



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LEILA MARIA SOTOCORNO E SILVA

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM
LOCAIS CONTEMPLADOS COM COLETA SELETIVA:
Influência da triagem e da frequência de revolvimento**

LONDRINA
2009

LEILA MARIA SOTOCORNO E SILVA

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM
LOCAIS CONTEMPLADOS COM COLETA SELETIVA:
Influência da triagem e da frequência de revolvimento**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Estadual de Londrina, para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Edificações e Saneamento

Linha de Pesquisa: Gestão e Tratamento de
Resíduos Sólidos

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Márcia Cesário
Pereira da Silva

LONDRINA
2009

LEILA MARIA SOTOCORNO E SILVA

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM LOCAIS
CONTEMPLADOS COM COLETA SELETIVA:
Influência da triagem e da frequência de revolvimento**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Estadual de Londrina, para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Edificações e Saneamento.

Linha de Pesquisa: Gestão e Tratamento de
Resíduos Sólidos

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sandra Márcia Cesário Pereira da
Silva
Universidade Estadual de Londrina
Orientadora

Profa. Dra. Wanda Maria Risso Günther
Universidade de São Paulo - USP

Prof. Dr. Fernando Fernandes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. José Carlos Vieira de Almeida
Universidade Estadual de Londrina -
UEL

Londrina, 20 de outubro de 2009.

*Ao meu herói,
que com suas palavras e gestos, sempre tão humanos, fez-me acreditar, desde
cedo, na divindade da vida.*

*A você, meu pai, SÉRÇIO ANTÔNIO E SILVA, pelo homem que foi e ainda o é, em
meus pensamentos e atitudes.*

Com todo o meu amor, eu dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me fez forte nos momentos em que eu me sentia mais fraca, por ter colocado em meu caminho, sobretudo ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, pessoas e obstáculos que me possibilitaram a superação de tantas dificuldades físicas, emocionais e até mesmo espirituais.

À minha mãe, CATARINA SOTOCORNO E SILVA, pelo seu amor incondicional.

Ao meu irmão, MURILO DI PAULA SOTOCORNO E SILVA, pelo companheirismo e dedicação em todos os momentos da minha vida;

Ao meu namorado, ANTONIO ROBERTO ESCORCIO JUNIOR, por me compreender tão bem e desejar sempre a minha felicidade;

A todos os meus familiares, pelo apoio nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, PROFA. DRA. SANDRA MÁRCIA CESÁRIO PEREIRA DA SILVA, pelo amor, carinho, dedicação e determinação com que me conduziu durante a realização deste trabalho e por me fazer acreditar sempre no poder de Deus.

Ao professor DR. FERNANDO FERNANDES, pela ajuda na viabilização da montagem experimental e incentivo ao longo de todo o trabalho.

Ao professor DR. JOSÉ CARLOS VIEIRA DE ALMEIDA, pela grande contribuição na definição dos parâmetros e técnicas analíticas empregados no laboratório de saneamento, fundamentais para o monitoramento experimental do estudo.

À professora DRA. ERCÍLIA HITOMI HIROTA, pelo auxílio na identificação do problema de pesquisa e elaboração do método da pesquisa.

À professora DRA. MIRIAM JERÔNIMO, atual coordenadora do programa de mestrado, pelas palavras de incentivo.

Ao professor Msc. ÉDIO VIZONI, pelas análises estatísticas e auxílio na interpretação.

À professora DRA. EMÍLIA KURODA, por todo o incentivo e ajuda prestados.

Aos meus companheiros do curso de pós-graduação, MÁRCIA, LEANDRA,

ALESSANDRO, FELIPE E DANILO, pela amizade.

À GISSELMA A. BATISTA, pela paciência, carinho e amizade com que me ajudou nas análises laboratoriais.

Aos companheiros de laboratório, ALESSANDRA, ELSON, AUDINIL e ANDRÉ pela ajuda despendida.

Aos amigos e funcionários da UEL, FRANCISCO AUGUSTO LIMA, CELSO MARTINS e PEDRO ALCÂNTARA, por toda a ajuda prestada e pelos momentos de alegria proporcionados.

À CIDA, minha amiga e eterna confidente, pelo carinho, amor e apoio em todos os momentos.

Ao amigo REINALDO LEANZA, pelas sábias palavras de conforto e incentivo.

Ao JOÃO, funcionário do CCA da UEL pelo suporte no Laboratório de Química do Solo.

À equipe do LABORSOLO, pela cordialidade na prestação dos serviços.

À Prefeitura Municipal de Martinópolis, em especial ao ex-prefeito ANTONIO LEAL CORDEIRO, por acreditar no trabalho e tornar possível a realização do mesmo.

Aos funcionários municipais, AURÉLIO VILAS BOAS, FRANCISCO MENDONÇA e JOSIAS, por todo o suporte fornecido no decorrer da pesquisa.

Ao Departamento de Meio Ambiente do Município de Martinópolis, em especial ao amigo FREDERICO GAMBARELLA DE MORAES, pelo apoio e incentivo.

Aos amigos da ASSOCIAÇÃO DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS DE MARTINÓPOLIS - ACAMART, por não medirem esforços para a realização deste trabalho, e por me mostrarem a importância e a força da amizade.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro.

*Se procuro entre as minhas lembranças as que
me deixaram um gosto durável, se faço o
balanço das horas que valeram a pena,
certamente só encontro aquelas que nenhuma
fortuna do mundo poderia ter comprado.*

Terra dos Homens

SILVA, Leila Maria Sotocorno. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos em locais contemplados com coleta seletiva**: influência da triagem e da frequência de revolvimento. 2009. 121 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RESUMO

Embora a maior parcela, em peso, dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios brasileiros seja constituída por matéria orgânica, observa-se que a compostagem encontra-se, ainda, pouco incentivada no país. Aliados à falta de infraestrutura e à escassez de recursos financeiros, os diversos mitos sobre a reciclagem de nutrientes orgânicos impedem a difusão da técnica no país, sobretudo em municípios de pequeno e médio porte. O objetivo do presente trabalho é avaliar a influência da triagem e da frequência do revolvimento na compostagem de resíduos sólidos urbanos provenientes de locais contemplados com Coleta Seletiva, visando à implantação de sistemas mais simplificados. Para isto foi montado um experimento, na Central de Triagem e Compostagem localizada no município de Martinópolis/SP, com 23.983 habitantes. O experimento consistiu na construção de doze leiras de compostagem, divididas em quatro tratamentos distintos, tendo como variáveis o material-base e a frequência de revolvimento. O processo foi monitorado ao longo de 5 meses, por meio dos parâmetros: temperatura, umidade, pH, cinzas, carbono orgânico total, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e relação C/N. Os valores de CTC, CRA, condutividade, ácidos húmicos, fúlvicos e humina do composto produzido também foram quantificados. Não foi verificada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para os parâmetros analisados. Os compostos orgânicos produzidos apresentaram pH próximo a 8,1; carbono orgânico em torno de 10%, teor de cinzas 80% e relação C/N na faixa de 10 a 15, comprovando assim a conformidade dos mesmos em relação à legislação pertinente e atestando a eficiência do processo de compostagem e a qualidade do composto orgânico em locais dotados de parca infraestrutura e contemplados com coleta seletiva.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Compostagem; Triagem; Revolvimento; Coleta seletiva.

SILVA, Leila Maria Sotocorno. **Composting of domestic solid residues in places where selective collecting happens:** selection and revolving frequency influence. 2009. 121 fls. Dissertation (Master's Degree Program on Building Engineering and Sanitation) - State University of Londrina, Londrina, 2009.

ABSTRACT

Eventhough the great majority, in weight, from urban solid residues generated in Brazilian counties comes from organic matter, it is observed that the composting has not incentives from those countries. Besides the lack of infrastructure and financial resources, the diversives myths over organic nutrients recycling disturb the technique diffusion mainly in small and midle towns. Objective of the present paper is to evaluate the selection unities and the revolving frequency influence over composting of urban solid residues in places where selective collecting happens getting to the implementation of more simplified systems. For that, it was set an experiment at Selection and Composting Plant located in Martinopolis, SP, with 23.983 inhabitants. The experiment consisted of twelve composting windrow built, splited in four distincts treatments, having as varied the base-material and also the revolving frequency. The process was monitored throughout 150 days, observing the parameters: temperature, humidity, pH, ash, total organic carbon, total Kjeldahl nitrogen, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and C/N ratio. The values of cation exchange capacity (CEC), water retention capacity (WRC), conductivity, humic acids, fulvic acids and humin from produced compost were also quantified. It has not been verified significant statistical differences among the treatments to the analysed parameters. The produced composts presented a proximal 8.1 pH; organic carbon around 10%; ash concentration in 80% and C/N ratio from 10 to 15, proving that way the compliance from those related to the proper legislation, testifying the efficiency of composting process and quality of it in places where the poor infrastructure with selective collecting happen.

Key Words: Urban Solid Residues; Composting; Selection; Revolving; Selective collection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da destinação final dos resíduos sólidos no Brasil, no período compreendido entre os anos de 1991 e 2000	33
Figura 2 - Classificação percentual das diversas modalidades de destinação final de RSU dos 220 municípios avaliados pela ABRELPE em 2007	33
Figura 3 - Classificação percentual da existência de coleta seletiva por grupos de municípios classificados por faixas de população	38
Figura 4 - Fluxograma "Padrão" de operação de uma Unidade de Triagem e Compostagem de RSU	41
Figura 5 - Processo de compostagem.....	43
Figura 6 - Exemplo genérico da evolução da temperatura de uma leira em compostagem.....	45
Figura 7 - Evolução do Carbono Total e Nitrogênio Total ao longo do processo de compostagem	48
Figura 8 - Evolução do teor de sólidos totais voláteis ao longo do processo de compostagem.....	49
Figura 9 - Perfil típico de temperatura em uma leira.....	51
Figura 10 - Evolução da umidade em leiras compostadas.....	53
Figura 11 - Evolução da relação C/N de resíduos sólidos orgânicos submetidos ao processo de compostagem	54
Figura 12 - Layout da Central de Triagem e Compostagem do Município de Martinópolis/SP	56
Figura 13 - Fluxograma-resumo das atividades realizadas ao longo do estudo.....	67
Figura 14 - Localização do Município de Martinópolis.....	69
Figura 15 - Layout da Central de Triagem e Compostagem do Município de Martinópolis.....	70
Figura 16 - Pátio de recepção dos resíduos sólidos domiciliares da Central de Triagem e Compostagem de Martinópolis/SP.....	71
Figura 17 - Moega (ao fundo) e esteira de catação da Central de Triagem e Compostagem de Martinópolis/SP	72
Figura 18 - Layout das leiras no pátio de compostagem	74

Figura 19 - Massas de resíduos armazenadas no pátio de compostagem durante a fase de preparação para o início do processo	74
Figura 20 - Vista dos sacos pretos e sacolinhas de mercado retiradas da massa de resíduos	75
Figura 21 - Associados da ACAMART auxiliando na separação dos diferentes tipos de materiais para realização da análise gravimétrica da massa de resíduo	76
Figura 22 - Medição da temperatura da leira com o auxílio de termômetro digital	77
Figura 23 - Adição de água na leira com o auxílio de mangueira	78
Figura 24 - Adição de água na leira com o auxílio de caminhão-pipa	78
Figura 25 - Revolvimento das leiras através da utilização de pá carregadeira	79
Figura 26 - Amostragem	80
Figura 27 - Amostras etiquetadas, prontas para o encaminhamento ao Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina	81
Figura 28 - Remoção de inertes da amostra	81
Figura 29 - Amostras na estufa a 65°C e logo após, sendo trituradas	82
Figura 30 - Peneiramento do composto.....	83
Figura 31 - Pesagem do composto com auxílio de balança digital.....	83
Figura 32 - Amostras de composto final no Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina	84
Figura 33 - Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 1 (LRTF - 1X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem	90
Figura 34 - Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 2 (LRTF - 2X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem	91
Figura 35 - Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 3 (LRTFE - 1X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem	91

