado no próprio sistema de tratamento de esgoto, ou seja, há uma biodegradação da matéria orgânica, porém ainda com alto nível de patógenos. Para ser aplicado no solo é necessário um processo de desinfecção (FERNANDES, 2000). No entanto, se a destinação do lodo for uso agrícola será de extrema importância a eliminação de patógenos e grau de estabilização elevado.

As alternativas mais usuais para a disposição final de biossólidos em países desenvolvidos têm sido o uso agrícola, disposição em aterro, incineração e recuperação de áreas degradadas. Os Estados Unidos da América (EUA) geram cerca de 13 milhões de ton/ano de biossólidos contra 16 milhões de ton/ano da Europa. A cidade de

São Paulo tem uma projeção de geração diária para 2015 de 785 toneladas de biossólidos, e este valor terá uma taxa de crescimento de 1,42 ao ano. (TSUTYA, 2000; MELO E MARQUES, 2000)

Uma das formas de destinação amplamente utilizada e pesquisada em todo o mundo é a aplicação do lodo na agricultura, Andreoli e Begorini (2000) faz uma longa abordagem sobre o tema, afirmando que o lodo fornece matéria orgânica, nutrientes e melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de proporcionar uma série de vantagens indiretas ao homem, como a diminuição e dependência de fertilizantes químicos, redução de efeitos negativos para a saúde gerados pela disposição inadequada destes resíduos em aterros não controlados ou incineração.

Há algumas restrições para a utilização de biossólidos. De acordo com a resolução CONAMA 375/06, seção IV, é proibida a utilização em pastagens (permitido após 24 meses da aplicação), cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes, culturas inundadas e outras culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (permitido após 48 meses da aplicação).

Na seção V da mesma resolução restringe os locais de aplicação. Entre as áreas proibitivas estão as Áreas de Preservação Permanente (APP), Área de Preservação Ambiental (APA), Área de Proteção aos Mananciais (APMs), raio de 100m de poços rasos, residenciais e áreas agrícolas.

Na Tabela 1 é apresentada uma comparação da composição do lodo de esgoto da indústria de celulose e papel com lodo de origem urbana utilizados para a compostagem no Brasil.

Tabela 1 - Comparação química do Lodo da Indústria de Celulose e Papel e de amostras de lodo de esgoto urbano no Brasil

Elementos	Industria Celulose e Papel	Lodo de esgoto do Brasil
pH	13	6,0 -10,2
Carbono Orgânico (%)	5,6	7,1 - 30
Nitrogênio Total (mg/kg)	6.526	13.000 - 59.000
Cálcio (mg/kg)	12.023	13.000 - 36.000
Sódio (mg/kg)	11.080	1.000 - 2.000
Magnésio(mg/kg)	1.799	4.000 - 40.000
Potássio (mg/kg)	3.203	1.000 - 4.000
Cádmio (mg/kg)	<0,4	0,5 - 250
Chumbo (mg/kg)	11	88 - 730
Cobre (mg/kg)	13	101 -1.039
Níquel (mg/kg)	20	10 - 593
Cromo (mg/kg)	51	24 -1.880
Zinco (mg/kg)	87	151 - 4.151

Fonte: BETTIOL E CAMARGO, 2000; AUTOR,2010.

O pH e o Sódio apresentam valores acima da média brasileira de lodo de esgoto urbano, isto está relacionado aos produtos utilizados ao longo do processo produtivo de celulose e papel. Dentre os metais o cádmio, chumbo, cobre e zinco, apresentam valores abaixo do mínimo da média brasileira. O carbono total, nitrogênio total, cálcio e magnésio também apresentaram valores abaixo do mínimo, e o potássio apresentou valor dentro da média.

2.3 Destinação final e técnicas de tratamento

Com a evolução da consciência ambiental e com o nível de conhecimento sistêmico que se tem atualmente, a remoção dos resíduos urbanos não é o suficiente sendo necessário a sua destinação correta.

O Brasil ainda está longe de ser o exemplo em destinação sustentável, assim como todo o restante do mundo, há muitos estudos com o objetivo de alcançar destinações menos agressivas ao meio ambiente.

O problema da disposição final assume uma magnitude alarmante. Considerando apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais que ao longo dos anos, tenta apenas afastar das zonas urbanas o lixo coletado, depositando-o por vezes em locais absolutamente inadequados, como encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales.

A diferença entre destinação final e tratamento, é que o tratamento consiste em utilizar o resíduo, transformando-o em outro com utilização benéfica (reciclagem, compostagem) ou que não agrida o meio, ao passo que a destinação final consiste em dispor o material sem nenhuma outra solução.

A Tabela 2 apresenta dados referentes às destinações nas diversas regiões do Brasil.

Tabela 2 - Percentual de Destinação de resíduos nas regiões brasileiras

Regiões	Lixões	Aterros sanitários	Aterros controlados	Usinas	Outros
Norte	89,7	3,67	3,99	2,58	0,06
Nordeste	90,67	2,25	5,45	0,74	0,89
Centro Oeste	54,05	13,1	27	5,02	0,83
Sudeste	26,58	24,62	40,48	4,41	3,91
Sul	40,72	51,97	4,91	0,98	1,42

Fonte: IBGE, 2000

2.3.1 Vazadouros a céu aberto

Os vazadouros a céu aberto, mais comumente conhecidos como lixão, são simplesmente depósitos a céu aberto. O lixo é colocado sob o solo sem nenhum tipo de tratamento prévio, gerando risco à saúde pública, desvalorização imobiliária, poluição do solo, contaminação de água superficial e subterrânea, proliferação de vetores de doenças, geração de chorume e emanção de odores e gases tóxicos. Nestas áreas também não há nenhum controle de entrada de resíduos, porém é uma prática adotada quando se necessita de custo baixo e curto prazo de disposição (BARREIRA, 2004).

Juntamente a esta área há uma concentração urbana de baixa renda, a fim de tirar o sustento da família, são os chamados garimpeiros do lixo, agravando cada vez mais o problema socioeconômico. Segundo dados do IBGE (2000), 63,6% dos municípios brasileiros utilizam esta forma de disposição de resíduos.

2.3.2 Aterros controlados

Aterros controlados são uma destinação extremamente questionável quando definida como uma forma adequada de tratamento. Por sua engenharia simples e inferior aos aterros sanitários, podem tornar-se lixões, tendo potencial de contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas. Na conclusão de cada jornada de trabalho os resíduos são cobertos com uma camada de material inerte (ABNT-NBR 8419:2000).

Esta área geralmente não dispõe de impermeabilização de base, podendo comprometer a qualidade das águas subterrâneas, nem sistema de tratamento de

chorume ou de coleta de gases gerados. Esse método é inferior ao tratamento de um aterro sanitário, porém superior aos vazadouros a céu aberto (IPT / CEMPRE, 2000).

Segundo Barreira (2004), a vantagem deste tipo de destinação além de ser econômica, pode ocupar áreas degradadas como antigas mineradoras. A cobertura aceita materiais de terraplanagem e de resíduos de construção civil que ajuda a impedir a proliferação de vetores e diminui a ação de catadores. Em contrapartida é necessário um controle para que não entre nestas áreas resíduos industriais e de serviços de saúde.

2.3.3 Aterros Sanitários

É uma forma de destinação segura, baseado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo a confinamento segura no que tange a poluição ambiental e saúde pública. Resumidamente, é a forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, pelo confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo a cada final de jornada ou, quando necessário, em período de tempo menor (ABNT NBR 8419:2000).

Estudos geológicos e topográficos da área são realizados antes da implantação do aterro. Após definida a área é iniciada um trabalho de impermeabilização do solo através de combinação de argila e geomanta para evitar infiltração dos líquidos percolados no solo. Os líquidos percolados são captados por tubulações e escoados para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados

tubos ao redor do aterro que permita desvio dessas águas do aterro (IPT / CEMPRE, 2000).

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro. É proibido o acesso de pessoas não autorizadas. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados ou ainda utilizados como fonte de energia, são os chamados aterros energéticos.

No interior das células ocorre a decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos gerando Biogás, composto basicamente por CH_4 e CO_2 . O acúmulo desses gases pode causar uma expansão e a conseqüentemente ruptura das camadas de cobertura, além de aumentarem o risco de combustão, por serem gases inflamáveis. A migração destes gases é realizada por um sistema de drenagem, pois a liberação destes gases de forma descontrolada pode ser prejudicial à saúde humana (IPT/CEMPRE, 2000).

As principais vantagens do aterro sanitário são, baixo custo comparado à outros tratamentos, utilização de equipamentos de baixo custo e de simples operação, possível implementação em terrenos de baixo valor e evitam a proliferação de animais e insetos que transmitem doenças. E as desvantagens são perdas de matéria-prima e da energia contida nos resíduos, desvalorização da região ao redor do aterro, riscos de contaminação do lençol freático, produção de chorume e percolados e necessidade de manutenção e vigilância após o fechamento do aterro (BARREIRA, 2004).

2.3.4 Incineração

A incineração é uma oxidação térmica, obtendo-se redução de peso, volume e periculosidade dos resíduos, ou seja, é uma queima controlada do resíduo. Segundo

Segura Muñhos (2002) as vantagens deste tratamento é a redução de volume em 90% e 15% de peso, porém podem concentrar metais pesados, dioxinas e furanos nas cinzas e gases para a atmosfera.

O tratamento térmico pode ser de alta temperatura, acima de 500°C, com o objetivo de redução da fração orgânica, em 70% de massa e 90% de volume; ou de baixa temperatura, em torno de 100°C, que visa principalmente à assepsia sem alteração da constituição de matéria orgânica e redução de volume, normalmente nos resíduos de serviço de saúde é utilizado este tipo de tratamento (BARREIRA, 2004).

As desvantagens desse processo são os custos elevados, exigência de mão de obra qualificada, presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos e emissões de gases tóxicos como dioxinas e furanos. As vantagens são as reduções drásticas de massa e volume, recuperação de energia, esterilização e desintoxicação (BARREIRA, 2004).

3 Compostagem

Desde os tempos remotos o agricultor incorporava restos orgânicos ao solo, pois percebia que com essa prática melhoravam-se a produtividade e as características de suas terras. Eram utilizados como material orgânico os dejetos humanos, animais e restos de cultura. Na sociedade moderna, marcada pelo crescente aumento populacional e grande geração de resíduos, tem-se utilizado resíduos sólidos urbanos, lodo de esgoto, resto de indústria alimentícia, resíduos da fabricação de papel e de agroindústrias como condicionante do solo (KIEHL, 1985).

Na Europa tinha-se a prática de acumular restos orgânicos e depois que estes se decompunham incorporavam-na ao solo. O produto desta decomposição chamava-se de “nitreira”. Recebia este nome pela transformação do nitrogênio orgânico, para amoniacal e este por sua vez para nitrato. Eram técnicas simples, que davam excelentes resultados. A partir de então houve diversos aprimoramentos no processo e, em 1853 foi instalado um experimento de compostagem do resíduo orgânico na Universidade da Califórnia, comprovando que a decomposição da matéria orgânica depende de alguns fatores como: microorganismo, umidade, aeração, temperatura, relação carbono/nitrogênio (C/N), granulometria da matéria prima e pH (KIEHL, 1985).

Segundo Kiehl (1985), o primeiro incentivo à produção de fertilizante orgânico conhecido como “estrumes nacionais”, visto que os fertilizantes minerais eram importados, foi dado por Dafert (diretor do Instituto Agrônomo de Campinas), que a partir de 1888, emitiu diversos relatórios explicando como preparar o composto nas fazendas. Depois de sua iniciativa, vários outros pesquisadores incentivaram a produção do composto orgânico, cada um com a sua experiência em particular.

Kiehl (1985, p.231) define composto como:

Fertilizante orgânico preparado pelo amontoamento de restos animais e vegetais, ricos em substâncias nitrogenadas, misturados com outros resíduos vegetais, pobres em nitrogênio e ricos em carbono. A mistura tem por finalidade sujeitá-los a um processo fermentativo que conduza essas matérias primas, por processo de decomposição microbiológica ao estado de parcial ou total humificação. O composto é, portanto, um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos, transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante

Após o processo de compostagem, obtém-se um produto estabilizado e em condições sanitárias adequadas para serem aplicados ao solo, sendo este produto químico, físico e biologicamente diferente do material que lhe deu origem (PHILLIPI JR,2005).

Quando o material orgânico é deixado na natureza a sua estabilização ou humificação ocorre em tempo variável em função dos agentes presentes. Já no processo de compostagem todos os fatores serão controlados, como a relação C/N, umidade, aeração e pH, de maneira a tornar o ambiente favorável para as reações bioquímicas, obtendo o composto mais rapidamente e nas condições favoráveis às plantas (KIEHL, 1998).

3.1 Princípios da compostagem

3.1.1 Comunidade microbiana

A transformação da matéria orgânica em material humificado ou estabilizada é realizada por microorganismos, que vão se sucedendo ao longo do processo devido à alteração de outros fatores como substâncias químicas, umidade, disponibilidade de oxigênio, temperatura, relação C/N e pH (KIEHL, 1985).