Figura 36 - Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 4 (LRTFE - 2x) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem	92
Figura 37 - Evolução da temperatura no topo, meio e base para cada um dos tratamentos estatísticos, ao longo do processo de compostagem	94
Figura 38 - Evolução do pH ao longo do processo de compostagem nas leiras pertencentes aos quatro tratamentos estatísticos	95
Figura 39 - Variação do teor de cinzas das leiras ao longo do processo de compostagem	96
Figura 40 - Variação do carbono orgânico total ao longo do processo de compostagem	97
Figura 41 - Evolução do Nitrogênio Kjeldahl total das leiras no decorrer do processo de compostagem	98
Figura 42 - Evolução do Nitrogênio Amoniacal e Nítrico, por tratamento, a longo do processo de compostagem	99
Figura 43 - Variação da relação C/N das leiras no decorrer do processo de compostagem	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade Total Gerada de RSU por Macrorregião do Brasil	23
Tabela 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de alguns municípios brasileiros	23
Tabela 3 - Composição dos RSU coletados em grupos de países classificados por faixas de renda da população	24
Tabela 4 - Quantidade de municípios com serviços de coleta Seletiva.....	37
Tabela 5 - Taxa de desvio de material reciclável através de Programas de Coleta Seletiva	39
Tabela 6 - Condições de inativação de parasitas e microrganismos patogênicos na compostagem	50
Tabela 7 - Diferenças entre composto estabilizado e composto não estabilizado	58
Tabela 8 - Conteúdo de cinza total e condutividade elétrica determinados ao longo do processo de compostagem	60
Tabela 9 - Presença de metais pesados em compostos de Resíduos Sólidos Urbanos misturados e previamente triados na fonte geradora	62
Tabela 10 -Especificações para granulometria segundo a legislação brasileira	63
Tabela 11 -Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos	63
Tabela 12 -Limite de metais pesados (mg/kg), em compostos orgânicos, para países da Europa, Canadá e Brasil	64
Tabela 13 -Limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos	66
Tabela 14 -Tipo de material utilizado para construção das leiras, frequência de revolvimento e respectivos tratamentos	73
Tabela 15 -Parâmetros analisados durante o experimento, bem como seus respectivos métodos e frequências	85
Tabela 16 -Peso, em quilogramas, dos recicláveis oriundos da Coleta Seletiva municipal, na semana de 31/03 a 04/04 no ano de 2008	87
Tabela 17 -Análise gravimétrica dos RTF e RTFE utilizados como material base para as leiras	88

Tabela 18 -Parâmetros inorgânicos, limites de quantificação, resultados e unidades de ensaio para caracterização inicial do RTF	89
Tabela 19 -Parâmetros inorgânicos, limites de quantificação, resultados e unidades de ensaio para caracterização inicial do RTFE.....	89
Tabela 20 -Densidade da leira, densidade do composto, massa de composto produzido e quantificação de rejeitos e recicláveis obtidos ao final do peneiramento para cada uma das 12 leiras	101
Tabela 21 -Massa total de cada uma das 12 leiras e respectivas porcentagens de rejeito e recicláveis descartados	102
Tabela 22 -Parâmetros inorgânicos, metais pesados, CTC, CRA, condutividade, ácidos húmicos, fúlvicos e humina dos compostos produzidos nos 4 tratamentos	102

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACAMART	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Martinópolis
CE	Condutividade Elétrica
CRA	Capacidade de Retenção de Água
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
LRTF	Leira Resíduo Triado na Fonte
LRTFE	Leira Resíduo Triado na Fonte e na Esteira
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RTF	Resíduo Triado na Fonte
RTFE	Resíduo Triado na Fonte e na Esteira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	20
2.1 PROBLEMA DE PESQUISA	20
2.2 QUESTÃO DE PESQUISA PRINCIPAL	20
2.3 OBJETIVO GERAL.....	21
2.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA	21
3 REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1 GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
3.1.1 Principais Alternativas Disponíveis para Gestão	29
3.2 COLETA SELETIVA E RECICLAGEM.....	34
3.3 CENTRAIS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM.....	39
3.4 COMPOSTAGEM	42
3.4.1 Fatores que Influenciam o Processo de Compostagem.....	47
3.4.2 Composto Orgânico	57
4 MATERIAL E MÉTODO	67
4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO, DO SISTEMA DE	68
4.2 COLETA E DA INFRAESTRUTURA.....	72
4.3 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO	72
4.4 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	73
4.3.1 Caracterização dos Resíduos	75
4.4 MONITORAMENTO DAS LEIRAS	76
4.5 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	79
4.6 ANÁLISE DAS AMOSTRAS	84
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
5.1 COLETA SELETIVA	86
5.2 PLANEJAMENTO E MONTAGEM DO EXPERIMENTO	87

5.3 MONITORAMENTO DAS LEIRAS	89
5.3.1 Temperatura e Umidade.....	89
5.3.2 pH	94
5.3.3 Sólidos Fixos	96
5.3.4 Gás Carbônico	97
5.3.5 Nitrogênio Kjeldahl Total, Amoniacal e Nítrico	98
5.3.6 Relação C/N.....	100
5.4 BENEFICIAMENTO DO COMPOSTO	101
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....	105
6.1 CONCLUSÕES.....	105
6.1.1 Quanto ao Monitoramento dos Parâmetros	105
6.1.2 Quanto ao Composto Produzido	107
6.2 CONSIDERAÇÕES DA AUTORA.....	108
6.2.1 Quanto ao Sistema de Coleta Seletiva	108
6.2.2 Quanto ao Composto Produzido	108
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICE.....	116

1 INTRODUÇÃO

A complexidade do estilo de vida das cidades, combinada a um pesado marketing, gera nas pessoas a necessidade de consumo intensivo. No entanto, uma parcela significativa de novos objetos e produtos lançados no mercado não é efetivamente indispensável para assegurar a boa qualidade de vida da população.

Porém, alterações nos hábitos da população fizeram com que a praticidade, o conforto e a comodidade passassem a ser vistos como fundamentais para o bem-estar do indivíduo, como se pode constatar pelo fato de as embalagens descartáveis terem se tornado elementos essenciais para a venda de qualquer produto.

Como se não bastasse, novos objetos e produtos são lançados no mercado acrescidos de acessórios ou sofisticações tecnológicas, tornando os modelos anteriores obsoletos, como é o caso de eletrodomésticos, automóveis, computadores, aparelhos celulares, que trazem como consequência, o aumento da geração de resíduos sólidos “per capita”, além daquele decorrente do próprio crescimento populacional. Acrescido a isto, observa-se, frequentemente que a população é incentivada, pelas empresas que prestam serviço de assistência técnica, a adquirir um produto novo, visto ser financeiramente mais vantajoso.

Do ponto de vista da degradação ambiental, o volume de resíduo sólido gerado representa mais do que poluição. Significa também muito desperdício de recursos naturais e energéticos para produzir os “bens” de consumo. (ABREU, 2007).

Constata-se, portanto, que a geração de resíduos é hoje um dos maiores problemas enfrentados pela civilização moderna. A falta de locais para a sua disposição final adequada e técnicas cada vez mais onerosas para o seu tratamento tem levado muitos municípios a colocarem em prática uma Política de Gerenciamento Integrado, que contemple, entre outras medidas, a redução na fonte, a reutilização, a reciclagem, a compostagem e a disposição em aterros, de forma conjunta.

Segundo Fehr, Castro e Calçado (2001), as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos adotadas na Alemanha, no Canadá, na Espanha e na Suécia já

deixam transparecer uma preocupação crescente com a redução de aterros, pois todas as tecnologias adotadas visam desviar os resíduos dos aterros.

A comunidade Européia criou a Diretiva 1999/31/CEE com o objetivo de prever medidas, processos e orientações que evitem ou reduzam, tanto quanto possível, os efeitos negativos sobre o meio ambiente da disposição dos resíduos sólidos no solo. Em 2006, foi publicada a Directiva 2006/12/CE, que traz orientações para ajudar as autoridades competentes e o setor privado a determinar se um produto constitui ou não um resíduo sólido, e proibindo o abandono, a descarga e a eliminação não controlada, promovendo a prevenção, a reciclagem e a transformação dos resíduos para efeitos de recuperação. Estas medidas preveem a cooperação entre Estados-Membros visando à criação de uma rede integrada.

No Brasil, no entanto, mesmo que a falta de espaço e verbas para a construção de novos aterros, enfrentada por diversos municípios, esteja contribuindo para despertar o interesse do setor público na busca de alternativas economicamente sustentáveis, a situação ainda está muito aquém do necessário e do desejado. Segundo levantamento realizado pelo IBGE, em agosto de 2000, a situação dos municípios brasileiros, no que se refere à disposição final dos resíduos sólidos urbanos, era a seguinte: 76% na forma de lixão (depósitos a céu aberto), 13% em aterro controlado (aterrado) e 10% em aterro sanitário. Todos estes sistemas geram o lixiviado, líquido de cor escura, odor desagradável e alto poder poluidor, resultante da decomposição biológica da matéria orgânica presente nos resíduos.

Neste sentido, se apresentam, como alternativa, as centrais de triagem e compostagem, para maximizar a vida útil dos aterros sanitários, haja vista a remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares, como também o aproveitamento da parcela orgânica na transformação em composto orgânico, por meio de um balanço de massa ao longo de todo o processo. No entanto, para que se obtenha um composto aplicável agronomicamente, é de suma importância a separação prévia do material inerte, o que tem sido incentivado através de programas de coleta seletiva.

Embora nos últimos anos a taxa de adesão a Programas Municipais de Coleta Seletiva venha aumentando no país e se fale constantemente em reciclagem de materiais inertes, muito pouco tem sido feito ou mesmo discutido em relação à

parte orgânica presente nos resíduos sólidos coletados no país. De certa forma, tal fato soa curioso, quando se observa que em média 55 a 60%, em peso, dos resíduos sólidos gerados no país constituam-se de matéria orgânica.

Segundo Chermont (2000), em função das sérias dificuldades financeiras que os municípios brasileiros de pequeno porte (com menos de 20.000 habitantes) vêm enfrentando, os mesmos não podem desprezar as oportunidades de gerar recursos e a necessidade de atender à legislação ambiental. Dentre as oportunidades reais existentes, a reciclagem e a compostagem dos resíduos sólidos começam a ser vistas como alternativas factíveis.

No entanto, um dos principais entraves para a implantação de processos de compostagem, principalmente nesses municípios, é a alegação de necessidade de elevados investimentos para a implantação da central de triagem, devido à falta ou ineficiência do programa de coleta seletiva. Porém, observa-se que das poucas Centrais de Triagem e Compostagem implantadas no país, a grande maioria encontra-se paralisada ou mesmo desativada, o que tem sido atribuído à falta de conhecimento acerca do processo, fato que tem contribuído para o desestímulo da prática de reciclagem de matéria orgânica no Brasil.

As chamadas Centrais de Triagem e Compostagem de baixo custo geralmente são constituídas de uma área de descarga dos resíduos coletados composta por fosso, pólipo e moega; uma área de triagem composta por esteira rolante, através da qual é feita a retirada manual dos recicláveis e em algumas unidades é realizada em seguida a trituração da suposta fração orgânica, sendo encaminhada aos pátios de compostagem.

O processo de triagem realizado em tais Centrais necessita de intensa mão-de-obra manual. Esta talvez seja a fase mais problemática do sistema, seja pelo número de pessoas ou pela baixa qualidade do material triado, haja vista a grande quantidade de inertes presentes nas leiras de compostagem.

Diante deste cenário, o escopo deste estudo é analisar a influência da triagem no processo de compostagem e na qualidade do composto, considerando-se a existência prévia de um Programa de Coleta Seletiva Municipal, partindo-se do pressuposto de que mesmo em condições parcas (simplificada), se bem conduzida, a compostagem pode ser bem-sucedida.

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa desta dissertação é a necessidade de incentivar a implantação do processo de compostagem com resíduos sólidos urbanos e reverter os diversos mitos que atrapalham o incentivo e consequente emprego desta técnica no país, sobretudo em municípios de pequeno e médio porte, alegando-se principalmente a falta de educação ambiental, de efetivo programa de coleta seletiva e, carência, de recursos para implantação de centrais de triagem. Além disso, de acordo com a literatura, as poucas centrais de triagem e compostagem implantadas no Brasil sofreram um enorme desgaste, o que nem sempre condiz com a realidade, levando à paralisação, quando não, à desativação de grande parte delas. A falta de conhecimento e domínio sobre a tecnologia envolvida no processo tem sido apontada como o principal motivo desses acontecimentos.

Dessa forma, é preciso verificar a viabilidade de realizar o processo de compostagem com técnicas simples, sem necessidade de centrais de triagem, ou seja, equipamentos como pólipos, esteiras e trituradores em locais contemplados com programas de coleta seletiva.

2.2 QUESTÃO PRINCIPAL DE PESQUISA

A maioria dos Programas Municipais de Coleta Seletiva implantados no Brasil apresenta algumas limitações que envolvem desde a dificuldade na universalização dos serviços até a baixa adesão da população ao programa. Observa-se que os resíduos sólidos que chegam até as centrais de compostagem não se tratam apenas de resíduos sólidos orgânicos compostáveis, e, em sua grande maioria necessitam passar por uma triagem antes de serem encaminhados ao processo de compostagem.

A falta de recursos financeiros e de conhecimento sobre o processo de compostagem em geral levam ao abandono da técnica no país. Diante da relevância do tema e da quantidade restrita de trabalhos desenvolvidos com dados obtidos na prática, foi definida a seguinte questão de pesquisa: **Qual a influência da triagem e da frequência do revolvimento no processo de compostagem de resíduos**

sólidos domiciliares provenientes de locais contemplados com Coleta Seletiva?

A resposta a esta questão levou ao propósito de realizar um estudo de caso envolvendo experimentos de compostagem em um município de pequeno porte com dificuldade de adesão da população ao Programa Municipal de Coleta Seletiva implantado.

2.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da triagem e da frequência do revolvimento das leiras na compostagem de resíduos sólidos domiciliares provenientes de locais contemplados com Programa Municipal de Coleta Seletiva, visando à implantação de sistemas mais simplificados de compostagem.

2.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Através do levantamento de informações a respeito de processos de compostagem realizados no país e da atual situação das Centrais de Triagem e Compostagem instaladas no Brasil, observou-se que havia uma lacuna de conhecimento a respeito do tema. Aliado a este fato notou-se também que, além de literatura restrita sobre o assunto, muitos mitos rondavam o método de compostagem de resíduos sólidos, dificultando a difusão da técnica.

Optou-se por utilizar o estudo de caso, realizado em Martinópolis – SP, município de pequeno a médio porte, como ferramenta suporte para o desenvolvimento do presente trabalho, visto que o objetivo principal do estudo era analisar, em escala real, qual a influência da triagem dos resíduos sólidos e do revolvimento, em leiras submetidas ao processo de compostagem.

Foram montadas 12 leiras, no pátio de compostagem da Central de Triagem e Compostagem do município selecionado, as quais foram submetidas a 4 tratamentos estatísticos distintos: alterando-se a frequência de revolvimento e a triagem dos resíduos, em esteira de catação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos vem aumentando nos países em desenvolvimento, principalmente devido à rápida urbanização e consequente aumento de consumo. No entanto, vários são os fatores que afetam a geração de resíduos sólidos. De uma maneira geral, esta produção está diretamente relacionada a fatores socioeconômicos, ao crescimento populacional, à diversificação de bens e serviços e às alterações no estilo de vida. Entretanto, esta correlação vai depender de fatores geográficos, sociais e produtivos, bem como do nível de tecnologia e de segmento industrial.

De acordo com estimativas de dados fornecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração média de resíduos sólidos domiciliares no Brasil em 2007 foi de 168.653 toneladas/dia, sendo a geração per capita média de 1,106 Kg/dia. Desse total, 38,6% dos resíduos são dispostos em aterros sanitários, 31,8% em aterros controlados e 29,6% em lixões. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2007).

A Tabela 1 apresenta a quantidade de resíduos sólidos domiciliares gerada no Brasil e por cada macrorregião.

Tabela 1 - Quantidade total gerada de RSU por macrorregião do Brasil

Macrorregião	RSU Coletado (t/dia)	Taxa de Coleta (%)	RSU Gerado (t/dia)	RSU Gerado (kg/hab/dia)
Norte	7.978	73.56	10.846	0.992
Nordeste	31.422	69.51	45.205	1.236
Centro-Oeste	10.181	85.96	11.844	1.040
Sudeste	77.543	92.04	84.249	1.177
Sul	13.787	83.51	16.509	0.749
Brasil	140.911	83.55	168.653	1.106

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2007)

Observa-se que a produção média diária de resíduo por habitante no Brasil ultrapassa um quilo e que na macrorregião de menor produção a média é superior a 0,5 kg/hab/dia, valor geralmente apontado em literatura.

A Tabela 2 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de alguns municípios brasileiros.

Tabela 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de alguns municípios brasileiros

Cidade	Matéria orgânica (%)	Papel e papelão (%)	Plástico (%)	Metais (%)	Vidro (%)	Outros (%)
Belo Horizonte	65,4	10,2	11,6	2,6	2,5	7,7
Campina Grande	56,8	13,6	15,5	1,4	1,1	11,5
Caxias do Sul	58,8	17,3	6,6	2,9	1,3	13,7
Porto Alegre	41,9	20,8	22,5	4,1	2,1	8,6
Ouro Preto	53,7	19,3	9,2	4,2	4,2	9,4
Vitória	53,1	19,1	11,8	2,7	2,7	10,0
Criciúma	45,2	21,1	17,1	2,1	2,1	11,2

Fonte: Cassini (2003)

Mesmo apresentando algumas variações, de modo geral, constata-se que no Brasil a matéria orgânica ainda é responsável por mais da metade, em massa, dos RSU gerados.

A Tabela 3 expressa a variação da composição dos RSU, por Grupo de Países, classificados por faixas de renda da população.

Tabela 3 - Composição dos RSU coletados em grupos de países classificados por faixas de renda da população

RENDA	Baixa Renda (Índia/Egito/Países Africanos)	Média Renda (Argentina/Brasil/ Taiwan/Singapura /Tailândia)	Renda Alta (EUA/Europa Ocidental/ Hong Kong)
(US\$ ^o per capita ^o /ano)	<\$5.000	\$5.000 - \$15.000	>\$20.000
Composição dos RSU (%)			
Resíduos Orgânicos	50-80	20-65	20-40
Papel e Papelão	4-15	15-40	15-50
Plásticos	5-12	7-15	10-15
Metais	1-5	1-5	5-8
Vidros	1-5	1-5	5-8

Fonte: Adaptada de Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2007)

Torna-se evidente que, em países desenvolvidos, os RSU apresentam maior quantidade de materiais como papel, metais, plástico e vidro, caracterizando consumo superior de produtos industrializados. (ENSINAS, 2003).

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos tem se tornado um grave problema ambiental, causando degradação do meio ambiente. A gestão dos resíduos sólidos não tem merecido a atenção necessária por parte do poder público, o que compromete a saúde da população e a degradação dos recursos naturais, pois a disposição inadequada de resíduos sólidos no solo causa problemas de saúde pública, como a proliferação de vetores transmissores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos); a geração de maus odores; e a poluição do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas.

Até mesmo a técnica mais utilizada para destinação final de resíduos sólidos, principalmente em países em desenvolvimento – aterro sanitário, caso não seja devidamente monitorada, pode causar contaminação do ambiente, principalmente pela emissão de gases e produção de um líquido denominado chorume ou lixiviado, provenientes da decomposição do material orgânico.

O potencial de contaminação decorrente do lixiviado é devido à sua carga orgânica e composição físico-química, extremamente variável, dependendo de

fatores que vão desde as condições pluviométricas locais, até o tempo de disposição e características do próprio resíduo. O chorume pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos em suspensão e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras. Por apresentar substâncias altamente solúveis, pode escoar e alcançar as coleções hídricas superficiais, ou infiltrar-se no solo e atingir as águas subterrâneas, comprometendo sua qualidade e potenciais usos. (CELERE et al., 2007).

A produção de gases pode agravar o efeito estufa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2003), pois o gás metano, principal componente, contribui mais que o gás carbônico (CO₂) para o aquecimento global. (GODOY JUNIOR et al., 2004).

Além disso, deve-se considerar que esta forma de disposição de resíduos em aterros ocupa extensas áreas, que ficarão inutilizadas por longo prazo, representando problemas para as futuras gerações.

Logo, equacionar o desequilíbrio entre o incremento de resíduos e as escassas possibilidades de dispô-los corretamente, sem agredir a saúde humana e sem causar riscos ao meio ambiente, é o grande desafio que se impõe. (DIAS, 2000 apud JUNKES, 2002).

Assim, em função dos principais impactos causados pela disposição de resíduos sólidos no solo, a gestão eficaz e eficiente dos resíduos sólidos urbanos deveria ser uma prioridade nos países em desenvolvimento, pois exerce um papel muito importante na proteção do ambiente e da saúde pública.

Na atualidade, a gestão dos resíduos sólidos urbanos apresenta-se, em cada cidade brasileira, de forma diversa. Ressalta-se aqui que de acordo com D'Almeida e Vilhena (2000), o município é responsável pelo gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais com características similares, cuja quantidade é estabelecida por cada município, sendo normalmente inferiores a 50 kg. Já os resíduos de serviços de saúde, industrial, agrícola, resíduos da construção civil, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários são de responsabilidade do gerador.

De acordo com Schall (1992 apud MILANEZ, 2002), a visão moderna da gestão dos resíduos sólidos urbanos consiste no abandono do paradigma da

disposição final, onde os mesmos são vistos como uma massa uniforme, que deve ser coletada, compactada e enterrada ou queimada, pela adoção de uma visão de que os resíduos sólidos são compostos de diferentes materiais que, dependendo de suas características físicas, químicas e biológicas e de seu valor econômico, devem ser manejados mediante diferentes processos.

Lima (2002 apud BRINGHENTI, 2004) comenta que a base da mudança da gestão isolada para a integrada de resíduos sólidos deverá ser pautada por uma hierarquia de objetivos focada em quatro áreas programáticas: (a) minimização da geração de resíduos; (b) maximização do reuso e da reciclagem; (c) promoção do tratamento e da disposição final dos resíduos sólidos de forma ambientalmente segura; (d) maximização da cobertura de serviços de limpeza urbana.

Observa-se que a gestão integrada dos resíduos sólidos apresenta forte relação com os princípios de sustentabilidade ambiental, como pode ser notado no capítulo 21 da Agenda 21 Global. (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS..., 1992). Este documento, que representa o acordo entre as nações mundiais no sentido de melhorar a qualidade de vida no planeta, afirma que se deve buscar e discutir a causa fundamental do problema dos resíduos sólidos, procurando mudar padrões não sustentáveis de produção e consumo.

Portanto, a gestão dos resíduos sólidos domiciliares deveria ser integrada e contemplar as atividades de reutilização, reciclagem e tratamento com recuperação energética ou de biomassa, visando reduzir ao máximo a quantidade de resíduos a ser disposta no solo, minimizando os custos operacionais e os impactos ambientais e à saúde. Logo, o desafio é superar a cultura da eliminação dos resíduos e passar à cultura da recuperação, por meio do desenvolvimento de ferramentas voltadas para: tecnologias e sistemas de gestão que incorporem o princípio da minimização de resíduos; programas e estratégias voltadas para o incentivo de práticas de redução, reutilização e reciclagem e desenvolvimento de instrumentos econômicos para sustentabilidade da gestão dos resíduos sólidos.