A princípio, a matéria orgânica sofre a ação de bactérias mesófilas que com o aumento da temperatura e da acidez, vai sendo substituída pelas bactérias e fungos termotolerantes ou termófilos. Caso a temperatura atinja níveis superiores a 70°C prevalece um meio de bactérias formadoras de esporos. Na fase termófila são

consumidos açúcares, proteínas, amido e compostos orgânicos de fácil digestão. Com a diminuição da temperatura volta a ter bactérias mesófilas, esta é a fase mais longa, na qual serão digeridas a celulose e outras substâncias mais complexas. Ao se obter o material estabilizado a temperatura diminui, chegando próxima à temperatura ambiente, chamada fase criófila, com bactérias criófilas. Tendo-se um bom arejamento os microorganismos multiplicam-se espontaneamente por toda a massa (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1996; IPT / CEMPRE, 2000).

3.1.2 Umidade

Sendo a compostagem um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água é imprescindível para as necessidades metabólicas dos microorganismos, que tem sua atividade reduzida em condições de baixa umidade, além de ser importante na manutenção da temperatura e de aeração do composto (FORTES NETO, 1992; KIEHL, 2001).

Dois elementos são fundamentais para a atividade do microorganismo aeróbio, água e oxigênio, porém quando se tem muita água no material a ser compostado, todos os seus poros são preenchidos por água, dificultando a entrada e a circulação do oxigênio, criando um ambiente anaeróbio. A anaerobiose é indesejável, pois o processo demandará maior tempo, haverá a formação de chorume e exalação de gás sulfídrico (H_2S) atraindo moscas. Por outro lado, quando se tem pouca água, os espaços vazios serão tomados por ar e a atividade dos microorganismos irá declinar (KIEHL, 2001; BARREIRA, 2004).

A capacidade de retenção de água está ligada a granulometria das partículas, quanto mais fina a partícula maior será a retenção de água. A turfa é capaz de absorver 90% de água, enquanto o lixo cru, os esterco e restos de cultura retêm de 70 a 80% de água e as palhas e outros materiais fibrosos retêm de 60 a 70% de água. Os materiais com granulometria fina, como o lodo de esgoto, possuem uma umidade acima de 60% e por terem uma consistência pastosa podem sofrer compactação, e para evitar a formação de um ambiente anaerobiotico, pode-se efetuar revolvimentos mais freqüentes para promover a perda de água ou adicionar cavacos de madeira ou outro material palhoso para tornar a massa menos densa (KIEHL, 1985; IPT / CEMPRE, 2000).

Na compostagem aeróbia, a umidade deverá estar entre 40 e 60%, teores abaixo de 40% reduzirão a decomposição, e acima de 75% os poros começam a ser preenchidos por água livre criando um ambiente anaerobiótico, sendo a umidade ótima 55%. À medida que o material vai se humificando vai aumentando a sua capacidade de retenção de água (CRA), indo de 80% de CRA no inicio da humificação para 150%, ou seja, 1,5 vezes de seu peso, no estado de cura total (FORTES NETO, 1992; KIEHL, 2001; IPT / CEMPRE, 2000).

Conforme estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, na Instrução Normativa 25/2009, ao final do processo o composto pronto deverá ter uma umidade igual a 30%.

O excesso de umidade é percebido pela exalação de odor, podendo ser removida por ação do sol, vento (mais eficiente) ou por revolvimento da pilha, que segundo Kiehl, 1985, deve seguir os seguintes índices de umidade.

- umidade 60 e 70%: revolvimento a cada 2 dias por 4 a 5 vezes;

- umidade entre 40 e 60%: revolvimento a cada 3 dias por 3 a 4 vezes;
- umidade abaixo de 40%, precisa de irrigação seguida de revolvimento, a menos que já se esteja na fase final do processo.

3.1.3 Aeração

É desejável que a compostagem seja realizada em um ambiente aeróbio, ou seja, na presença do oxigênio, por inúmeras vantagens como a não geração de chorume, reações mais rápidas, eliminação de organismos patogênicos devido ao aumento de temperatura, não exalação de odores e não proliferação de moscas (KIEHL, 1985; FORTES NETO, 1992; BARREIRA, 2004; TROIS e POLSTER, 2007).

Naturalmente as periferias das leiras são bem aeradas, enquanto que a necessidade de oxigênio é na parte central, requerido pela atividade dos microorganismos. O arejamento é comumente realizado de 3 modos: por revolvimentos mecânicos ou manuais, de maneira que a parte externa ocupe a parte interna e vice-versa, havendo uma homogeneização e é um método econômico e simples, pois não requer nenhuma instalação. Outros dois métodos utilizados é o de aeração forçada, que consiste na insuflação de ar via compressores e o de aeração passiva, que requer a instalação de tubos no interior das leiras, aumentando a circulação das forças de ar, gerado pela diferença de temperatura entre o ar da leira e o ambiente (HAUG, 1993; FERNANDES et al, 1994).

A aeração passiva foi introduzida por MC Garry e Strainforth em 1978 e após alguns experimentos comprovaram que este método em relação à aeração forçada é

mais barato, não gera diminuição excessiva de temperatura da leira e reduz a perda de Nitrogênio (PATNI et al, 2001; TROIS e POLSTER, 2007).

O fluxo de ar na leira se dá à medida que a temperatura se eleva, as forças de convecção aumentam a pressão no centro da pilha, fazendo com que o ar se desloque pela crista da leira e fazendo com que o ar atmosférico rico em oxigênio venha a ocupar o lugar deixado pelo que saiu. Desta forma se a leira for muito grande haverá dificuldade deste fluxo, sendo a altura recomendável entre 1,5 a 1,8 metros com certa quantidade de material grosseiro para proporcionar porosidade, aumentando a velocidade das trocas e diminuindo o tempo de compostagem (KIEHL, 1985; PATNI et al, 2001; TROIS e POLSTER, 2007).

O revolvimento das leiras deverá ser feito com base no teor de oxigênio da leira, porém este dado é difícil de obter. Desta forma esta ação é realizada em função da temperatura (evitar temperaturas acima de 70 °C), da umidade (acima de 55 ou 60%) ou presença de mosca e odores o que significa que se criou um ambiente anaeróbio (KIEHL, 1985; BARREIRA, 2004).

Em função da temperatura, quando diminui o teor de oxigênio, ocorre à redução de atividade de microorganismos, o que estabilizará a curva de temperatura quando esta é ascendente ou declinará a curva de temperatura estável (PARCHEN, 1989 *apud* FORTES NETO, 1992).

3.1.4 pH

O estado natural da matéria orgânica, destinada a compostagem é acida, a compostagem aeróbia causa a elevação do pH. Nos primeiros dias é comum o material

tornar-se mais ácido devido à formação de ácidos minerais que depois desaparecem e dão lugar aos ácidos orgânicos (KIEHL, 1985; TUOMELA *et al*, 2000).

O composto curado deverá apresentar pH igual a 6, de acordo com a Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura. Quando se tem um material ácido é recomendável acrescentar calcário ou cinza vegetal (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 2004; IPT / CEMPRE, 2000).

O pH alcalino associado com elevadas temperaturas durante a compostagem, indica maior disponibilidade de N e maior atividade microbiana, ao passo que pH inferior a 6 resulta em menores temperaturas (TEJADA, 2001).

3.1.5 Temperatura

A decomposição aeróbia é uma reação exotérmica, sendo assim é natural que nos primeiros dias do processo se tenha uma elevação na temperatura. Se as condições forem adequadas alcança-se a temperatura de 40 a 50°C dentro de dois a três dias, podendo atingir 60 a 70°C em 15 dias (KIEHL, 1985; FORTES NETO, 1992). A temperatura é um fator importante, pois está relacionada à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos (Bettioli e Camargo, 2000).

Os fatores que influenciam a temperatura são:

- Relação C/N: materiais com baixa relação C/N, ricos em proteínas, aquecem-se mais rapidamente e atingem maior temperatura que os materiais com elevada relação C/N, como os celulósicos;

- Granulometria: menor granulometria gera menor perda de calor, já as formadas por materiais com grande granulometria proporciona boa aeração, alcançam altas temperaturas, mas estão mais sujeitos à perda de calor.

Dependendo da faixa de temperatura se desenvolverá determinado tipo de organismos, podendo estes ser classificados em criófilos, mesófilos e termófilos. Quanto maior a temperatura, mais rápida se torna a decomposição, sendo assim é desejável o predomínio das faixas termófilas e mesófilas (KIEHL, 1985).

O início do processo é marcado pela ação de organismos mesófilos, que são muito ativos na degradação da matéria orgânica, ocasionando desta forma, o aquecimento da leira. Já na fase termófila a geração de calor pelos microorganismos atinge faixas acima de 70 °C, além de eliminar os microorganismos patogênicos e ervas daninhas, ocorre também redução na diversidade da comunidade microbiana e no teor de umidade da leira de compostagem, com conseqüente redução da atividade de microorganismos (FORTES NETO, 1992; KIEHL, 1998; LOPEZ-REAL,1990 *apud* BARREIRA,2004).

Em uma leira pequena, todo o calor gerado pela atividade microbiana acaba sendo dissipado pela grande área de contato / superfície de exposição que esta possui com o ambiente. No entanto, quando se processa em uma grande leira, com grande quantidade de material, o calor é mantido, se eleva rapidamente e se acumula, alcançando valores acima de 80 °C. As altas temperaturas são desejáveis por destruírem sementes de ervas daninhas e organismos patogênicos, que são pouco resistentes a temperaturas em torno de 50 a 60 °C por determinado tempo(KIEHL, 1985).

O revolvimento feito para o aumento da aeração ocasiona perda de umidade e temperatura, o que muitas vezes não é desejável, pois só ocorrerá o aumento de temperatura em boas condições de umidade. Para baixar a temperatura deve-se irrigar a leira com um chuveiro de crivo fino durante o revolvimento, ou reduzir as dimensões das pilhas aumentando assim a dissipação de calor. Kiehl (1985), afirma que quando o composto estiver em franco processo de decomposição e a temperatura estiver alta, o processo de revolvimento diminuirá a temperatura, porém esta será recuperada no período de 6 a 12 horas, e outro revolvimento não deve ser realizado antes de se recuperar totalmente a temperatura dissipada.

A temperatura não é igual em toda a leira, sendo diferente entre a parte interna e externa, e entre a base e as partes altas, não sendo influenciada pela temperatura ambiente. Para medir a temperatura aconselha-se medir sempre na mesma profundidade, cerca de 40 cm da base e a meia altura da pilha, repetindo a medição em diversos pontos ao longo do comprimento (KIEHL, 1985; FORTES NETO, 1992).

O composto parte de uma temperatura ambiente caminhando da fase mesófila para a termófila onde se estabiliza por um espaço de tempo. Se não faltar oxigênio nem umidade a decomposição prosseguirá, com o declínio da temperatura criando uma estabilidade novamente, porém agora por mais tempo que o anterior. Após esta fase, a temperatura diminuirá chegando próxima ou igualando-se a temperatura ambiente, neste ponto atingiu-se a cura total da matéria orgânica obtendo-se um material humificado (KIEHL, 1998; LOPEZ-REAL, 1990 *apud* BARREIRA, 2004).

Kiehl (1985) afirma que após a fase termófila o composto está semicurado ou bio-estabilizado e após a segunda fase mesófila, quando a temperatura diminuir terá o produto humificado ou curado. Fernandes (2000) explica com maior detalhe a distinção

da fase de bioestabilização e humificação, sendo a primeira caracterizada por intensa atividade microbiológica, rápida transformação da matéria orgânica, alto consumo de oxigênio, elevação de temperatura e mudança visível na massa de resíduo, tornando-se escuro e sem odor agressivo. Na segunda fase a atividade microbiológica é pequena, a necessidade de aeração diminui, a temperatura é ambiente e as transformações dessa fase são as químicas, tendo como produto ao final desta fase um material humificado e pronto para ser aplicado no solo.

3.1.6 Relação C/N

Os microorganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica em um material humificado, necessitam de carbono (C) como fonte de energia que proverá seu crescimento e de nitrogênio (N) para síntese de proteínas (KIEHL, 1985; FORTE NETO, 1992)..

Durante o processo de compostagem há uma queda acentuada no teor de carbono, devido a perda de carbono na forma de CO_2 , enquanto ocorre uma menor diminuição do teor de nitrogênio. Em geral, a relação C/N ideal para o início do processo de compostagem deverá estar entre 30:1 e 35:1, já o composto curado, ou seja, em condições de ser aplicado na agricultura deverá ter uma relação C/N menor ou igual a 20:1 (PRESSINOTTI, 1990; IN 25, 2009).

Sabe-se que durante o processo de compostagem 20 partes de carbono são perdidas ao ambiente na forma de CO_2 , e 10 partes de carbono incorpora-se a 1 parte de nitrogênio. Devido a este motivo alguns autores consideram que a relação C/N igual

a 10:1 é um indicativo de material estabilizado (KIEHL, 1985; FORTES, 1992; PEREIRA NETO, 1996; ZHU,2005).

Quando tiver um resíduo muito rico em nitrogênio (proteína) e conseqüentemente baixa relação C/N, recomenda-se juntar restos vegetais celulósicos para elevar a relação C/N, já que estes são ricos em carbono. Já se a matéria orgânica apresentar alta relação C/N, deve-se acrescentar material rico em nitrogênio como esterco, restos de matadouro e lodo de esgoto.