Deve-se ressaltar que a tendência internacional, hoje considerada moderna, é no sentido de buscar maior desvio possível de resíduos dos aterros, no intuito de prolongar a vida útil dos mesmos, adotando como tecnologias: incineração, compostagem, coleta seletiva e digestão anaeróbica, entre outras. A Comunidade Europeia criou a Diretiva 1999/31/CEE com o objetivo de prever medidas, processos

e orientações que evitem ou reduzam, tanto quanto possível, os efeitos negativos sobre o meio ambiente da disposição dos resíduos em aterros. Em 2006, foi publicada a Directiva 2006/12/CE, que traz orientações para ajudar as autoridades competentes e o setor privado a determinar se um produto constitui ou não um resíduo e proibindo o abandono, a descarga e a eliminação não controlada de resíduos, promovendo a prevenção, a reciclagem e a transformação dos resíduos para efeitos de reutilização. Estas medidas preveem a cooperação entre Estados-Membros visando à criação de uma rede integrada. Nesses países, a tendência é o tratamento de resíduos em incineradores modernos que recuperam energia, e a disposição final em aterros sanitários só ocorre quando os resíduos não podem mais ser recuperados. Assim, a política de resíduos nesses locais se concentra nas medidas reguladoras, como padrões de emissão, uso do solo, taxas ambientais sobre produtos, entre outras, e a sociedade, por sua vez, recebe informações sobre o manejo dos resíduos para que haja um controle social das atividades.

Pesquisas recentes demonstram um crescente interesse na aplicação da técnica da ACV ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Segundo Souza e Rubinger (2005) a avaliação do Ciclo de Vida, através de sua metodologia peculiar, viabiliza a identificação de opções de tratamento mais ambientalmente eficientes e mais energeticamente viáveis, e proporciona melhorias e avanços na gestão de resíduos sólidos urbanos.

O estudo de análise de ciclo de vida de resíduos sólidos na Suíça, por Finnveden et al (2005), permitiu averiguar que, o melhor sistema de tratamento a ser utilizado seria a reciclagem, seguido pelo processo de incineração com recuperação energética e, finalmente, pela disposição dos resíduos em aterros sanitários. É, entretanto, importante ressaltar que os resultados obtidos foram fundamentados em uma perspectiva de longa duração e em condições de transporte a longa distância definidas no escopo do estudo. Para um período de análise mais reduzido, a incineração apresentou maiores impactos ambientais, devido às emissões de gases, em comparação com a disposição de resíduos em aterros sanitários, cujas emissões podem permanecer por longo tempo, até milhares de anos.

A hierarquização dos processos de tratamento também levou em consideração a peculiaridade do material tratado. Como exemplo, segundo o estudo,

para frações plásticas, considerando uma perspectiva em curto prazo, a disposição em aterros apresentara maiores vantagens em comparação à incineração, no tocante ao impacto no aquecimento global, sendo o processo de reciclagem prioritário sobre os dois processos anteriores.

Uma ressalva importante a ser feita é com relação a algumas complexidades encontradas na aplicação da ACV à gestão de resíduos sólidos, podendo-se destacar a dificuldade em se estimar emissões. Tal dificuldade associa-se às diferentes características individuais de cada resíduo e à composição variada da massa residual como um todo.

Ressalta-se também que a busca de soluções para a questão deve ter como foco a gestão integrada estabelecida com base em diagnósticos participativos, planejamento estratégico, integração de políticas setoriais, parcerias entre os setores público e privado, mecanismos de implementação compartilhada das ações, instrumentos de avaliação e monitoramento e não somente a escolha de tecnologias apropriadas.

Hoje, no Brasil, evidenciam-se alguns pontos críticos em termos de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares, dos quais se destacam: as frágeis estruturas institucionais; ações desordenadas; duplicação de tarefas administrativas; falta de articulação e incompatibilidade de instrumentos legais; parcial implementação de planos, programas e projetos de longo prazo, devido à falta de sustentabilidade econômica e financeira; falta de transparência nos processos de privatização; falta de mecanismos de participação e controle social e supervisão na execução dos contratos, além da ausência de sistemas de financiamento para apoiar o setor.

A implantação dos novos marcos legais para a prestação dos serviços de saneamento, entre os quais os de manejo de resíduos sólidos, definidos pela Lei do Saneamento Básico nº 11.445/2007, a Lei nº 11.107/2005 dos Consórcios Públicos, e o Decreto nº 6.017/07 que a regulamenta, e as novas Resoluções Conama que tratam dos resíduos da construção civil, dos resíduos de serviços de saúde e sobre licenciamento simplificado para aterros de pequeno porte, dentre outras, confirmam o início de um processo desafiador de reversão do quadro de gestão, tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos. Os impactos negativos do ponto de vista ambiental, social, econômico e de saúde pública decorrentes da gestão inadequada

dos resíduos sólidos urbanos vêm exigir novas normas e padrões para a atuação dos atores envolvidos, possibilitando mudança de posturas por parte dos órgãos responsáveis pela formulação de políticas públicas nesta área.

Assim, é importante estabelecer um marco legal e regulatório para o manejo de resíduos sólidos que estabeleça a competência e a atuação de cada setor envolvido na gestão integrada, os mecanismos de fiscalização e controle das instituições públicas responsáveis e os incentivos para a gestão sustentável. A legislação existente para o setor encontra-se dispersa em vários dispositivos, o que dificulta sua efetividade por falta de complementaridade entre as distintas disposições jurídicas e, muitas vezes, pelas lacunas ou superposição de competências ou contradições entre as mesmas. A carência de regulamentos específicos, normas de referência e padrões de ecoeficiência, ligados a instrumentos econômicos voltados para a gestão de resíduos sólidos, são o principal vazio que impede a aplicação correta das leis ambientais e de gerenciamento de resíduos. Logo, é importante estabelecer normas e instrumentos que definam responsabilidades pós-consumo, de maneira a induzir os distintos atores envolvidos à adoção dos 3R – redução, reutilização e reciclagem –, assim como estabelecer responsabilidades e competências de cada ator envolvido. Deve-se também promover: a implementação de mecanismos de fiscalização dos serviços, de auditorias ambientais, além de promover a aplicação de mecanismos de transparência das informações. (GONÇALVES, 2007).

3.1.1 Principais Alternativas Disponíveis para Gestão

Segundo os dados sobre alternativas de destinação de resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros, apresentados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002), 21,26% dos municípios dispõem seus resíduos sólidos em lixões ou áreas alagadas; 37,03% em aterros controlados; 36,18% em aterros sanitários; 4,3% em unidades de compostagem, triagem e incineração, e 1,23% desses não informaram o destino.

Campos (1992) recomenda que, para o desenvolvimento de estudos sobre a melhor forma de tratamento e disposição final dos resíduos, deve-se procurar

realizar as atividades de acordo com vários fatores, como: conhecimento do problema (visitas técnicas de inspeção nos locais de disposição final); levantamento de dados dos municípios (lei de uso e ocupação do solo, população urbana, comércio de recicláveis e utilização do composto na região, orçamento municipal, áreas disponíveis para tratamento e disposição dos resíduos, etc.); levantamento dos dados históricos e atuais da limpeza urbana, entre outros. A definição da melhor alternativa para o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos será aquela mais viável em termos técnicos, econômicos e ambientais, sendo de extrema importância que esteja inserida no Plano Diretor Municipal.

As principais opções disponíveis, atualmente, para tratamento e disposição final de resíduos sólidos domiciliares compreendem: a incineração, a pirólise, a reciclagem (através de programas de coleta seletiva) e as centrais de triagem e compostagem. Como a Coleta Seletiva e a Central de Triagem estão relacionadas ao tema do trabalho, serão comentadas em capítulo à parte.

Aterros sanitários

Segundo a norma NBR 8419, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984), o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma técnica de disposição no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método consiste na utilização de princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível. Ao final de cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores, os resíduos são cobertos com uma camada de terra.

Nota-se, porém, que embora os aterros sanitários representem uma forma de disposição tecnicamente aceita ainda no Brasil adequada para tais resíduos, ainda não é rara a utilização, por muitos municípios brasileiros, de aterros controlados e até mesmo lixões como forma de destinação final . (ALVES, 2008).

É importante ressaltar que a adoção exclusiva desta alternativa como forma de destinação é bastante onerosa para o meio ambiente, visto que há produção de lixiviado, cuja tratabilidade é ainda bastante discutida, havendo órgãos ambientais nacionais que proíbem seu lançamento em corpos hídricos, mesmo após a efetivação de algum sistema de tratamento, como o caso do IAP. (GONÇALVES,

2007).

Incineração

A incineração é uma das tecnologias térmicas existentes para tratamento de resíduos. Consiste na oxidação controlada de materiais em alta temperatura (geralmente acima de 900 °C), em mistura com uma quantidade apropriada de ar e durante um tempo predeterminado. No caso da incineração do resíduo sólido urbano, compostos orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente dióxido de carbono gasoso e vapor d'água e a sólidos inorgânicos. (JARDIM, 1995).

De acordo com Organização Pan-americana da Saúde (2005), esta técnica não é muito utilizada tendo em vista seus elevados custos e a natureza dos resíduos sólidos produzidos na América Latina e Caribe, caracterizados pelo alto conteúdo de matéria orgânica, o que torna a incineração um método pouco eficiente. As principais vantagens deste método são: a redução do volume e massa dos resíduos a serem dispostos nos aterros e a possibilidade de recuperar energia para gerar vapor ou eletricidade. Por outro lado, as emissões gasosas, dependendo da temperatura de trabalho, podem conter contaminantes e a operação, bem como a manutenção de equipamentos, pode ser complexa. Outro fator a ser considerado é que, devido à alta umidade dos resíduos gerados na América Latina e Caribe e ao seu baixo poder calorífico, a incineração torna-se dificultada.

Pirólise

Segundo Lima (2004), a pirólise pode ser definida como um processo de decomposição química por calor na ausência de oxigênio.

Diferindo do processo de combustão realizado em condições exotérmicas, a pirólise é um processo de reação endotérmica. Reduzindo as perdas de calor é possível obter o fracionamento das substâncias sólidas presentes no lixo. O fracionamento das substâncias sólidas ocorre gradualmente, à medida que estas passam pelas diversas zonas de calor que constituem o reator pirolítico, onde ocorrem a secagem, a volatilização, a oxidação e a fusão dos resíduos sólidos.

Os resíduos perdem inicialmente a umidade pela secagem e, à medida que entram na zona pirolítica (volatilização, oxidação e fusão), vão sendo decompostos em substâncias distintas: gases, líquidos e sólidos.

A temperatura no reator varia de 300 a 1.600°C. A variação da temperatura e o monitoramento do ar necessário à combustão são de fundamental importância no processo, pois permitem que determinadas substâncias sejam extraídas do lixo.

Um fator importante para que este processo continue a ser pesquisado é o fato de o balanço energético ser sempre positivo, pois produz mais energia do que consome.

No entanto, alguns inconvenientes têm limitado o emprego da pirólise, em larga escala: teor de sólidos voláteis presentes no lixo, poder calorífico superior e umidade. A variação estatística destes fatores dificulta o controle do processo, reduzindo sua eficiência.

A destinação final de resíduos sólidos urbanos no Brasil apresenta-se como um dos maiores desafios ambientais a serem solucionados pela grande maioria dos municípios brasileiros. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, realizada pelo IBGE, o país mostra uma tendência de melhora da situação de destinação final do resíduo sólido coletado no país, nos últimos anos. Segundo a PNSB, 69% de todo o resíduo coletado no Brasil tem um destino final adequado, haja vistas que das 125.281 toneladas coletadas diariamente, 47,1% são destinados a aterros sanitários, 22,3% a aterros controlados e apenas 30,5% a lixões.

Porém, em número de municípios, o resultado não é tão favorável visto que do total destes apenas 32,2% utilizam aterros adequados (13,8% sanitários e 18,4% controlados), enquanto a grande maioria, 63,6%, ainda se vale de lixões para a deposição final de seus resíduos. A Figura 1 apresenta a evolução da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, no período compreendido entre os anos de 1991 e 2000.

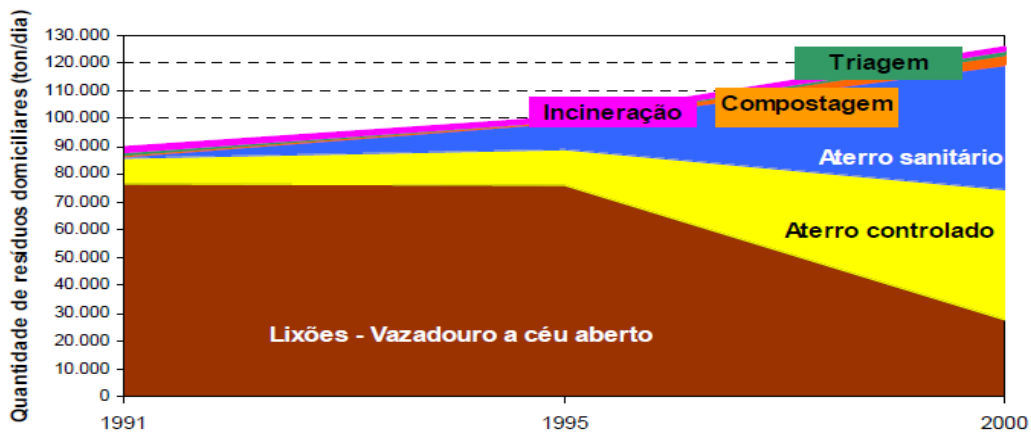


Figura 1 - Evolução da destinação dos resíduos no Brasil, no período compreendido entre os anos de 1991 e 2000

Fonte: Jucá (2003)

Nota-se que mesmo tendo progredido bastante em relação ao censo anterior (1989), o Brasil ainda enfrenta sérios problemas de tratamento e destinação de resíduos sólidos.

Dados recentes divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2007) mostram que dos 220 municípios brasileiros avaliados, 29,6% ainda se valem de lixões para dispor seus resíduos sólidos. A Figura 2 revela, em termos percentuais, as modalidades de destinação final de RSU adotadas por tais localidades.

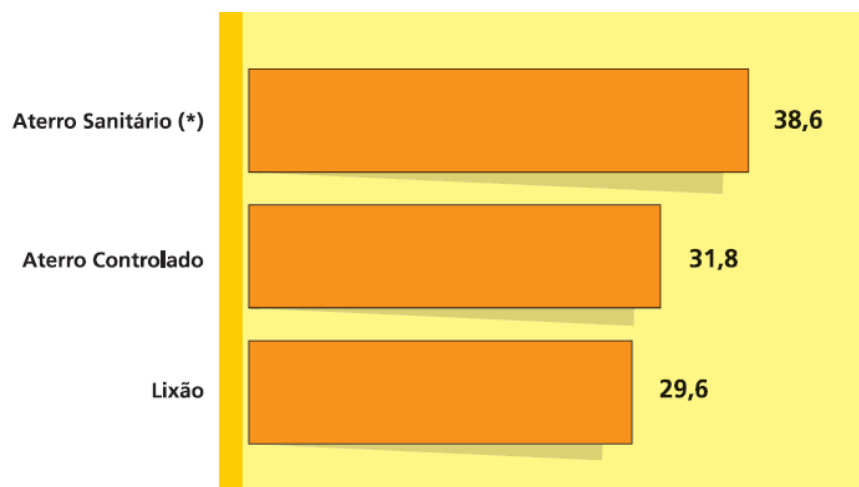


Figura 2 - Classificação percentual das diversas modalidades de destinação final de RSU dos 220 municípios avaliados pela ABRELPE em 2007

* 7,1% destes municípios possuem adicionalmente um aterro de inertes.

3.2 COLETA SELETIVA E RECICLAGEM

De acordo com o IBAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL, 2001), denomina-se reciclagem a separação e beneficiamento industrial de materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos, tais como papéis, plásticos, vidros e metais. Esses materiais são novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo. A reciclagem traz benefícios, tais como: diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada (consequentemente aumenta a vida útil dos aterros sanitários); preservação de recursos naturais; economia de energia na produção de novos produtos; diminuição dos impactos ambientais; novos negócios e geração de empregos diretos e indiretos através da criação de indústrias recicladoras. A reciclagem não pode ser vista como a principal solução para a questão dos resíduos sólidos urbanos, sendo uma atividade econômica que deve ser encarada como um elemento dentro de um conjunto de soluções.

No entanto, deve-se considerar que a conduta mais adequada seria tornar a reciclagem efetivamente um ciclo fechado, ou seja, materialmente estanque. No momento, consome-se energia fóssil para o transporte dos produtos separados para serem reciclados e também água, eletricidade e outros insumos no processo da reciclagem propriamente dita. Correto seria que os produtos fossem concebidos para serem integralmente reciclados. (GONÇALVES, 2007).

Já a coleta seletiva pode ser definida como o recolhimento diferenciado de materiais recicláveis, já separados nas fontes geradoras, por catadores, sucateiros, entidades, prefeituras, entre outros, normalmente em horários predeterminados, alternados com a coleta convencional. (CAMPOS; BRAGA; CARVALHO, 2002).

Porém, nos dias atuais, em meio a tantas propagandas veiculadas pela mídia impressa, escrita e oral, nota-se que ainda existe certa confusão em torno dos conceitos de reciclagem e coleta seletiva. É comum as pessoas entenderem a coleta como sinônimo de separação de materiais recicláveis ou, ainda, como reciclagem. Muitas pessoas dizem “fazer coleta seletiva” em casa, mas queixam-se de que seu bairro ou sua cidade não tem “reciclagem”. Outros garantem que “reciclam” seu lixo, mas, infelizmente, “o lixeiro mistura tudo”. (GRIMBERG; BLAETH, 1998).

Assim, embora as atividades de separar, coletar e reciclar estejam muito associadas, elas não são necessariamente dependentes. A reciclagem de materiais pode ocorrer sem a separação prévia de resíduos nas fontes geradoras, pois pode ser a partir de resíduos triados por catadores num lixão ou numa central de triagem e compostagem, exatamente como é coletado pelo serviço de limpeza urbana. Nesses casos, porém, a qualidade e os produtos do processo são muito inferiores, devido à sujeira e contaminação, valem muito menos no mercado de recicláveis que aqueles coletados seletivamente. (GRIMBERG; BLAUTH, 1998).

No Brasil, a coleta seletiva é geralmente praticada das seguintes formas:

Coleta porta a porta

O sistema porta a porta é o mais utilizado nos atuais programas de coleta seletiva e consiste na separação dos materiais recicláveis feita pela população, para posterior coleta feita por veículos específicos. A coleta porta a porta é caracterizada, portanto, pelo recolhimento dos recicláveis diretamente da fonte geradora. (RESOL, 2004).

A coleta geralmente é realizada em dias alternados aos da coleta convencional, e atrai a presença de catadores autônomos que abrem os sacos em busca de materiais recicláveis em horário prévio à coleta, o que representa um investimento alto em transporte, pois exige maior número de veículos com pequena escala de materiais recicláveis coletados. (LIMA, 2006).

Dentre os aspectos negativos destacam-se: aumento das despesas com transporte em função da necessidade do aumento do número de caminhões e alto valor unitário, quando comparada com a coleta convencional. (MONTEIRO, 2001).

Segundo Grimberg e Blauth (1998), os principais aspectos positivos da coleta seletiva porta a porta são: facilitar a separação dos materiais nas fontes geradoras; dispensar o deslocamento do cidadão até um Posto de Entrega Voluntária, o que influi positivamente quanto à participação na coleta seletiva; permitir mensurar a participação da população no programa pela facilidade de se identificar os domicílios e estabelecimentos participantes; agilizar o processamento nas unidades de triagem, quando disponíveis.

Coleta seletiva em postos de entrega voluntária (PEVs)

Consiste na instalação de contêineres ou recipientes em locais públicos para que a população, voluntariamente, possa fazer o descarte dos materiais separados em suas residências. As vantagens desse sistema são: menor custo de transporte, se comparado com o custo da coleta porta a porta, e a melhor separação do material. As desvantagens são: o vandalismo e a depredação para o roubo do material reciclável que obrigam os PEVs a serem localizados em locais seguros, que podem, em determinados casos, não ser os locais mais adequados às operações de coleta. (ROVIRIEGO, 2005).

De acordo com Lima (2006), nesse sistema é difícil identificar a população que participa do programa, pois a comunicação não ocorre de forma direta.

Coleta seletiva realizada por catadores autônomos

Trata-se de um sistema adotado por pessoas que trabalham individualmente (autônomos). Nesse sistema os trabalhadores autônomos percorrem as vias públicas, incluindo residências, comércios e outros pontos geradores, recolhendo os resíduos recicláveis, geralmente com o auxílio de carrinhos de tração manual.

Bringhenti (2004) aponta como principais vantagens dessa forma de coleta: a promoção da inclusão social; geração de emprego e renda e redução do custo de coleta, transporte, triagem e destinação final dos resíduos sólidos urbanos para a administração municipal. Dentre as desvantagens, pode-se citar: o elevado risco de acidentes, principalmente quando os trabalhadores atuam sem equipamentos de sinalização de trânsito e de proteção individual, o direcionamento da coleta apenas para materiais com maior valor de mercado e em alguns casos a exploração da mão-de-obra do trabalhador e/ou o trabalho infantil.

Coleta seletiva com destinação do resíduo coletado a associações ou cooperativas de classificadores

O processo de coleta de resíduos segregados seletivamente pela população é, geralmente, operado pelo poder público, e o resíduo coletado é entregue a associações/cooperativas de classificadores que selecionam os resíduos por grupo

e tipo e os comercializam aos sucateiros/aparistas ou diretamente às indústrias reprocessadoras. Normalmente a receita de comercialização é rateada entre os associados/cooperativados, porém a despesa com a coleta é sempre do poder público.

Algumas das vantagens desse sistema apontadas por Bringhenti (2004) são: contribuição positiva para a manutenção da limpeza urbana e da saúde pública, possibilidade de mensuração da participação da população e promoção da inclusão social. Dentre as desvantagens tem-se: exigência de maior empenho do setor público principalmente na fase inicial de implantação do programa, necessidade de maior controle contábil e administrativo e exigência de capacitação para os integrantes da associação ou cooperativa.

Coleta seletiva com postos de troca

Operada geralmente pela iniciativa privada, este modelo baseia-se na troca de resíduos recicláveis por algo que tenha valor monetário correspondente ao valor comercial do resíduo que está sendo trocado.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2007), aproximadamente 45% dos municípios brasileiros disponibilizam à população algum tipo de serviço de coleta seletiva. A Tabela 4 apresenta as quantidades de municípios por macrorregião que contam com serviços de coleta seletiva.

Tabela 4 - Quantidade de municípios com serviços de coleta seletiva

Coleta Seletiva	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Total
Sim	207	723	181	1.375	1.015	3.593
Não	242	1070	285	293	173	1.971
Total	449	1793	466	1.668	1.188	5.564
Nível de Confiança – 90%	13%	9%	16%	8%	11%	5%

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2007)

Observa-se que a região Centro-Oeste apresenta, relativamente, a menor adesão aos serviços de coleta seletiva dentre as demais regiões brasileiras,

considerando-se que apenas 38.8% dos municípios pertencentes a esta macrorregião contam com algum programa de separação e coleta de recicláveis. Já no Sul do país observa-se que em mais de 85% dos municípios há serviços de coleta seletiva.