Quando a relação C/N for superior a ideal haverá um retardamento no crescimento dos microorganismos, esgota-se o nitrogênio do sistema e alguns microorganismos morrem e o nitrogênio presente em sua estrutura é imobilizado, porém esta imobilização gera o retardamento do processo de decomposição. No caso oposto, quando tiver muita oferta de nitrogênio, baixa relação C/N, o excesso de nitrogênio é perdido na forma amoniacal para a atmosfera reduzindo o teor deste elemento no composto (KIEHL, 1985; FORTES NETO, 1992). Resumidamente, quando se tem uma baixa relação C/N há uma perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia, em contra partida, quando a relação C/N é alta, ocorre mínima perda de nitrogênio, pois os microorganismos reciclam o nitrogênio para baixar a relação C/N.

O lodo é um resíduo rico em nitrogênio, com relação C/N entre 5/1 e 11/1, sendo necessário complementar com um material rico em carbono, elevando esta relação em torno de 20/1 ou 30/1 (FERNANDES, 2000).

Quando um composto com alta relação C/N, ou seja, grande quantidade de carbono é aplicada ao solo os microorganismos irão reciclar o nitrogênio, inclusive do solo até haver a redução do teor de carbono, e quando o excesso de carbono for eliminado o nitrogênio orgânico será disponível as plantas na forma de nitrogênio

mineral solúvel, podendo ser assimilado pelas raízes. A adição de resíduos com alta relação C/N no solo, que não sofreram o processo de estabilização, pode gerar um aumento de temperatura do solo queimando as plantações e concorrerá com as plantas na utilização de micro e macronutrientes, problema conhecido por clorose (PRESSINOTTI, 1990).

3.2 Qualidade do composto

A procedência da matéria prima é de grande importância para a obtenção de um composto de qualidade, ou seja, a característica do composto está diretamente ligado as características dos resíduos-base. O lodo de esgoto, resíduos de indústria alimentícia, de papel e agroindústria são excelentes fonte de matéria prima, porém há uma preocupação com relação à contaminação que pode ter sofrido ao longo do processo industrial, gerando ressalva no seu uso para fins agrícolas. Os resíduos urbanos quando misturados com inertes podem ser altamente contaminado, porém o proveniente de coleta seletiva pode ter considerável qualidade no que tange o assunto contaminação. A segurança do uso de um resíduo orgânico depende da sua completa estabilização, ausência de componentes fitotóxicos, contaminantes e patógenos(KIEHL,1998; BRITO JR, 2003).

Kiehl (1998) afirma que a qualidade do composto pode ser analisada por três pontos de vista, a qualidade exigida pelo consumidor, à exigida pela legislação e a do produtor.

As exigências de qualidade se interceptam no que diz respeito à:

- Umidade: o composto deve ter umidade inferior a 40%;
- Concentração NPK e matéria orgânica: valor de grande importância, pois está diretamente relacionada com a qualidade e seu valor no mercado;
- Características físicas: A coloração preta, ausência de odor, granulometria fina;
- Ausência de inertes: elementos que não se decompõe e são visualmente indetectáveis (metal, plástico, papel, vidro);
- Metais pesados e elementos tóxicos: que podem entrar no ciclo alimentar e contaminar homem e animais;
- Matéria orgânica: alto conteúdo de nutrientes;
- Patógenos: ausência de microorganismos ou elementos que causem problemas à saúde pública.

Segundo Barreira (2004), com relação os compostos produzidos no Brasil há uma deficiência de controle de qualidade pela falta de legislação. A primeira regulamentação para fertilizantes e corretivos agrícolas, quanto à sua produção, comércio e fiscalização foi o decreto nº86955/82 que regulamentou a lei 6894 de 1980, muito tempo depois que a prática de utilização dos resíduos já serem utilizados como fertilizantes.

Atualmente existem 3 legislações que são utilizadas como diretrizes para compostos orgânicos:

- CONAMA 375/2006: é utilizado para garantir a segurança sanitária do lodo de esgoto aplicado na agricultura.
- Instrução Normativa 27/2006 do Ministério da Agricultura e Pecuária: determina as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem,

animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

- Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura e Pecuária: refere-se a Tolerâncias, Registro, Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes destinados à Agricultura.

O grau de qualidade do composto indicará seu uso apropriado, pois, por menor qualidade que tenha o produto, não produzirá gases nem chorume e proporcionará crescimento de vegetais em solos estéreis (PEREIRA NETO E LELIS, 1999).

3.2.1 Microorganismos patogênicos

Dependendo da origem da matéria prima, esta pode levar consigo certa quantidade de microorganismos patogênicos, sendo os esterco animais e lodo de esgoto os mais relevantes neste aspecto. No processo de compostagem com o aumento de temperatura, estes microorganismos são eliminados, não gerando risco a saúde humana (PRESSINOTTI, 1990; TROIS e POLSTER, 2007).

A contaminação microbiológica do lodo está ligada ao material fecal presente nas águas residuárias, e suas características variam de acordo com as características epidemiológicas da população local, sendo encontrado vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos). Ao serem lançados no esgoto, por não estarem em seu meio natural e ideal para o seu desenvolvimento, há um certo decaimento, além de grande parte ser eliminada ao longo do tratamento, gerando diminuição na

concentração de patógenos da fase líquida para a fase sólida (lodo) (FERNANDES, 2000).

Os resíduos provenientes de fazendas devem ser tratados com muita cautela, pois podem conter bactérias e viroses zoonóticas, que são transmissíveis entre homens e animais. Resíduos de fermentação e indústrias de processamento de alimentos, ou resíduos orgânicos naturais como cascas de árvores e materiais florestais são geralmente uma excelente matéria prima, uma vez que são geralmente livre de patógenos (BARREIRA, 2004). No caso de utilização de lodo de esgoto ou dejetos animais na preparação de composto a eliminação de microorganismos deve ser um fator de primordial importância, pois no lodo de esgoto pode conter microorganismos potencialmente patogênicos como *Salmonella*, *Listeria* (bactérias), *Hepatitis* (vírus), *Ascaris* e *Protozoa* (parasitas) (LOPEZ-REAL, 1990 *apud* BARREIRA, 2004).

Para a eliminação de patógenos, podem-se trabalhar três fatores: competição entre espécies, extinção de substrato e nutrientes, e manutenção de temperatura termófila. Destes elementos o último é o mais fácil de ser manipulado (PEREIRA NETO, 2001).

Na Alemanha é especificado que a temperatura das leiras deve ser superior a 55°C por duas semanas ou mais de 65°C por uma semana (BARREIRA, 2004), na Áustria, a temperatura deve atingir no mínimo 60°C por seis dias ou mais de 65°C por duas semanas, e na Dinamarca por duas semanas o composto deve ser submetido a mais de 55°C (BRINTON,2001 *apud* BARREIRA,2004). Na tabela 3 é apresentada a temperatura e o tempo de exposição necessários para a destruição de patógenos e parasitas mais comuns, podendo ser observado que a maioria são eliminados a

temperaturas de 55°C, porém Pereira Neto (2001) afirma que uma total eliminação de patógenos só é obtida com temperaturas de 60°C por 20 dias.

Tabela 3 - Temperatura e tempo de exposição tolerado por patógenos

Organismo	Tempo de sobrevivência
<i>Salmonella typhosa</i>	Não se desenvolve acima de 46 °C; morre dentro de 30 min entre 50 ° e 60°C
<i>Salmonella sp</i>	Morre dentro de 1h a 55°C, morre dentro de 15 a 29 min a 60°C
<i>Shigella sp</i>	Morre dentro de 1h a 55°C.
<i>Estcherichia coli</i>	A maior parte morre dentro de 1h a 55°C ou dentro de 15 a 20 min a 60°C
<i>Entamoeba histolytica (cisto)</i>	São destruídos a 68°C
<i>Taenia saginata</i>	Morre dentro de 5 min a 71 °C
<i>Trichinella spiralis (larvas)</i>	A infestação é reduzida em 1h de exposição a 50 °C, morrendo a 62-72 °C
<i>Necator americanus</i>	Morre dentro de 50 min a 45°C
<i>Brucella abortus ou B. Sitis</i>	Morre dentro de 50 min a 45°C
<i>Micrococcus pyogenes var. Auereus</i>	Morre dentro de 10 min a 50°C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morre dentro de 10 min a 54°C
<i>Micobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Morre dentro de 15 a 20 min a 66 °C ou momentaneamente a 67 °C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Morre dentro de 45 min a 55°C
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Morre em menos de 1 h a temperatura superior a 50°C

Fonte: Pressinotti,1990

Segundo Art. 3° e 4° da resolução CONAMA 375 de 2006, o lodo para ser utilizado na agricultura deverá passar por processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, vetando a utilização de lodos de efluentes hospitalares, de portos e aeroportos, de tratamento individual coletado por veículos e lodos classificados como perigosos de acordo com normas brasileiras vigentes.

O Anexo I da mesma resolução baseado, na norma americana USEPA, 40 CFR Part. 503 – Appendix B, Federal Register de 19 de fevereiro de 2003, indica o processo de compostagem para :

- Redução significativa de patógenos: qualquer processo que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40 °C ao longo de cinco dias, atingindo um pico de 55 °C ao longo de 4 horas sucessivas durante este período;

- Redução adicional de patógenos: compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55 °C) ou com revolvimento de leiras (15 dias a 55 °C com revolvimento mecânico de pelo menos 5 dias).

3.2.2 Acumulação de metais pesados

Uma das principais preocupações quando falamos de composto é a presença de metais pesados, que são herdados quando a matéria prima de origem industrial ou urbana misturada com papeis coloridos, tecidos, borrachas, pilhas, baterias, lâmpadas entre outros. Um programa de coleta seletiva, no qual são separados os resíduos orgânicos e inorgânicos pode proporcionar resultados muito relevantes para este problema. Já a contaminação de metais pesados dos lodos de esgoto, este pode se dar pelo efluente industrial.

Segundo Kiehl (1998), alguns elementos essenciais quando em altas concentrações, podem ser prejudiciais às plantas e ao homem, porém os elementos de maior preocupação são zinco (Zn), magnésio (Mg), cádmio (Cd), níquel (Ni), mercúrio (Hg), cobre (Cu) e chumbo (Pb).

A preocupação com esses elementos está na aplicação na agricultura, pois as plantas assimilam estes elementos juntamente com os que são essenciais a sua nutrição, ficando acumulados em seu organismo e sendo transferidos ao homem e animais através de sua alimentação (BARREIRA, 2004). Quando contido na planta em

pequenas quantidades, os metais pesados tornam-se traços de grande importância para seu desenvolvimento e só se tornarão tóxicas quando em grandes concentrações (KAPETANIOS, 1996 *apud* BARREIRA,2004).

A Resolução CONAMA 375(2006) estabelece os limites máximos de metais pesados presentes no lodo de esgoto destinado a fins agrícolas, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 – Limites variáveis Químicas

Variáveis Químicas (mg/kg)	Limites (mg/kg)	
	CONAMA	IN 27:2006
Arsênio (mg/kg)	41	20
Bário	1300	
Cádmio	39	6
Chumbo	300	
Cobre	1500	150
Cromo	1000	
Mercúrio	17	200
Molibdênio	50	
Níquel	420	70
Selênio	100	80
Zinco	2800	

Fonte: CONAMA 375(2006); Instrução Normativa 27:2006 do Ministério da Agricultura

4 MATERIAL E MÉTODO

O projeto foi desenvolvido em uma área localizada dentro do aterro de resíduos industriais de uma indústria de Celulose e Papel do Estado de São Paulo.

O processo de compostagem desenvolveu-se em um período de alto índice pluviométrico na região (setembro a janeiro) e teve duração de 120 dias, quando obteve-se um material estabilizado.

As análises biológicas, químicas e físicas foram determinadas nos laboratórios da BIOAGRI, em Piracicaba – SP, e Análises de Solos no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté – SP.

4.1 Caracterização dos Resíduos

Os resíduos utilizados para o processo de compostagem eram provenientes da indústria de celulose e papel: lodo primário, lodo biológico, rejeito de depuração, biomassa, conza, dregs e gritz.

Antes de efetuar a mistura dos materiais para a compostagem, foram coletadas amostras de cada resíduo e enviado para laboratório para serem determinadas as características Químicas e biológicas.

A tabela 5 observa-se a caracterização Química e Biológica de cada resíduo antes de serem submetidos ao processo de compostagem.

Tabela 5 - Caracterização Química e Biológica dos resíduos da indústria de celulose e papel

Variáveis	Lodo Biológico	Cinza	Dregs /Grits	Lodo Primário	Rejeito da Depuração	Biomassa
pH	13	10,1	10,7	8,6	10,2	6,1
Carbono Orgânico (%)	5,6	15	2,5	18	32	4,1
Sólidos voláteis (%)	10	38	4,47	33,2	56,9	75,6
Nitrogênio Total (mg/kg)	6.526	1.492	1.534	7.843	1.747	2.553
Cálcio (mg/kg)	12.023	51.824	213.684	14.641	471	1.122
Sódio (mg/kg)	11.080	3.104	37.465	3.957	11.473	343
Magnésio	1.799	6.547	15.163	385	47	175
Nitrogênio amoniacal (mg/kg)	163	33	127	380	259	228
Nitrito + Nitrato (mg/kg)	<90	8,3	<0,2	<1,2	4,7	1,3
Potássio (mg/kg)	3.203	14.193	3.425	334	790	942
Arsênio (mg/kg)	<0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4
Bário (mg/kg)	196	169	387	52	14	4,9
Cádmio (mg/kg)	<0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4
Chumbo (mg/kg)	11	21	6,7	2,7	0,8	0,5
Cobre (mg/kg)	13	26	49	1,6	<0,5	0,7
Cromo (mg/kg)	51	108	204	12	15	1,2
Mercúrio (mg/kg)	<0,17	<0,03	<0,035	<0,054	<0,021	<0,025
Molibdênio (mg/kg)	2,8	1	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4
Níquel (mg/kg)	20	17	95	2,3	<0,5	<0,4
Selênio (mg/kg)	0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4
Zinco (mg/kg)	87	111	132	23	9,5	9,7
Coliformes termotolerantes (NMP/g de ST)	17.285	<1	<1	<1	<1	526
Ovos viáveis de Helmintos (ovo/g de ST)	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonellas</i> (P/A) em 10 g de ST	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Presente

Fonte: Autor, 2010

O lodo biológico é proveniente do sistema secundário de tratamento de esgoto e é um material rico em Nitrogênio.

A cinza gerada a partir da combustão de cavacos e de cascas de eucalipto, é fonte de Potássio e Cálcio.

Os Dregs e Grits são resíduos alcalinos, ricos em Cálcio e Magnésio gerados no processo de recuperação química do licor negro, que é um material aplicado no processo de deslignização da madeira.

Lodo primário é o material palhoso e rico em Carbono e Nitrogênio, proveniente do sistema primário do tratamento de esgoto.

Rejeito de depuração é fonte de Carbono.

Ao se utilizar resíduos de origem industrial uma das preocupações é a presença de metais pesados, pois quando aplicados na agricultura estes elementos são assimilados pelas plantas e são transmitidos aos homens e animais através de sua alimentação (BARREIRA, 2004). O lodo biológico, dregs/grits, lodo primário, rejeito de depuração e biomassa apresenta baixos valores de metais pesados.

Os coliformes termotolerantes estavam presentes apenas no lodo biológico e na biomassa.

Havia presença de Salmonelas nos Dregs/Grits, lodo primário e na biomassa.

É importante ressaltar que a compostagem é um processo exotérmico, sendo natural nos primeiros dias do processo a elevação da temperatura de 40 a 50°C, podendo atingir 70°C nos primeiros 15 dias, fator importante na eliminação de microorganismos patogênicos, garantindo desta forma a segurança sanitária do composto (FORTES NETO, 1992; KIEHL, 1998; LOPEZ REAL, 1990 apud BARREIRA,2004).

4.2 Tratamento e método de compostagem

Foram instalados 9 pilhas de composto, visando analisar diferentes misturas dos resíduos e a relação destas misturas com os diferentes métodos utilizados.

Foram utilizados as seguintes composições:

Leira 1- Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 2- Lodo biológico + lodo primário + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 3- Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 4- Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 5- Lodo biológico + lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 6- Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa.

Leira 7- Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa + tecnologia de aeração por tubos.

Leira 8- Lodo biológico + lodo primário + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa + tecnologia de aeração por tubos.

Leira 9- Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + dregs + gritz + resíduo da depuração + cinza + biomassa + tecnologia de aeração por tubos.

Na figura 1 é apresentado um esquema da composição dos resíduos de cada leira e do método de aeração aplicado.

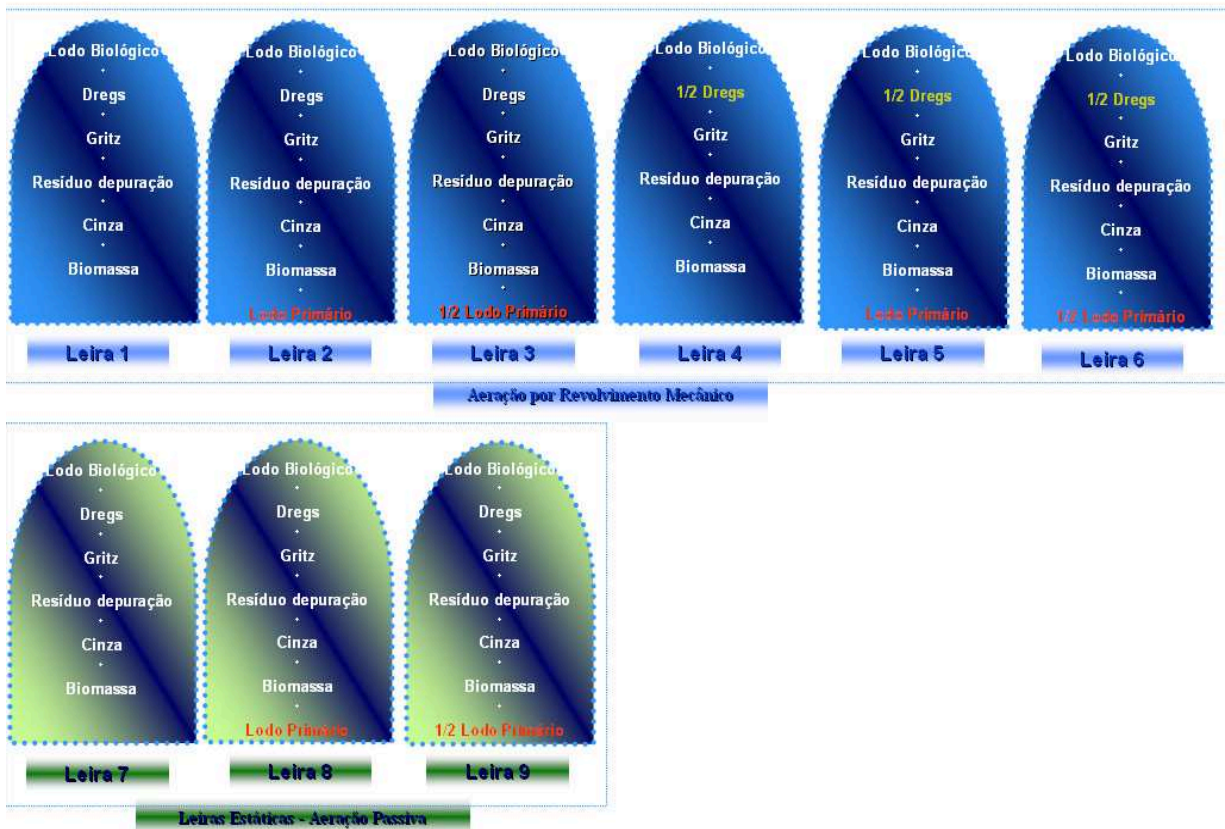


Figura 1 – Composição de resíduos das leiras e método de aeração aplicado

O método de compostagem empregado foi o de leiras, com dois tipos de aeração:

- Sistema de leiras revolvidas (windrow): Sistema de leiras, cuja aeração é obtida por revolvimento mecânico, onde o material externo migra para o interior e a massa do interior é exposta na camada externa. O revolvimento mecânico foi realizado com o auxílio de uma pá carregadeira (FERNANDES, 2000).
- Aeração passiva: Neste sistema as leiras eram estáticas (static pile), e a montagem foi feita com tubulações perfuradas em seu interior, através destas tubulações ocorriam as trocas gasosas decorrentes do movimento de ar causado

pela diferença de temperatura do interior e do exterior da massa (PATNI et al, 2001; TROIS e POLSTER, 2007).

As leiras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram revolvidas semanalmente e as leiras 7, 8 e 9 foram submetidas a metodologia de aeração passiva, não sendo necessário revolvimento.

4.3 Preparo da mistura

Foram transportados por caminhão, até a área destinada para compostagem, cerca de 260 toneladas (base úmida) de resíduos. A área estava localizada em um terreno plano, devidamente compactado.

A operação de mistura e homogeneização dos resíduos seguiu a metodologia abaixo descrita:

Primeiramente com as cascas de eucalipto foi feito uma base como uma bacia e no centro foram colocados os demais resíduos sem misturar. Após sete dias efetuou-se a mistura dos resíduos. Esse procedimento é importante para evitar o escorrimento de líquidos e também homogeneizar a umidade do material a ser compostado.

Cada bacia com os resíduos em seu interior apresentou em média 9m de diâmetro, 0,6m de altura e um peso de 28,4 toneladas.

Na figura 2 são apresentadas as bases compostas de casca de eucalipto no formato de uma bacia e em seu interior os demais resíduos.



Figura 2 - Bacias formada com cascas de eucalipto para receber os demais resíduos

4.4 Montagem das leiras

As leiras de compostagem foram montadas nas dimensões aproximadas de 1,8m de altura, 3,5m de largura e 8,5m de comprimento e no formato retangular, que após o primeiro revolvimento, ficou no formato triangular, para facilitar o escoamento do excesso das águas das chuvas impedindo a infiltração e geração de um ambiente anaerobiótico, visto que o projeto foi realizado à céu aberto e no período de altas precipitações pluviométricas (KIEHL,1985; SECTAM,2000). Na figura 3 é apresentada a montagem das leiras.



Figura 3 - Montagem das leiras de compostagem

As leiras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 que são aeradas por revolvimento mecânico, foram montadas diretamente sob o solo e as leiras 7, 8 e 9 foram construídas sobre uma camada de estrado de madeira colocada sobre a superfície do solo e, durante a montagem das leiras, a cada 2m ao longo do comprimento, foram instalados no sentido da base para o topo das leiras, tubos plásticos perfurados para facilitar a entrada de oxigênio e a saída de gás carbônico. Na figura 4 é apresentada a montagem das leiras com os tubos flexíveis.

Os tubos utilizados eram, tubos flexíveis de Polietileno de Alta Densidade – PEAD, de 2,5” de diâmetro, da marca Henkel.



Figura 4 - Montagem das leiras de compostagem com os tubos flexíveis para facilitar a aeração do material

4.5 Operacionalização da compostagem

4.5.1 Revolvimento das leiras

O revolvimento das leiras de compostagem foi realizado por pá-carregadeira, conforme apresentado na figura 5.



Figura 5 - Operação de revolvimento das leiras com a pá escavadeira

O revolvimento que era realizado semanalmente, consistia em introduzir a pá-carregadeira a uma altura de 10cm da superfície do solo e erguer o material a uma altura superior a da leira, descarregando este material e repetindo novamente a operação. Desta maneira o material antes contido no interior da leira passava para a parte externa e os materiais da parte externa iam para o centro sofrer ação dos microorganismos ali presentes, além de introduzir ar novo, rico em oxigênio e liberando o ar contido na leira, saturado de gás carbônico (KIEHL, 1998).

4.5.2 Monitoramento do processo

O monitoramento da compostagem foi realizado tendo como base o acompanhamento da temperatura e a caracterização química, física e biológica do material em processo de compostagem.

A temperatura foi determinada com um termômetro Marca GULTERM, modelo 200, Tipo PT100, digital, com haste metálica de 100 x 3 mm, faixa de variação -199 a +199°C. As medições foram realizadas diariamente em três pontos aleatórios ao longo da linha de altura média da leira. O termômetro era introduzido a 50cm de profundidade, onde ocorre a estabilização da temperatura, no interior da leira, ficando por cerca de um minuto de repouso, quando então se fazia a leitura (KIEHL,1985; FORTES NETO, 1992).

Na tabela 6 são apresentados os períodos de coleta das amostras para o monitoramento e as análises realizadas, conforme a Resolução CONAMA 375(2006).

As amostras foram coletadas com o auxílio de um trado introduzido a 50cm de profundidade, em quatro pontos aleatórios na altura da linha média das leiras.

Tabela 6 - Análises químicas, físicas e biológicas realizadas durante o processo

Variáveis químicas, físicas e biológicas do composto	Período de coleta (dias)				
	0	30	60	90	120
pH(1:10), Carbono orgânico, Nitrogênio total, Cálcio total, Sódio total, Magnésio total, Condutividade elétrica, Umidade, Temperatura e Relação C/N	X	X	X	X	X
Nitrogênio Kjeldahl, N amoniacal, N nitrato / nitrito, Fósforo total, Potássio total, Enxofre total, Sólidos voláteis e totais	X				X
Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio e Zinco	X				X
Coliformes termotolerantes, Ovos viáveis de helmintos, <i>Salmonella</i> e Vírus entéricos	X				X
Benzenos clorados: 1,2-Diclorobenzeno, 1,3-Diclorobenzeno, 1,4-Diclorobenzeno, 1,2,3-Triclorobenzeno, 1,2,4-Triclorobenzeno, 1,3,5-Triclorobenzeno, 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno e 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	X				X
Ésteres de ftalatos: Di-n-butil ftalato, Di(2-etilhexil)ftalato(DEHP) e Dimetil ftalato	X				X
Fenóis não clorados: Cresóis	X				X
Fenóis clorados: 2,4-Diclorofenol e 2,4,6-Triclorofenol	X				X
Pentaclorofenol	X				X
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(k)fluoranteno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno, Fenantreno e Lindano	X				X
Poluentes Orgânicos persistentes: Aldrin, Dieldrin, Endrin, Clordano, Heptacloro, DDT, Toxafeno, Mirex, Hexaclorobenzeno e PCBs.	X				X

Fonte: Autor, 2010

4.6 Finalização do processo de compostagem

Aos 120 dias, foi encerrada a compostagem. Coletaram-se amostras para avaliar a qualidade agronômica do composto, com base na determinação dos teores N, P, K, Ca, Mg, Na, pH, metais pesados, poluentes orgânicos e a presença de organismos patogênicos.