É interessante notar que a adesão a programas de coleta seletiva parece estar intimamente relacionada ao tamanho populacional dos municípios. A Figura 3 apresenta um panorama da situação dos municípios brasileiros, em relação à existência de coleta seletiva, de acordo com as faixas de população.

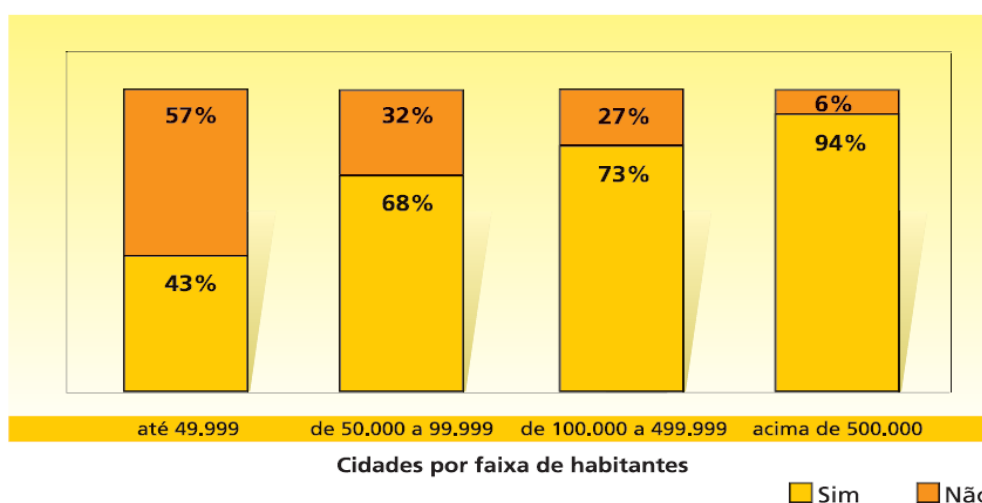


Figura 3 - Classificação percentual da existência de coleta seletiva por grupos de Municípios, classificados por faixas de população.

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2007)

Percebe-se que o percentual de municípios que apresentam coleta seletiva aumenta proporcionalmente à medida que se caminha em direção a faixas de população maiores. Torna-se, portanto, evidente a preocupação com o gerenciamento integrado em municípios de pequeno e médio porte, levando-se em conta que aproximadamente 70% dos municípios brasileiros contam com uma população inferior a 20.000 habitantes.

Nota-se, porém, que embora muitos municípios brasileiros tenham aderido a programas de coleta seletiva há alguns anos, não existem, ainda no país, dados consolidados sobre indicadores operacionais e financeiros de tais sistemas de coleta. Observa-se, portanto, cada vez mais processos sendo operados sem a menor preocupação com os custos reais de operacionalização.

Dentre os indicadores operacionais, um dos mais importantes é a “taxa de desvio de resíduos por programas de coleta seletiva”, que pode ser entendido como a divisão entre a quantidade de materiais recicláveis recuperados por meio da coleta seletiva e a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados, para um determinado município ou localidade.

A Tabela 5 apresenta valores referentes à taxa de desvio de resíduos por programas de coleta seletiva, levantados em estudos realizados por Ruberg & Philippi em 1999, pela Prefeitura Municipal de Vitória no ano de 2002 e por LIMA (2006).

Tabela 5 - Taxa de desvio de material reciclável através de Programas de Coleta Seletiva

MUNICÍPIO	RESÍDUO COLETADO (t/dia)	RESÍDUOS COLETADOS SELETIVAMENTE (t/dia)	TAXA DE DESVIO (%)
Embu	97,8	3,0	3,07
Guarulhos	667,4	1,0	0,15
São José dos Campos	277,6	9,0	3,24
Goiânia	700,0	5,0	0,71
Campinas	610,9	22,3	3,65
Santos	436,8	4,0	0,92
São Paulo (1992)	7.87,0	10,0	0,13
São Paulo (1996)	10.000,0	4,0	0,04
Vitória (2002)	269,7	1,6	0,59
Londrina (2005)	310,3	75,0	24,17%

Observa-se, portanto, que em todos os municípios avaliados, com exceção do município de Londrina, os valores da taxa de desvio apresentados encontraram-se inferiores a 4%, confirmando que a coleta seletiva de materiais recicláveis, como tem sido realizada nos últimos anos, por si só não tem se mostrado suficiente no desvio e promoção da reintegração ambiental.

3.3 CENTRAIS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

As centrais de triagem e compostagem de acordo com sua concepção original são os locais cujos resíduos provenientes da coleta são triados e

selecionados por tipologia. Muitas vezes, erroneamente, são utilizados os termos “usinas de compostagem” e “usinas de reciclagem de lixo”, porém, nota-se que nestes locais não há fabricação de qualquer tipo de substância ou produto e sim a transformação de matéria orgânica em composto. (LELIS; PEREIRA NETO, 2001b).

No Brasil, há registro de centrais de triagem em São Paulo e Curitiba já na década de 1930 (EIGENHEER, 1999). No entanto, somente a partir da década de 1960, vários países do mundo, inclusive o Brasil, lançaram programas mais amplos visando à reciclagem.

Bley Júnior (1993) relata que as centrais de triagem e compostagem, em sua maioria, começaram a ser instaladas no Brasil na segunda metade da década de 1980, sendo esse processo intensificado nos anos de 1986 e 1987, quando o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) criou linhas de crédito às prefeituras municipais para aquisição dos equipamentos.

A história destas usinas no Brasil não é um capítulo homogêneo, pois algumas foram bem-sucedidas e estão em operação até hoje, outras tiveram seu funcionamento modificado e ainda continuam operacionais, outras foram desativadas. Não há na literatura a indicação de um número exato de usinas operantes no país, principalmente pela falta de estudos e pesquisas nessa área e a inexistência de um órgão centralizador de dados, dificultando o acesso a esse tipo de informação. Alguns autores sugerem cerca de 70 a 75 usinas, um número quase inexpressivo pelo tamanho do país. (FERNANDES; HOSSAKA; SILVA, 2007).

Há várias tecnologias de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos patenteadas nos diversos países, algumas delas utilizam sistemas fechados, outras se valem de sistemas abertos. No Brasil se difundiu bastante a compostagem chamada de baixo custo, caracterizada pelo emprego de unidades dotadas de tecnologias simplificadas e emprego intensivo de mão-de-obra não qualificada, em sua grande maioria.

De acordo com Galvão Júnior (1994 apud Gonçalves, 2007), tais centrais de triagem e compostagem são lugares onde a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é separada da fração inorgânica. Assim, observa-se que em uma central de triagem e compostagem, há a separação dos materiais potencialmente recicláveis, a exemplo dos papéis, papelão, plásticos, vidros e metais, os quais posteriormente

são comercializados ou doados, sendo os resíduos orgânicos encaminhados para o processo de compostagem, e os rejeitos encaminhados para os locais de disposição final. (LELIS; PEREIRA NETO, 2001b). O fluxograma do processo encontra-se esquematizado na Figura 4.

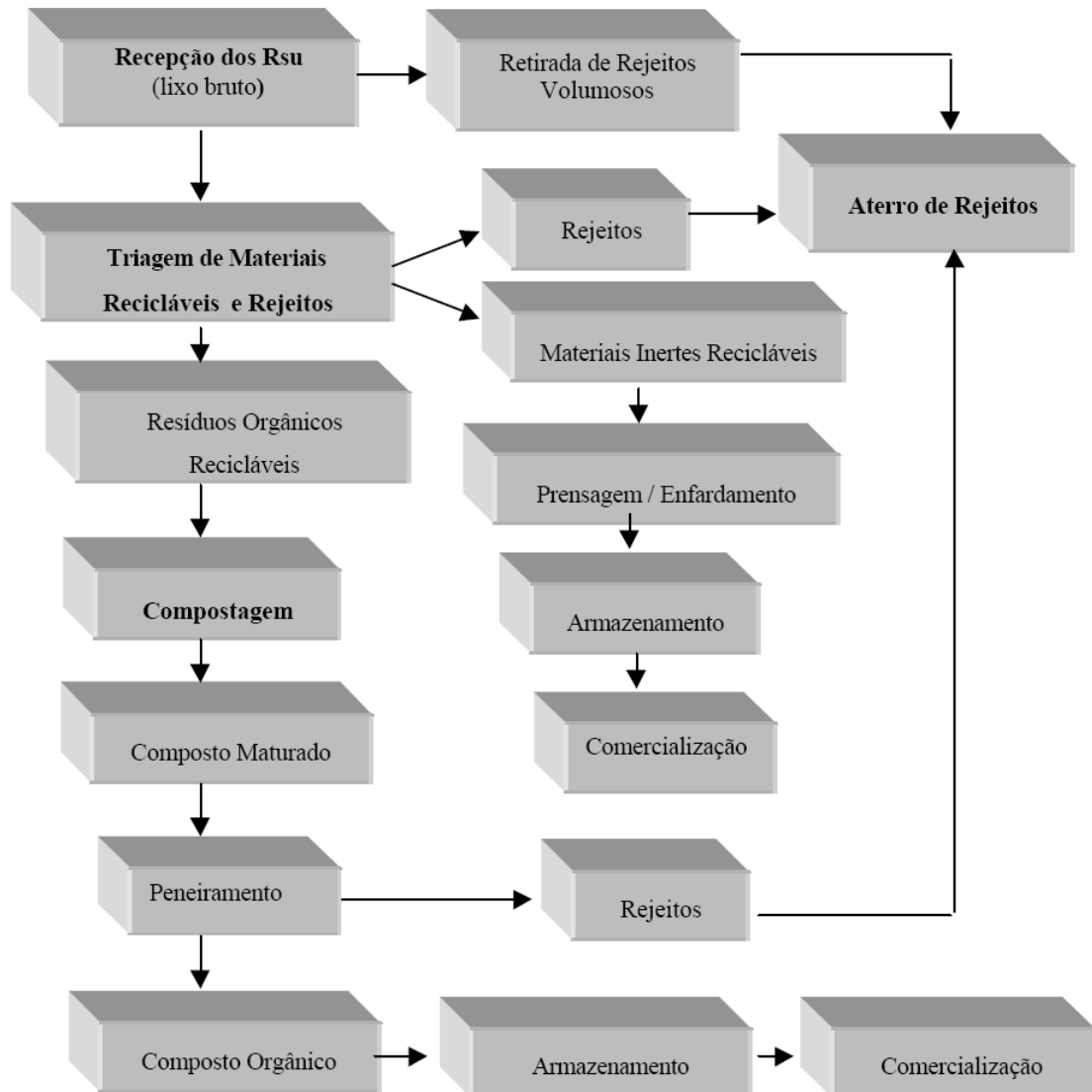


Figura 4 - Fluxograma "Padrão" de operação de uma Unidade de Triagem e Compostagem de RSU
 Fonte: Lelis e Pereira Neto (2001)

A central de triagem e compostagem deve ser entendida, então, como uma etapa intermediária em um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos, sendo seu maior benefício, do ponto de vista ambiental, a diminuição ou eliminação da produção de chorume dos aterros sanitários, os quais são de difícil tratamento e

responsáveis, em grande parte, pelo impacto causado pelos resíduos sólidos domésticos ao meio ambiente. (FERNANDES; HOSSAKA; SILVA, 2007).

Porém, tais centrais, na grande maioria das vezes, constituem-se apenas em um conjunto de máquinas (esteira rolante, eletroímãs, peneiras, etc.) e funcionários que têm como objetivo a separação de alguns objetos recicláveis da massa principal de lixo, que será transformada em composto, haja vista que, muitas vezes, a instalação de tais unidades não contribui para uma reflexão em torno do desperdício e da geração de resíduos. (GRIMBERG; BLAETH, 1998).