4.7 Teste de maturação do composto

No teste de maturação, amostras de composto foram misturadas com areia lavada, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100%. Depois a mistura foi colocada em um recipiente plástico de 200ml, e em seguida foram semeadas sementes de tomate. Após 15 dias, efetuou-se o desbaste deixando-se cerca de 3 mudas por vaso. Depois de 40 dias, as mudas foram coletadas para a determinação da matéria seca da parte aérea (KIEHL, 1985).

O teste de maturação será realizado apenas no composto que apresentou melhores resultados ao longo do processo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do lodo utilizado para compostagem

Na Tabela 7 observam-se os resultados das variáveis inorgânicas e biológicas do lodo de esgoto referenciado pela Resolução CONAMA 375/2006, que estabelece os critérios para uso agrícola deste material.

O material apresentado na tabela foi coletado antes de iniciar o processo de compostagem.

O lodo biológico, proveniente do tratamento secundário das águas servidas da indústria de celulose e papel, apresentou valores de metais pesado dentro dos limites determinados na resolução.

O lodo primário, também apresentou valores de metais pesados dentro dos limites estabelecidos.

No que se refere aos coliformes termotolerantes, apenas o lodo biológico apresentou um valor acima do limite estipulado pela Resolução CONAMA 375(2006).

No Lodo primário é encontrado *Salmonellas*.

Tabela 7 - Caracterização do lodo de esgoto e os limites estipulados pela Resolução CONAMA375:2006

Variáveis	Limites	Lodo Biológico	Lodo Primário	Atendimento
	CONAMA			CONAMA
pH	-	13	8,6	-
Carbono Orgânico (%)	-	5,6	18	-
Sólidos voláteis (%)	-	10	33,2	-
Nitrogênio Total (mg/kg)	-	6.526	7.843	-
Cálcio (mg/kg)	-	12.023	14.641	-
Sódio (mg/kg)	-	11.080	3.957	-
Magnésio	-	1.799	385	-
Nitrogênio amoniacal (mg/kg)	-	163	380	-
Nitrito + Nitrato (mg/kg)	-	<90	<1,2	-
Potássio (mg/kg)	-	3.203	334	-
Arsênio (mg/kg)	41	<0,4	<0,5	S
Bário (mg/kg)	1.300	196	52	S
Cádmio (mg/kg)	39	<0,4	<0,5	S
Chumbo (mg/kg)	300	11	2,7	S
Cobre (mg/kg)	1.500	13	1,6	S
Cromo (mg/kg)	1.000	51	12	S
Mercúrio (mg/kg)	17	<0,17	<0,054	S
Molibdênio (mg/kg)	50	2,8	<0,5	S
Níquel (mg/kg)	420	20	2,3	S
Selênio (mg/kg)	100	0,4	<0,5	S
Zinco (mg/kg)	2.800	87	23	S
Coliformes termotolerantes (NMP/g de ST)	1.000	17.285	<1	N
Ovos viáveis de Helminthos (ovo/g de ST)	0,25	0	0	S
<i>Salmonellas</i> (P/A) em 10 g de ST	Ausente	Ausente	Presente	N

Legenda**N** Não Atende**S** Atende**Fonte:** CONAMA 375:2006

5.2 Temperatura

A análise das figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 de maneira geral, a evolução da temperatura no interior das leiras, no período de 1 a 120 dias de compostagem, observa-se que todas as leiras apresentam um comportamento típico na variação da temperatura, com a ocorrência de uma fase termófila com a temperatura variando entre 40 e 85°C, e outra mesófila, apresentando temperatura entre 20 e 40°C (D'ALMEIDA E VILHENA, 2000.). Nota-se também que a temperatura das leiras passa a entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente, a partir dos 100 dias de compostagem. Observa-se, ainda, que o tempo de permanência das leiras nessas fases apresentou variação em função da composição da mistura e do manejo realizado nas leiras durante a compostagem. Deve-se ressaltar que a ocorrência e a permanência destas fases durante a compostagem irão indicar a eficiência do processo quanto à higienização e à decomposição da carga orgânica durante a compostagem (KIEHL, 1998).

A Resolução CONAMA 375 (2006) no Anexo I, item 1-D recomenda que no processo de compostagem, para a redução significativa de patógenos, a biomassa deve atingir a temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de 4 horas sucessivas durante este período. Para uma redução adicional de patógenos o item 2-A recomenda que as leiras com revolvimento mecânico permaneçam 15 dias a 55°C no mínimo.

A Norma Técnica da CETESB P 4.230/99 em seu Anexo B e item B1 recomenda que, quando a compostagem é realizada com lodo de esgoto, a leira deve ficar, durante 15 dias do processo, com temperatura acima de 55°C. Sendo assim, analisando as

Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 , observa-se que apenas os tratamentos 2 e 3 não atendem a esta especificação, as demais leiras se enquadram dentro deste limite para a higienização do processo.

Em relação à maximização da taxa de biodegradação, Kiehl (1985) e Hassen, *et al.* (2001) recomendam que a temperatura das leiras deverá ficar acima de 55°C durante os 30 primeiros dias de compostagem. Neste caso verifica-se, nas Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 que apenas as misturas 1, 2, 3, 4 e 9 apresentaram neste período temperatura abaixo de 55°C. Dessa forma, com base nas premissas citadas anteriormente para a variável temperatura, podemos inferir que as misturas 5, 6, 7 e 8 estão dentro dos padrões técnicos estipulados para o processo de compostagem.

As temperaturas iniciaram-se altas, pois os resíduos foram deixados em repouso por uma semana antes de fazer a mistura a formar as leiras. É possível observar também uma queda brusca de temperatura no 97º dia em todas as leiras, isso ocorreu devido um erro pontual de leitura por parte do operador.

Levando em consideração a adição de lodo primário na mistura, Figura 6, percebe-se, que a temperatura permanece mais elevada no tratamento 1, no qual não foi adicionado lodo primário, e as menores temperaturas foram verificadas no tratamento 2 com uma dose de lodo primário. O tratamento 3, com a metade da dose de lodo primário, apresenta valores de temperatura abaixo do tratamento 1 e abaixo do tratamento 2. Estes resultados sugerem que a adição de lodo primário na mistura ocasionou um retardamento no processo de biodegradação, possivelmente isto foi provocado pela imobilização do nitrogênio, tendo em vista que o lodo primário é rico em fibras (carbono).

Os dados das temperaturas dos tratamentos 1, 2 e 3, apresentados na Figura 6, sugerem que na composição da leira não haverá a necessidade de incorporar o lodo primário, pois os *dregs/gritz*, o resíduo da depuração, a cinza e a casca foram suficientes para neutralizar o nitrogênio presente no lodo biológico. Deve-se ressaltar que as leiras 1, 2 e 3 foram revolvidas semanalmente e a única variação que existe entre os tratamentos está na composição da mistura que compõem as leiras.

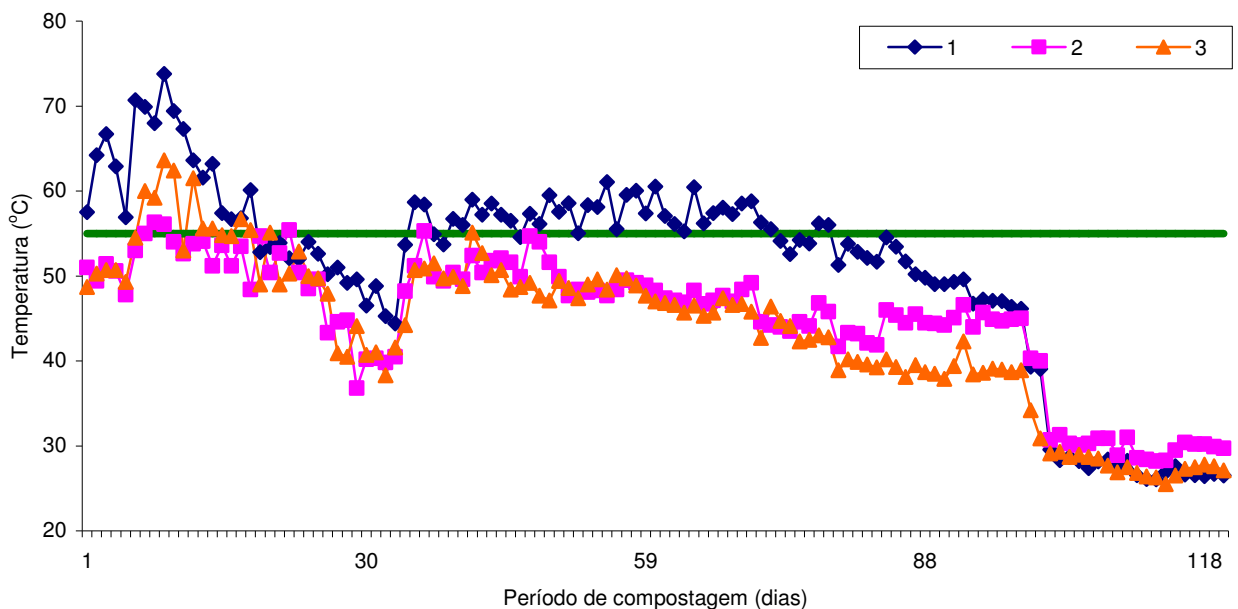


Figura 6 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (1) Lodo biológico + *dregs* + *gritz* + resíduo depuração + cinza + casca; (2) Lodo biológico + lodo primário + *dregs* + *gritz* + resíduo depuração + cinza + casca e (3) Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ geração lodo primário + *dregs* + *gritz* + resíduo depuração + cinza + casca

Quanto à mistura de *dregs/grits* na formação das leiras, verifica-se, na Figura 7, que, até o sétimo dia, a temperatura das leiras dos tratamentos 4 e 6 são superiores ao da leira do tratamento 5, que tem uma dose de lodo primário em sua composição. Possivelmente, a demora na elevação da temperatura da leira 5 foi devida ao processo de imobilização do nitrogênio. Outro comportamento da temperatura da leira 5 que

poderá estar associado à reação de imobilização do nitrogênio é a queda da temperatura verificada após o 10º dia e sua subida após o 19º dia; este comportamento se repete novamente entre o 23º e 27º dia. Esta variação na curva da temperatura da leira 5 apresentando ascensão e queda poderá estar associada a momentos de liberação e imobilização do nitrogênio.

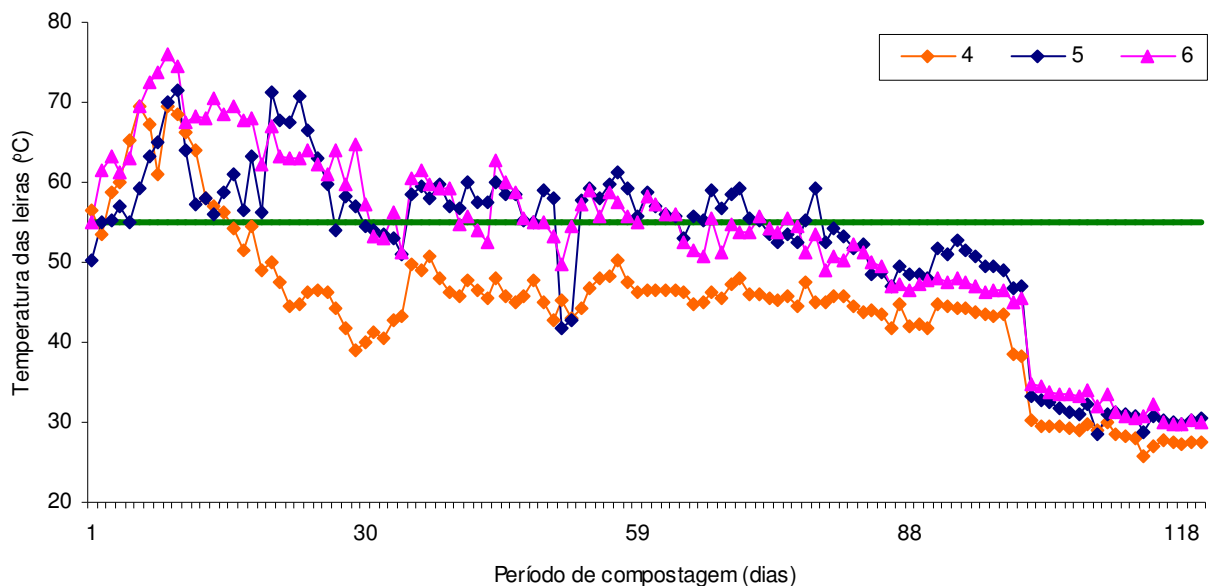


Figura 7 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (4) Lodo biológico + ½ dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca; (5) Lodo biológico + lodo primário + ½ dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca e (6) Lodo biológico + ½ geração lodo primário + ½ dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca

Na leira 4, sem lodo primário e com a metade da dose de *dregs/grits*, verifica-se, na Figura 7, que a temperatura a partir do 12º dia tende a apresentar um declínio contínuo até o 31º dia. Durante este período de 20 dias, a temperatura declinou de 64°C para 41,3°C e se mantém com a temperatura mais baixa do que os tratamentos 5 e 6 até o 120º dia. Esse declínio acentuado na temperatura pode estar associado à falta de carbono disponível para a decomposição, pois neste tratamento os *dregs/grits* foram reduzidos pela metade e o lodo primário não foi incorporado à mistura.

As leiras 4, 5 e 6 foram revolvidas semanalmente, e a diferença entre os tratamentos está na adição ou não de lodo primário.

Em relação ao manejo (revolvimento e estático), observa-se na Figura 8 a curva da temperatura verificada nas leiras dos tratamentos 1 e 7 que têm na mistura a mesma composição dos resíduos sendo a única diferença o manejo dado às leiras. Nota-se que o manejo aplicado às leiras interfere no comportamento da curva de temperatura. A leira 1, durante os 30 primeiros dias, denominada de fase ativa, apresentou os menores valores de temperatura; isto ocorreu devido ao revolvimento semanal da leira. Esta redução na temperatura da leira 1 ocorreu por dois motivos:

a) o calor aprisionado no interior da leira foi sendo liberado para o ambiente e, como consequência, a leira foi esfriando com o passar do tempo.

b) o revolvimento semanal reduziu a temperatura da leira e dificultou a multiplicação e o crescimento dos microrganismos e, por isso, a decomposição foi mais lenta com pouco calor sendo liberado na leira.

Os maiores valores na temperatura durante os 30 dias foram observados na leira 7. Estes resultados reforçam a hipótese de que o oxigênio necessário para a decomposição foi fornecido pelos tubos perfurados colocados no interior da leira. O fluxo no sentido da base para o ápice da leira é ocasionado pela ascensão do ar quente que sai para fora da leira e, como consequência, o ar frio externo penetra na leira e passa a ocupar o lugar deixado pelo ar quente. Nesse fluxo, o oxigênio é fornecido para os microrganismos que estão localizados no centro da leira. O encaminhamento do ar foi estabelecido apenas pelos tubos perfurados, pois os espaços dos paletes foram obstruídos pelo material utilizado como mistura. Sendo assim, este efeito da aeração passiva foi sendo realizado apenas pelos tubos

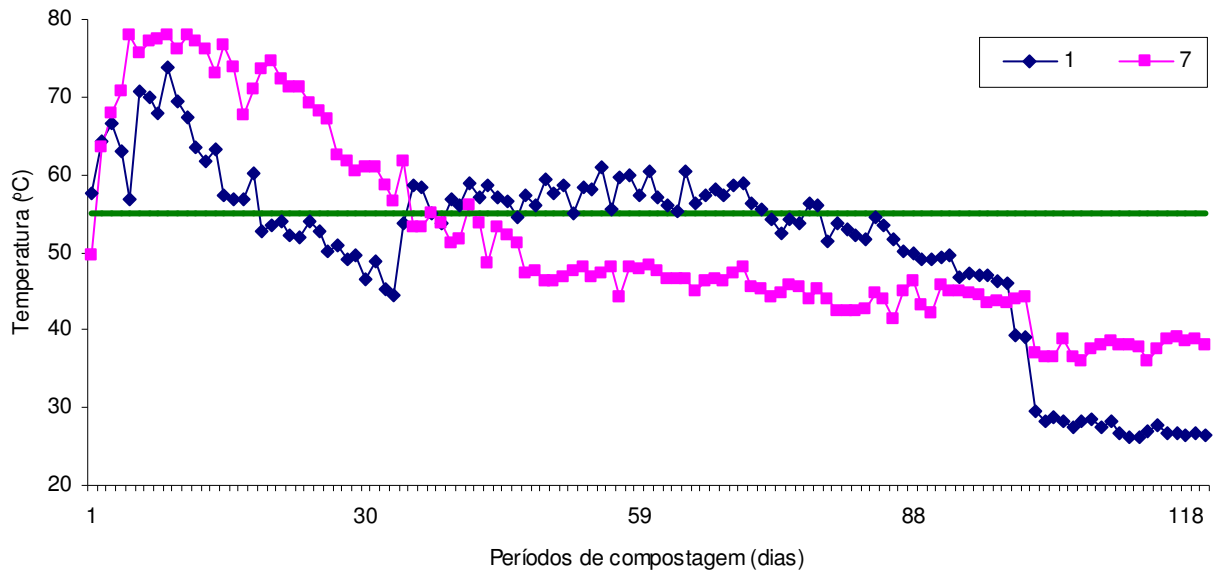


Figura 8 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (1) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (7) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos)

Na Figura 9 observa-se a variação da temperatura dos tratamentos 2 e 8. Praticamente verifica-se, durante os primeiros 30 dias, a mesma tendência observada na Figura 8, com as temperaturas mais elevadas sendo observadas na leira 8, estática.

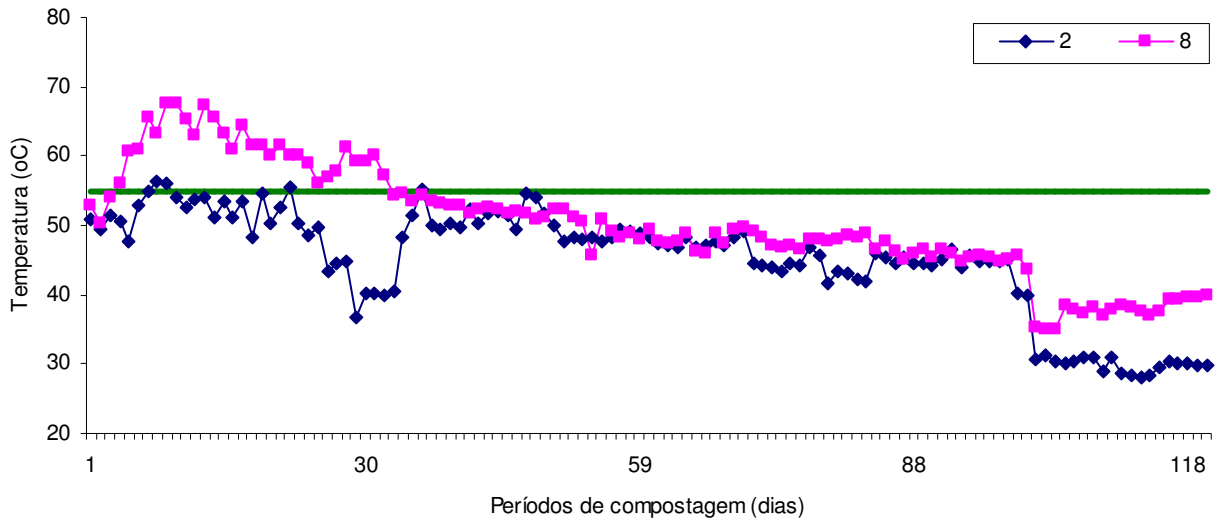


Figura 9 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (2) Lodo biológico + lodo primário + dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (8) Lodo biológico + lodo primário + dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos).

Na Figura 10, verifica-se que tanto o tratamento estático quanto o revolvido apresenta praticamente o mesmo comportamento na variação da temperatura.

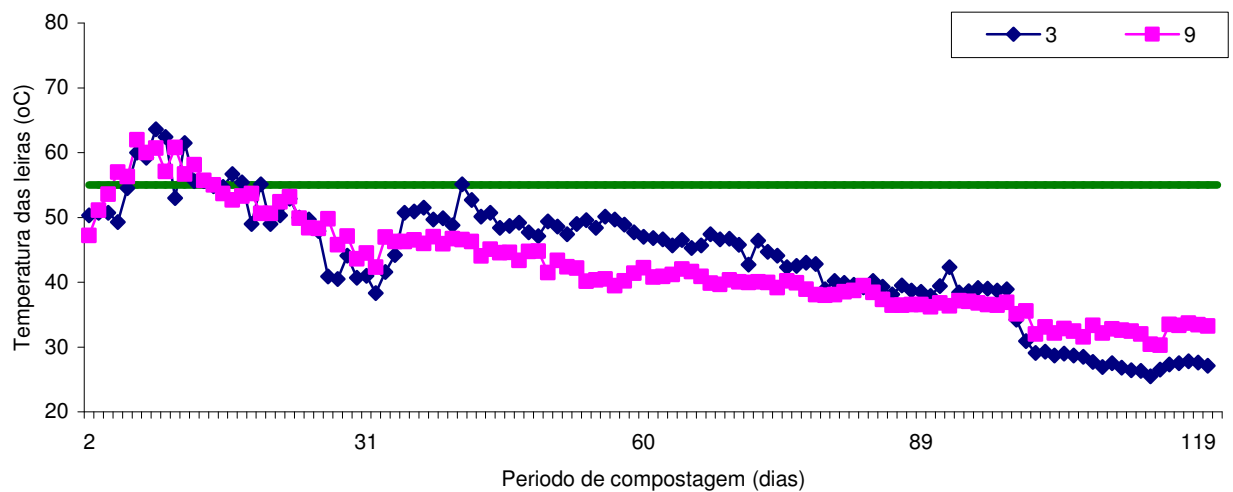


Figura 10 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (3) Lodo biológico + $\frac{1}{2}$ lodo primário + dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca + revolvimento; (9) Lodo biológico + lodo primário + $\frac{1}{2}$ dregs + griz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos)

Estes resultados demonstram que o revolvimento deverá estar atrelado ao aumento da temperatura, pois, do contrário, a eficiência da decomposição é comprometida. Os tubos forneceram oxigênio para os microrganismos durante a decomposição das leira.

Analisando a figura 11, onde as leiras 7, 8 e 9 são estáticas e submetidas ao processo de aeração passiva e a única diferença entre elas é a composição dos resíduos, observa-se que a leira 7, a qual não foi adicionado lodo primário obteve as melhores temperaturas durante a fase ativa, atingindo no 6º dia 78°C, mantendo-se acima dos 75°C até o 15º dia. Isso comprova que na composição da leira não haverá a necessidade de incorporar o lodo primário, pois os *dregs/gritz*, o resíduo da depuração, a cinza e a casca foram suficientes para neutralizar o nitrogênio presente no lodo biológico e que a metodologia de aeração passiva surtiu a necessidade de oxigênio para a atividade dos microrganismos.

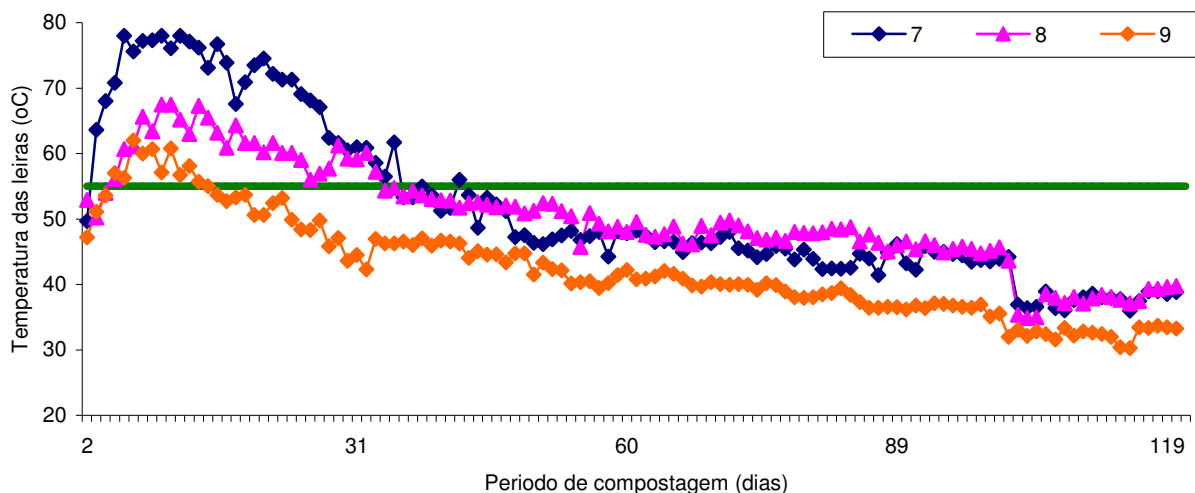


Figura 11 - Variação média da temperatura interna das leiras durante os 120 dias de compostagem. (7) Lodo biológico + dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos); (8) Lodo biológico + ½ lodo primário + ½ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos); (9) Lodo biológico + lodo primário + ½ dregs + gritz + resíduo depuração + cinza + casca + sem revolvimentos (tubos).

5.3 Relação C/N

Na figura 11 observa-se a Relação C/N das 9 leiras de compostagem ao longo dos 120 dias. É possível observar que durante os 90 primeiros dias de compostagem há uma grande redução na relação C/N, sendo mais acentuado entre o 30° e 60° dia.

A eficiência do processo de compostagem depende muito da natureza do material de origem. De maneira geral a relação C/N é usada como indicador da qualidade final do composto. Considera-se a relação C/N na faixa de 25 a 40 como valores ótimos para o início do processo de compostagem (TUOMELA, et al. 2000). O valor que representa um composto maturado, na literatura não é bem definido, Bernal (1999) considera valor C/N próximo de 10, Pullicino (2002) considera que um composto que possui a relação menor que 20 já é um composto maturado. No entanto a Instrução Normativa nº25/2009 do Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento, no Anexo III, estabelece um limite 20:1 para fertilizantes orgânicos.