Além da falta de conscientização em torno da geração de resíduos, outro problema decorrente da implantação de centrais de triagem e compostagem é a baixa eficiência operacional das mesmas, sobretudo da atividade de triagem realizada em esteira.

Em estudo realizado por Fernandes, Hossaka e Silva (2007), em uma central de triagem e compostagem implantada no município de Arapongas, verificou-se que o processo de triagem realizado no local apresentava baixa eficiência, resultando, assim, em elevado teor de inertes nas leiras de compostagem (22 a 47% de inertes). Contudo, notou-se que mesmo sem grande rigor no controle do processo de compostagem, a qualidade final do composto obtido foi boa, visto que o mesmo apresentou alto teor de sólidos fixos (bom grau de estabilização), relação C/N entre 10 e 11 e baixo teor de metais pesados.

Observa-se, então, que mesmo apresentando problemas operacionais, as centrais de triagem e compostagem implantadas no país, mostram-se como alternativa viável para o processamento dos resíduos sólidos gerados à medida que, na grande maioria das vezes, produzem um composto orgânico de qualidade que é utilizado como condicionador do solo e contribuem para a maximização da vida útil dos aterros sanitários.

3.4 COMPOSTAGEM

Kiehl (1985) afirma que desde os mais recuados tempos vem o agricultor utilizando-se dos restos orgânicos, tanto vegetais como animais, como um material para ser incorporado ao solo com o intuito de favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola. O conhecimento desse fato tem levado o

agricultor a utilizar, das mais variadas maneiras, os restos orgânicos como fertilizadores de suas terras.

Porém, embora a compostagem seja praticada desde a História Antiga, foi somente a partir de 1920, que o fitopatologista inglês sir Albert Howard desenvolveu em Indore, na Índia, uma técnica para fabricar o fertilizante que os nativos daquele país obtinham de maneira empírica. (KIEHL, 1985). A partir dessa época, foram sendo desenvolvidos diversos métodos, sendo alguns patenteados. O objetivo dessa tecnologia era mecanizar o processo o máximo possível para reduzir a mão de obra empregada que, no processo Indore, era muito grande e onerosa. (CAMPOS, 1998).

A compostagem é, pois, uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica. (KIEHL, 1985). De acordo com Fernandes e Silva (1999), a compostagem pode ser definida como uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO_2 , água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Portanto, é um processo biológico, e para que se realize de maneira satisfatória, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos sejam respeitados, permitindo que os microrganismos encontrem condições favoráveis para transformarem a matéria orgânica, como pode ser visto na Figura 5.

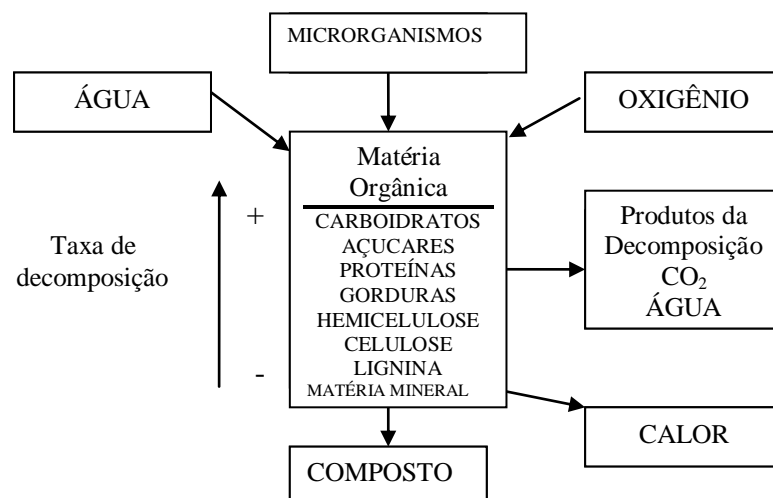


Figura 5 - Processo de compostagem
Fonte: modificado Epstein (1997)

Segundo Kiehl (1998), as fases pelas quais a matéria-prima passa até ser decomposta totalmente são resumidas em seguida.

A primeira fase, também chamada de fitotóxica, é marcada pelo início da decomposição da matéria orgânica que se caracteriza pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂. Os materiais crus possuem reação ácida, assim como dejeções sólidas e líquidas dos animais e humanas e, portanto, no início da decomposição biológica desenvolvem-se traços de diversos ácidos minerais e ácidos orgânicos, principalmente o ácido acético e outras toxinas danosas às plantas, componentes que dão ao material, propriedades de fitotoxicidade. Fernandes e Silva (1999) afirmam que nesta etapa há a proliferação de diversos microrganismos mesófilos (15 - 43°C) que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. E, de acordo com Kiehl (1985), nesta fase mesófila predominam bactérias e fungos produtores de ácidos.

Na segunda fase, também chamada de semicura ou bioestabilização, há a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos (40 - 85°C) proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos. (FERNANDES; SILVA, 1999). A população dominante nesta fase é de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. (KIEHL, 1985). Ao completar esta fase o composto deixa de ser danoso às plantas, porém, ainda não apresenta as características e propriedades ideais.

E, finalmente, a terceira fase, denominada de maturação ou humificação, quando o substrato orgânico foi em sua maior parte transformado. A população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foi transformada e o composto apresenta odor agradável (PROSAB, 1999). Corresponde ao estágio final da degradação da matéria orgânica, quando o composto propriamente dito adquire as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas desejáveis. (KIEHL, 1998).

A Figura 6 apresenta as alterações de temperatura sofridas no decorrer do processo de compostagem.

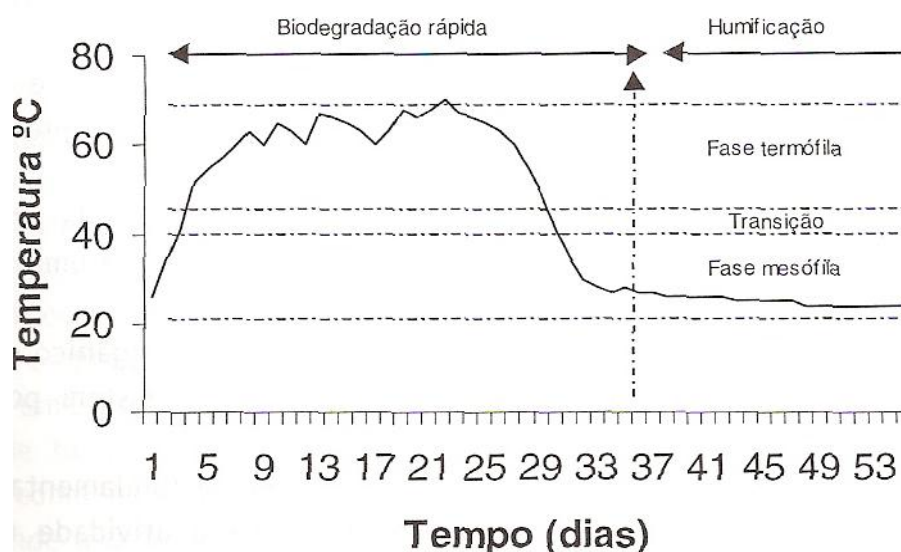


Figura 6 - Exemplo genérico da evolução da temperatura de uma leira em compostagem
 Fonte: Fernandes e Silva (1999)

É válido ressaltar que, durante a fase de maturação, as necessidades do processo de compostagem são diferentes das necessidades da fase termófila, pois é baixa a atividade microbológica, reduzindo-se a necessidade de aeração e havendo predominância de reações de polimerização de moléculas de ácidos húmicos e fúlvicos. (GONÇALVES, 2007).

Nota-se que, ao final do processo de degradação da matéria orgânica há a formação de um produto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Todavia, não se pode considerar que o composto produzido é um adubo ou fertilizante, pois não possui a quantidade de macronutrientes exigida pelas especificações agrícolas. O composto geralmente contém uma quantidade total de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) entre 1,5 e 2,5% do peso, enquanto um adubo deve ter no mínimo 24%, ou seja, uma diferença de doze vezes. (TENÓRIO; ESPINOSA, 2004).

Sob o ponto de vista industrial e/ou comercial, Schalch (1995, apud CAMPOS, 1998) cita algumas vantagens deste processo, tais como: possibilidade de recuperação da matéria-prima (reciclagem do lixo); uma boa localização da usina possibilita reduzir o transporte do lixo; como o processo pode ocorrer em ambientes fechados, a ação das condições meteorológicas não influirá no mesmo; os rejeitos

(que sempre vão existir) podem ser dispostos em aterros sanitários sem problemas; a instalação da usina de compostagem não causa problemas de poluição atmosférica ou hídrica; pouca mão de obra especializada é necessária para o funcionamento do processo; comparando-se com a incineração, o processo de compostagem tem custos mais reduzidos.

Segundo Lelis e Pereira Neto (2001b), a viabilidade de Centrais de Triagem e compostagem pode ser dada através dos seguintes motivos:

- A produção, na maioria dos municípios brasileiros, de um resíduo urbano que apresenta grande potencial para reciclagem, tanto de materiais inertes quanto de resíduos orgânicos;
- O elevado teor de matéria orgânica presente na massa de RSU, o que reforça a necessidade de adoção de sistemas de tratamento que contemplem essa fração;
- A real possibilidade de reintrodução, no processo, dos materiais recicláveis, proporcionando melhorias na economia;
- A geração de empregos diretos (no sistema de tratamento) e indiretos, em face, principalmente da comercialização dos materiais recicláveis e do uso do composto e;
- Pelo fato de tratar-se de uma concepção de projeto que estimula a participação da sociedade, no exercício de sua cidadania na busca de uma solução para o problema da disposição inadequada do lixo.

Como desvantagem, Schalch (1995 apud CAMPOS, 1998) cita: é um método de disposição parcial (aproximadamente 50% dos resíduos não são aproveitados para a produção do composto), sendo necessárias instalações complementares (incinerador, aterro sanitário); a importância de que exista mercado para o composto é crucial. Flutuações excessivas no preço do composto podem comprometer o andamento das usinas, sendo então condição principal para este método a garantia de existência de consumidores para o material produzido.

Com efeito, a compostagem é um processo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos com grande flexibilidade operacional, combinando-se baixo custo e alta eficiência num só sistema. (RUSSO, 2003).

De acordo com Gray e Sherman (1969, apud EPSTEIN, 1997), muitos fatores estão envolvidos, quase todos inter-relacionados, impedindo, assim, que este

processo ecológico complexo seja submetido a uma análise científica rigorosa por muitos anos. Alguns destes fatores desempenham um maior papel no processo enquanto outros podem influenciar na sua direção ou extensão.

3.4.1 Fatores que Influenciam o Processo de Compostagem

Dentre os principais fatores que influenciam a compostagem podem-se citar: natureza do substrato, temperatura, aeração, umidade, relação C/N, granulometria, pH. A descrição de cada um deles será realizada a seguir.

Natureza do substrato

Por se tratar da única fonte de alimentação aos microrganismos, a natureza do substrato é o principal fator que rege o processo de compostagem. (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008).

Segundo Pereira Neto (1996), os microrganismos necessitam da presença de macro e micronutrientes para o exercício de suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, dois são de extrema importância: o carbono e o nitrogênio, cujas concentração e disponibilidade biológica afetam o desenvolvimento do processo.

O carbono é fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos, porém, em excesso, leva a um aumento do período de compostagem. Já a falta de nitrogênio inibe a reprodução celular dos microrganismos, enquanto seu excesso leva à volatilização em forma de amônia.

Seguindo uma hierarquia básica, os compostos de carbono mais simples, tais como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, são atacados na fase inicial de decomposição, gerando energia e sendo transformados em polímeros maiores e mais complexos. Na sequência estão as hemiceluloses, celulose e lignina. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos e é o último material a ser degradado na compostagem.