O lodo biológico utilizado no processo possuía baixo teor de nitrogênio (0,6%) e como foi adicionado dregs/grifts, que são materiais alcalinos, houve um aumento de pH na mistura contribuindo para a perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia durante o processo de compostagem (FRENEY ET AL.,1985; BYRNES, 2000). Resultando desta forma, no final do processo, elevados valores de C/N e alertando para a importância de se equacionar a quantidade de dregs/grifts na mistura.

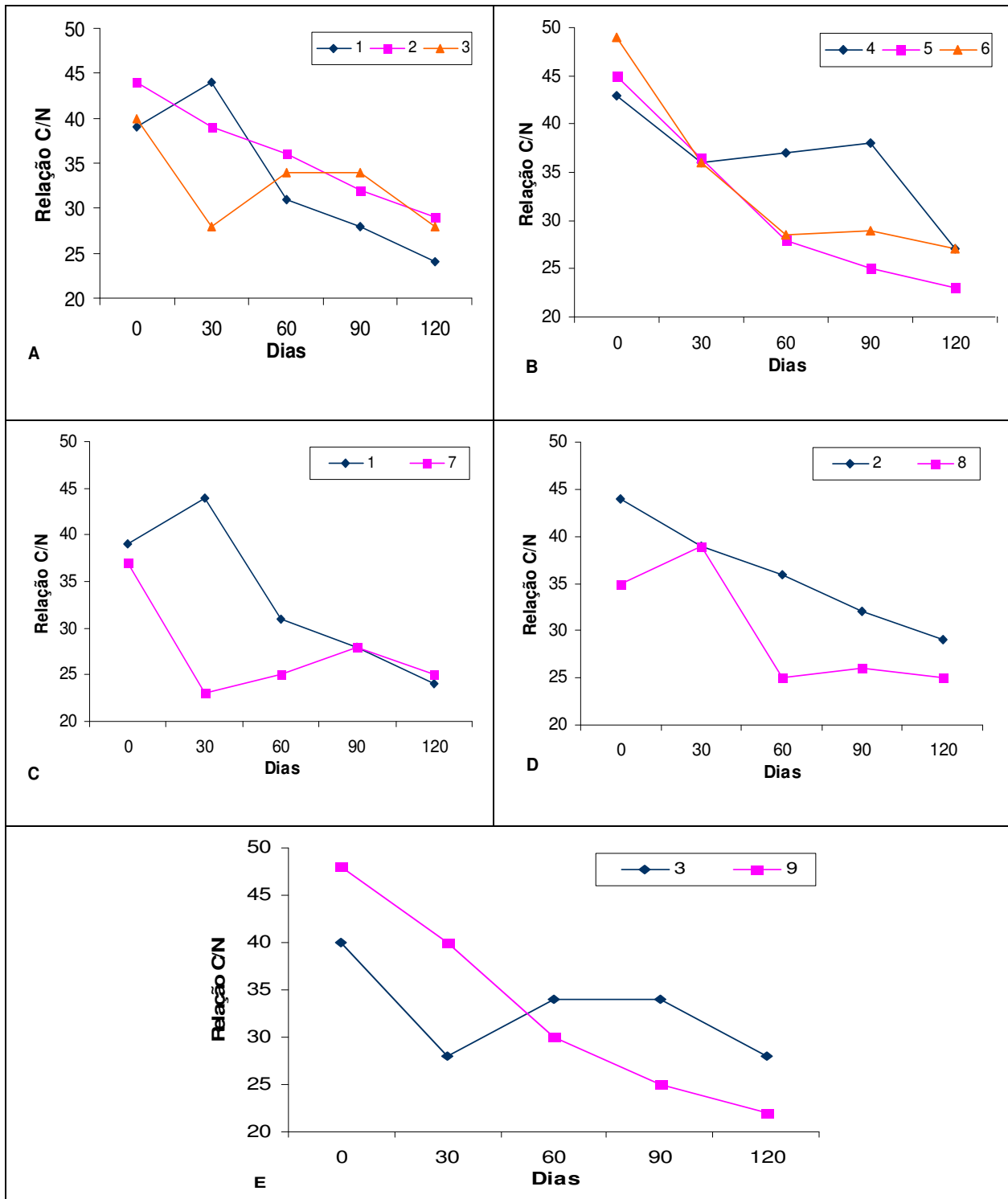


Figura 12 - Variação do valor da relação C/N durante os 120 dias de compostagem. (A) tratamentos 1, 2 e 3; (B) tratamentos 4, 5 e 6; (C) tratamentos 1 e 7; (D) tratamentos 2 e 8; (E) tratamentos 3 e 9

5.4 Caracterização da composição do composto

Após decorridos 120 dias do processo de compostagem, foram realizadas coletas para a determinação das características químicas e biológicas do composto. A Tabela 8 apresenta os resultados das análises e os valores limites das variáveis químicas e biológicas estipuladas pela Instrução Normativa nº25:2009 e 27:2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e a Resolução CONAMA 375/2006.

Analisando a composição dos diferentes compostos é possível verificar que os valores de pH e de cálcio atendem aos limites estipulados para fertilizantes orgânicos; os valores de nitrogênio total, carbono orgânico, magnésio e NPK ficam abaixo dos valores limites e a relação C/N fica com valores acima.

Os metais pesados e os organismos patogênicos possuem valores abaixo dos limites considerados prejudiciais para a saúde e para o meio ambiente.

Analisando a tabela 8, observa-se que todos os critérios estabelecidos pelo CONAMA 375/2006 foram atendidos, garantindo desta forma a segurança sanitária do composto.

A compostagem foi eficiente na redução do número de coliformes Termotolerantes e Salmonelas, isso se deve à alta temperatura desenvolvida ao longo do processo.

Os poluentes orgânicos referenciados pela Resolução CONAMA N° 375/2006, tais como: 1,2-Diclorobenzeno, 1,3-Diclorobenzeno, 1,4-Diclorobenzeno, 1,2,3-Triclorobenzeno, 1,2,4-Triclorobenzeno, 1,3,5-Triclorobenzeno, 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno, 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno, Di-n-butil ftalato, Di(2-etilhexil)ftalato(DEHP), Dimetil ftalato, Cresóis, 2,4-Diclorofenol e 2,4,6-Triclorofenol, Pentaclorofenol, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno,

Benzo(k)fluoranteno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno, Fenantreno, Lindano, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Clordano, Heptacloro, DDT, Toxafeno, Mirex, Hexaclorobenzeno e PCBs estão abaixo dos limites de detecção.

A figura 12 apresenta redução dos teores de nitrogênio nos 9 tratamentos. Verifica-se uma tendência de imobilização e conservação no nitrogênio em função da composição e do tipo de manejo.

Quanto a composição, verifica-se na figura 12A e 12B, que as leiras 2, 3, 5 e 6 tem uma tendência de imobilização do nitrogênio e todas possuem em sua composição lodo primário.

Com relação ao manejo, percebe-se que pelas figuras 12C, 12D e 12E que os tratamentos sem revolvimento mantêm o nitrogênio reciclando dentro das leiras, evitando perda pela volatilização da amônia. O fato da redução de nitrogênio ao longo do processo se deve a mineralização dos compostos nitrogenados existentes na matéria prima e também ao fato do pH permanecer acima de 6,0 durante os 120 dias de compostagem.

Tabela 8 - Caracterização química e biológica determinada em amostras de composto após 120 dias de tratamento, de acordo com a Instrução Normativa nº27:2006, nº23:2006 do Ministério da Agricultura e pecuária e CONAMA 375:2006

Variáveis	Amostras de composto orgânico									Conama	Limites		Atendimento
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		I.N. 25:2009	I.N. 27:2006	
pH	6,1	6,1	5,7	7,1	6	6,6	6,8	6,1	6,2	-	6	-	S
Nitrogênio Total (%)	0,33	0,3	0,3	0,37	0,33	0,32	0,36	0,39	0,29	-	0,5	-	N
Carbono orgânico (%)	8	8,8	8,6	10,1	7,7	9,2	8,8	9,9	6,4	-	15	-	N
Relação C/N	24/1	29/1	28/1	27/1	23/1	27/1	25/1	25/1	22/1	-	20/1	-	N
Cálcio (%)	11,2	10	9,9	6	7	7,6	10,2	12,5	11	-	1	-	S
Sódio (%)	0,5	0,48	0,6	0,65	0,47	0,72	0,36	0,34	0,39	-	-	-	
Magnésio (%)	0,89	0,83	0,81	0,7	0,7	0,88	0,69	0,93	0,95	-	1	-	N
Potássio (%)	0,55	0,5	0,55	0,61	0,61	0,7	0,44	0,58	0,39	-	-	-	
Fósforo (%)	0,18	0,22	0,17	0,18	0,15	0,17	0,17	0,15	0,15	-	-	-	
N + P + K (%)	1,06	1,02	1,02	1,16	1,09	1,73	0,97	1,12	0,83	-	2	-	N
Arsênio (mg/kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	41	-	20	S
Bário (mg/kg)	258	230	213	260	216	242	276	261	66	1300	-	-	S
Cádmio (mg/kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,13	<0,1	<0,5	39	-	3	S
Chumbo (mg/kg)	10	15	9,7	15	7,7	9,9	14	8	6,7	300	-	150	S
Cobre (mg/kg)	32	33	22	36	18	27	39	25	9,5	1500	-	-	S
Cromo (mg/kg)	18	106	14	18	15	16	19	17	25	1000	-	200	S
Merúrio (mg/kg)	0,023	<0,03	<0,02	<0,02	<0,03	<0,06	<0,03	0,2	<0,033	17	-	-	S
Molibdênio (mg/kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	50	-	-	S
Níquel (mg/kg)	35	1,9	32	37	20	31	35	37	17	420	-	70	S
Selênio (mg/kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	100	-	80	S
Zinco (mg/kg)	109	12	87	135	64	99	142	95	23	2800	-	-	S
Coliformes termotolerantes (NMP/g de ST)	<1,8	<1,8	<1,8	<1,9	<1,8	3	<2,6	<2,1	9	1000	-	1000	S
Ovos viáveis de Helminths (ovo/g de ST)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	-	1	S
Salmonellas (P/A) em 10 g de ST	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Ausente	-	Ausente	S

Legenda

N Não Atende S Atende

FONTE: Instrução Normativa nº27:2006, nº23:2005 do Ministério da Agricultura e Pecuária e CONAMA 375:2006

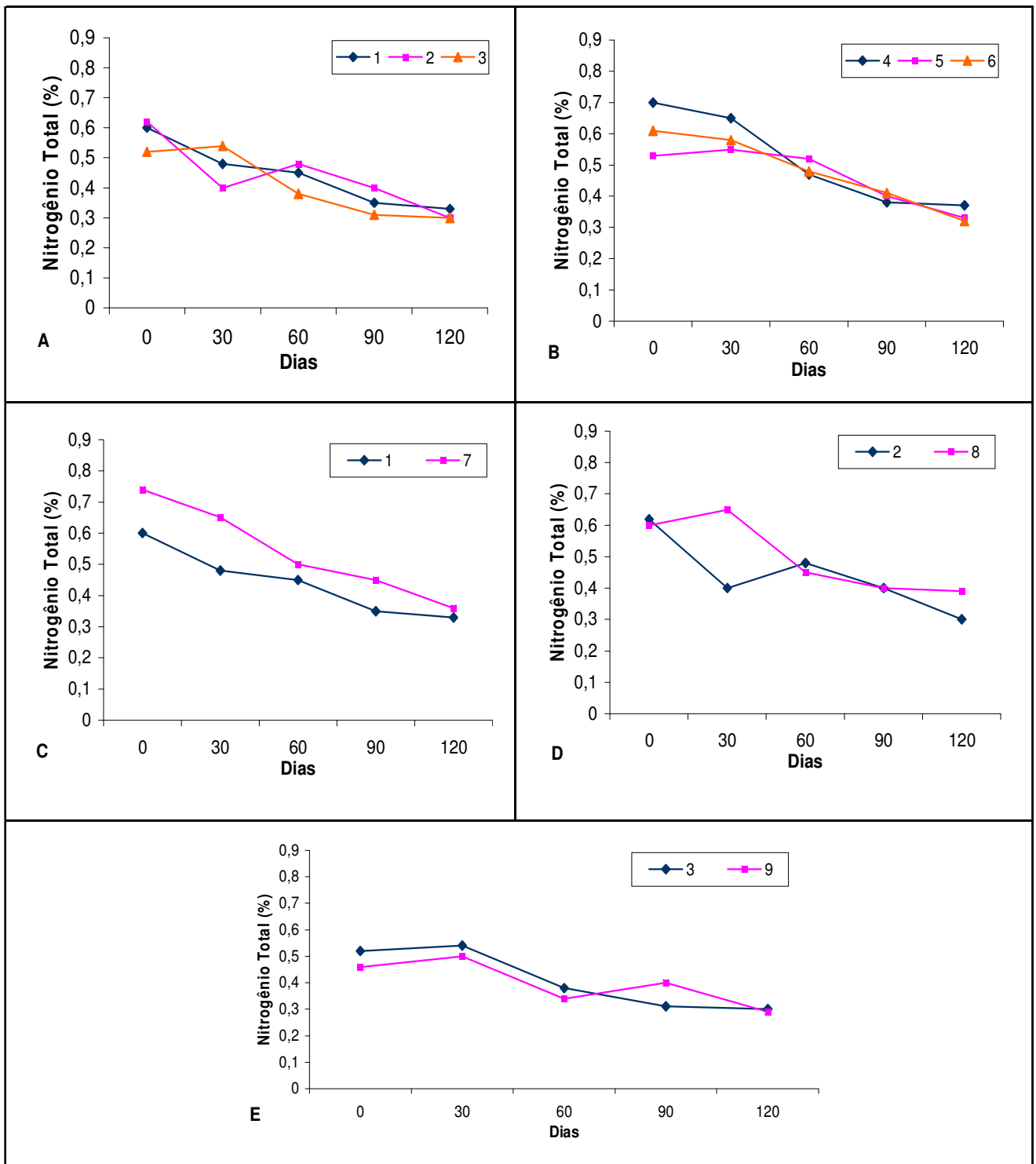


Figura 13 - Variação do teor de nitrogênio total durante os 120 dias de compostagem. (A) tratamentos 1, 2 e 3; (B) tratamentos 4, 5 e 6; (C) tratamentos 1 e 7; (D) tratamentos 2 e 8; (E) tratamentos 3 e 9

5.5 Teste de Maturação do composto

O teste de maturação foi realizado nas amostras 1 e 7, pois se verificou ao longo do processo que estes compostos apresentaram melhor comportamento devido a não incorporação de lodo primário à mistura.

Pelos resultados apresentados na figura 13 observa-se que o rendimento da matéria seca apresenta um crescimento linear, à medida que se aumentam as quantidades do composto na mistura de areia. Esta tendência revela que os compostos estão curados e com condições para serem aplicados ao solo, pois não houve inibição de desenvolvimento das mudas.

Embora a relação C/N tenha ficado acima do estabelecido pela IN 25/2005 do Ministério da Agricultura e Pecuária, pelo teste de maturação percebeu-se que os compostos orgânicos produzidos atingiram ponto de cura, pois não ocasionaram toxidez à mudas de tomate.

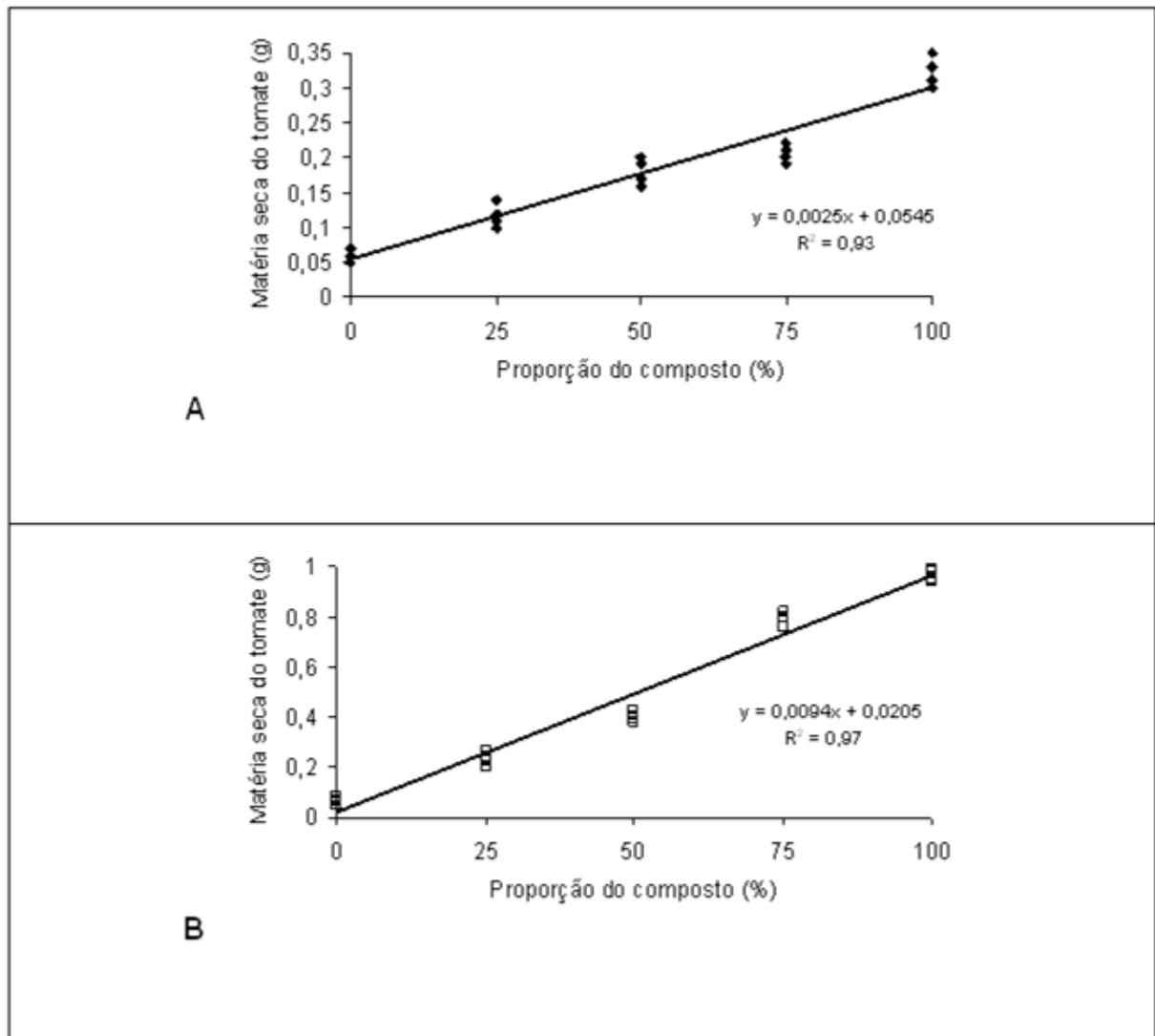


Figura 14 - Peso da matéria seca do tomate semeado em misturas de composto e areia, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100%. (A) tratamento 1 e (B) tratamento 7

6 CONCLUSÃO

Levando em consideração as variáveis utilizadas na caracterização dos resíduos e no monitoramento durante os 120 dias de compostagem, podemos concluir que:

- Na composição da mistura para a compostagem não será preciso incorporar o lodo primário. Os melhores resultados de Temperatura, Relação C/N e Nitrogênio disponível foram obtidos nas misturas sem este material.
- Comparando as leiras com a mesma composição de resíduos e metodologias de aeração diferente, as leiras com aeração passiva (7, 8 e 9), obteve as melhores temperaturas e no final do processo melhor percentual de Nitrogênio disponível, devido a reciclagem de nitrogênio em seu interior, impedindo a perda de N por volatilização da amônia.
- Os resultados mostram que para o processo de compostagem de resíduos da Indústria de celulose e papel a metodologia de aeração passiva foi eficiente, uma vez que proporcionou um bom desenvolvimento da temperatura, um material maturado e que atendeu os critérios estipulados pela legislação. Outro fator que deve-se levar em consideração ao optar por este tratamento, é com relação ao baixo custo, uma vez que requer menor disponibilidade de área para a montagem das leiras, menor investimento

com materiais, além de economizar com máquinas, operadores e combustível, quando comparado ao tratamento de revolvimento mecânico.

- Todos os compostos orgânicos produzidos atenderam aos critérios estipulados pela Resolução CONAMA Nº 375/2006, garantindo desta forma a segurança sanitária do material.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 24p.

ANDREOLI, C.V; PEGORINI, E. S.; Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, WAGNER; CAMRAGO, OTÁVIO; **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.281-312

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G.C. **Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 37, p. 99-106, Jul./Dez 1998.

BARREIRA, L.P.; **Avaliação das Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo em função da Qualidade dos Compostos e Processos de Produção**. Tese de Doutorado em Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BERGAMIN, F.N.; ZINI, C.A.; GONZAGA, J.V.; BORTOLAS, E.; **Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto?** In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS

INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP. p.97-120.

BERNAL, M.P; PAREDES.C. SANCHES-MONEDERO; CEGARRA.J.; **Maturity and stability parameters of composts prepared whit a wide range of organic wastes.** **Bioresource Techonology.** Oxford, v.63, p.91-99, 1999.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Prefácio. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto, Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.5-6

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL. **Avaliação do setor de celulose e papel. Desempenho do setor em 2009.** Disponível em: <www.bracelpa.org.br>. Acesso em 01 jun.2010, 16:45.

Brasil. Ministério da Agricultura e pecuária. **Instrução Normativa nº25** de 27 de julho de 2009.

Brasil – Ministério da Agricultura e pecuária. **Instrução Normativa nº27** de 05 de junho de 2006.

BYRNES, B.H.; **Liquid fertilizers and nitrogen solutions.** In: Fertilizer manual. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p.20-44.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução nº375 de 29 de agosto de 2006. Ministério do Meio Ambiente.

D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A (coord). **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento Integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DUARTE, V. D. et al. **Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos**. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, V.9, n.4 – out/dez, p 280-284, 2004.

Fernandes, L., Zhan, W., Patni, N.K., Jui, P.Y. **Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles**. Transactions of the ASAE 48, 1994. p.257–263.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, WAGNER; CAMRAGO,OTÁVIO; **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.45-68

FERNANDES PINTO, S. J. **Valorização de resíduos da indústria de celulose na produção de agregados leves**. 131p. Dissertação de mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos. Universidade de Aveiro Portugal, 2005.

FRENEY, J.R. et al. **Estimating ammonia volatilization from flooded rice fields by**

simplified methods. Soil Sci. Soc. Am. v. 49, n. 4, p. 1049-1054, 1985.

FORTES NETO, P.; **Monitoramento da Compostagem de Lixo em Leiras Estáticas e Revolvidas.** Dissertação de Mestre em Microbiologia Agrícola e do Ambiente. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 1992.

Haug, R.T. **The Practical Handbook of Composting Engineering.** Lewis publishers, 1993. 717p. Boca Raton, FL, USA, 1993

HASSEN, A.; BELGUITH, K.; JEIDIDI, N.; CHERIF, A. **Microbial characterization during composting of municipal solid wastes.** Bioresource Technology, Barking. V 80, p.217-25, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuários Estatístico do Brasil.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro de 2007.

_____– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento básico de 2000 (PNSB).** Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro de 2007.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal: manual de gerenciamento**

integrado. Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena. 2 ed. São Paulo: IPT / CEMPRE, 2000.

KIEHL, E.J.; **Fertilizantes Orgânicos.** 1 ed. Piracicaba SP: Ceres,1985.

KIEHL,E.J.; **Manual de compostagem – maturação e qualidade do composto.** 1 ed. Piracicaba SP: Degaspari, 1998.

KIEHL, E.J. **Produção de composto por vermicompostagem.** Informe agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.212, p.40-52, 2001.

MELO, W. J.; MARQUES, M.O.; Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas.In: BETTIOL, W.; CAMRAGO,O.; **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

Naumoff A.F.; Peres C.S.; Reciclagem de matéria orgânica (compostagem).In: D’Almeida MLO; Vilhena. A; **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000. cap 4, p. 93-123.

Patni, N.K.; Kannagara, T.; Nielsen, G.; Dinel, H. **Composting caged-layer manure in passively aerated and turned windrows.** ASAE paper no. 012271. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA. 2001.

PEREIRA NETO, J.T. A **contaminação biológica na compostagem**. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16-21 de setembro 2001; João Pessoa, PB. ABES. p.1-6.

_____. **Compostagem: fundamentos e métodos**. In: I SICOM – SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 19-20 de agosto de 2004; Botucatu, SP: Universidade Estadual Paulista; 2001. p.1-17.

_____. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF. 56p. 1996.

PEREIRA NETO, J.T.; LELIS, M. P. N. **Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte**. In: 20º CONGRESSO DA ABES, Rio de Janeiro. 8p. 1999.

PHILLIPI JR, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PRESSINOTTI, A. **"Fertilizantes Orgânicos" - Tecnologia de produção de fertilizantes**, Instituto de tecnologia e pesquisa – IPT & Secretaria da ciência, tecnologia e desenvolvimento – SCTDE, São Paulo, 1990.

PULLICINO, D.S. **Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of municipal solid waste**. Degree of máster of science, Departamento f Chemistry, University of Malta, 110p. 2002.

RANCURA, S. **Os catadores de resíduos sólidos do aterro sanitário de São Carlos – Aspectos ecológicos e socioais**. Monografia de conclusão de curso/Centro de Ciência Biológica e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR.São Carlos/SP. 2002.

SEGURA MUÑHOS, S.I. **Impacto Ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados**. Tese de Doutorado Universidade de São Paulo - Ribeirão Preto SP. 131p. 2002.

SECTAM Pará. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos**. Secretária Executiva de Ciência e Meio Ambiente. Belém:, 2003.

SOBRINHO, P.A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: BETTIOL, WAGNER; CAMRAGO,OTÁVIO; **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.11-25.

TEJADA, M.; DOBAO, M.M.; BENITEZ, C.; GONZALES, J.L. **Study of composting of cotton residues**. Bioresource Technology, essex, v.79, p.199-202, 2001.

TROIS, C; POLSTER, A. **Effective pine bark composting with the Dome Aeration Technology**. Science Direct, Waste management 27, p.96-105, 2007

TSUTYA, M T. Alternativa de disposição final de biossólidos gerados em estação de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, WAGNER; CAMRAGO, OTÁVIO; **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.69-105

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

ZHU, N. **Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw**. *Bioresource Technology*, vol.98, p. 9-13. 2005.