Em se tratando de resíduos sólidos urbanos, o material orgânico mais adequado para o processo de compostagem e comumente encontrado são restos de frutas, verduras, de processamento de alimentos em geral e restos da atividade de

jardinagem. (BARREIRA, 2005). No entanto, devido à falta de separação adequada na fonte geradora, tais resíduos acabam sendo misturados e muitas vezes contaminados por materiais perigosos, tais como pilhas, baterias, tintas, entre outros.

Campos & Blundi (1999), ao monitorarem leiras de compostagem de resíduos sólidos domiciliares por um período de 127 dias, registraram as variações nas concentrações de Carbono Total e Nitrogênio Total ao longo do processo, como mostra a Figura 7.

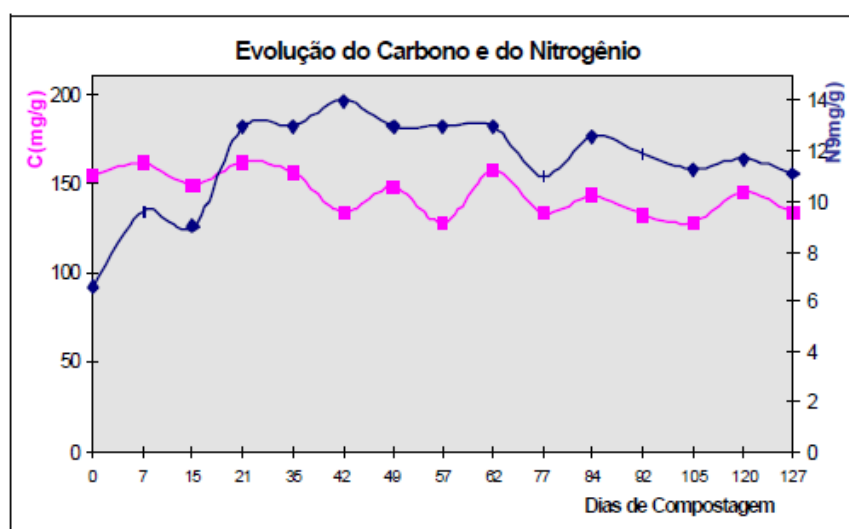
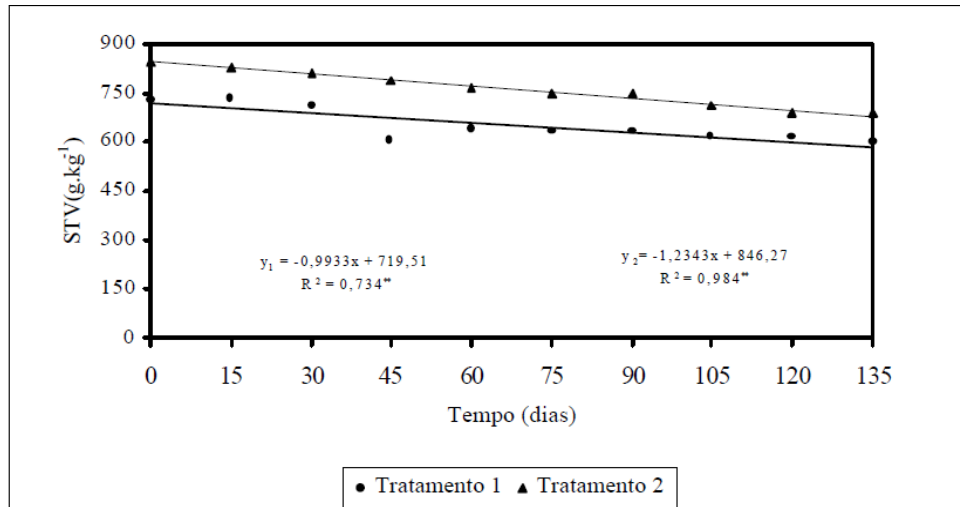


Figura 7- Evolução do Carbono Total e Nitrogênio Total ao Longo do processo de compostagem
Fonte: Campos e Blundi (1999)

Observa-se que à medida que se avança no processo de compostagem há um decréscimo do teor de carbono, enquanto o nitrogênio tende a um aumento, porém, a partir do 84º dia, nota-se que há uma estabilização de ambos os parâmetros, indicando o início da fase de estabilização do composto.

Outro parâmetro utilizado para a avaliação da degradação da matéria orgânica é a quantificação dos sólidos totais voláteis. De acordo com Pereira Neto (1996), resíduos orgânicos apresentam em média uma concentração de $800,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de sólidos totais voláteis no início do processo de compostagem. Em estudo realizado por Muniz (2001) em leiras constituídas por restos de frutas, palhas de milho e feijão (Tratamento 1) e apenas palhas de milho e feijão (Tratamento 2), observou-se que houve uma redução de sólidos totais voláteis ao longo do experimento, como mostra a Figura 8.



** Significante ao nível de 1% de probabilidade

Figura 8 - Evolução do teor de sólidos totais voláteis ao longo do processo de compostagem

Fonte: Muniz (2001)

Segundo os autores, a redução de sólidos totais voláteis obtidas no processo foram de 22,13 e 23,24% respectivamente para os tratamentos 1 e 2.

Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores que controlam o processo de compostagem.

Os microrganismos possuem metabolismo exotérmico, ou seja, realizam a decomposição da matéria orgânica gerando calor e elevando a temperatura da leira, devido às propriedades isolantes da massa em compostagem (KIEHL, 1998). Sendo assim, a produção de calor de um material é indicativo da atividade biológica na leira de compostagem e, por isso, indiretamente do seu grau de decomposição (HAUG, 1993).

De acordo com Epstein (1997) as variações de temperatura são responsáveis pela alternância das diferentes populações bacterianas presentes na massa de resíduos.

As faixas de temperatura que definem a predominância de determinados grupos de organismos podem ser classificadas em: criófilas (temperatura ambiente),

mesófilas (até 55°C) e termófilas (acima de 55°C). Temperaturas acima de 70°C não são aconselháveis, visto que nesta faixa a atividade dos microrganismos torna-se reduzida, resultando na paralisação do processo e, conseqüentemente, no declínio da temperatura. (KIEHL, 1998).

A temperatura é também um fator muito importante quando se tem o intuito de eliminar patógenos. Elevadas temperaturas durante o processo de compostagem levam à destruição de sementes de ervas daninhas, microrganismos patogênicos, larvas de insetos e vermes. (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008). A Tabela 6 mostra a temperatura e o intervalo de tempo, necessários para a destruição dos tipos mais comuns de microrganismos patogênicos e parasitas.

Tabela 6 - Condições de inativação de parasitas e microrganismos patogênicos na compostagem

Microrganismo/Parasita	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
<i>Necator Americanus</i>	45	50
<i>Entamoeba histolística</i>	45	3
<i>Entamoeba histolística (cistos)</i>	55	
<i>Micrococcus pyogenes</i>	50	10
<i>Ascaris lumbricóides*</i>	50 a 70	60m a 43h
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54	10
<i>Taenia saginata</i>	55	3
<i>Corynebacterium Diphtherine</i>	55	50
<i>Salmonella SP.</i>	55	60
<i>Salmonella Typhosa</i>	60	30
<i>Shigella Sp.</i>	55	60
<i>Escherichia Coli</i>	55	60
<i>E. Coli (cistos)</i>	60	20
<i>Trichinella spiralis (larvas)</i>	55	3
<i>Trichinella spiralis (cistos)</i>	60	1
<i>Bricella Abortus</i>	55	30
<i>Micobacterium Tuberculosis</i>	67	20

* diferentes valores encontrados por diversos autores.

Fonte: Lelis e Pereira Neto (2001a)

Embora a maioria dos parâmetros de controle da contaminação biológica na compostagem baseie-se em valores, tais como os tabelados acima, Lelis e Pereira Neto (2001a), ao estudarem a contaminação biológica na compostagem de resíduos sólidos domiciliares, comprovaram ser necessário, em condições reais de trabalho, no mínimo vinte dias sob temperatura termófila para se alcançar uma inativação satisfatória dos patógenos, seguindo-se, obrigatoriamente, a fase de maturação do processo onde ocorre, inclusive, a ação natural de antibióticos na eliminação de eventuais patógenos remanescentes.

Diante da observação desse fenômeno, pode-se concluir que o controle da temperatura é fator de extrema importância para a maximização da decomposição, eliminação de patógenos prejudiciais à saúde humana e para todo o processo de compostagem (RAMEH ,1981 apud BARREIRA, 2005).

É interessante notar que a temperatura nas leiras, durante o processo de compostagem, não é uniforme, como pode ser observado através da Figura 9, proposta por Russo (2003).



Figura 9 – Perfil típico de temperatura em uma leira
Fonte: Russo (2003)

Assim, a Figura 9 representa um perfil típico de temperatura em leiras de compostagem submetidas a processos aeróbicos, nas quais, de um modo geral, observa-se que as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior de forma decrescente.

Aeração

O ar contido nos interstícios da massa de material em compostagem é importante para o metabolismo e tipo de microrganismos envolvidos no processo. De acordo com Haug (1993) o oxigênio é necessário aos microrganismos no processo de obtenção de energia resultante da oxigenação do carbono orgânico. Assim, nota-se que ao longo do processo de compostagem ocorre o aumento gradual de dióxido de carbono e consequente diminuição do oxigênio. (RUSSO, 2003).

O arejamento da massa em compostagem deve ser constante, para que não se alterem as atividades metabólicas dos microrganismos e o processo de degradação da matéria orgânica seja mais rápido por via da oxigenação de moléculas orgânicas presentes na massa. Para Pereira Neto (1996) o arejamento é

o fator mais importante para o controle de diversos parâmetros da compostagem, haja vista que o mesmo proporciona, além do suprimento de oxigênio aos microrganismos, o controle da temperatura e umidade, e conseqüente remoção de odores.

Umidade

Sendo a compostagem um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos, os quais não vivem na ausência de umidade. (KIEHL, 1985).

Do ponto de vista teórico, o teor de umidade ideal para propiciar a degradação dos resíduos orgânicos é 100%. Entretanto, devido à necessidade de se obter uma configuração geométrica definida, bem como de manter uma porosidade adequada à passagem livre do ar para oxigenação do material, a umidade fica restringida a um valor máximo, situado em torno de 60%. (PEREIRA NETO, 1996).

Assim, elevados teores de umidade, ou seja, maiores que 65%, fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose. Se o teor de umidade de uma mistura é inferior a 40%, a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação (FERNANES; SILVA, 1999).

Segundo Silva (2000, apud BRITO, 2008), a umidade está diretamente relacionada com o tamanho das partículas e com o tamanho e formato das leiras. Quanto menores e mais finas forem as partículas, maior será a capacidade de retenção da umidade. Com relação ao tamanho das leiras pode-se concluir que as pequenas tendem a perder mais umidade. À medida que a matéria orgânica vai se humificando, sua capacidade de reter umidade também aumenta.

O excesso de umidade em uma leira de compostagem pode ser facilmente percebido pela exalação de odores característicos de condições anaeróbias, como, por exemplo, pela formação de gás sulfídrico (H₂S). (KIEHL, 1998).

O revolvimento, eventualmente, pode ser utilizado com o intuito de se controlar o excesso de umidade. Segundo Kiehl (1985), há uma regra para se determinar quando e quantas vezes se deve revolver o composto para esta

finalidade. Assim, quando o conteúdo de umidade estiver acima do limite máximo recomendado, deve-se iniciar o revolvimento no 3º dia, repetindo até o 10º ou 12º dia conforme o seguinte esquema:

- umidade entre 60 e 70%, revolver a cada dois dias por 4 a 5 vezes;
- umidade entre 40 e 60%, revolver a cada três dias por 3 a 4 vezes;
- umidade abaixo de 40%, requer irrigação, a não ser que o processo de compostagem esteja já em sua fase final.

Aragão et al. (1999), ao estudarem a ocorrência de actinomicetos com atividade antifúngica em leiras construídas com resíduos de frutas e verduras, observaram que o teor de umidade das leiras diminuía à medida que se avançava no processo (Figura10).

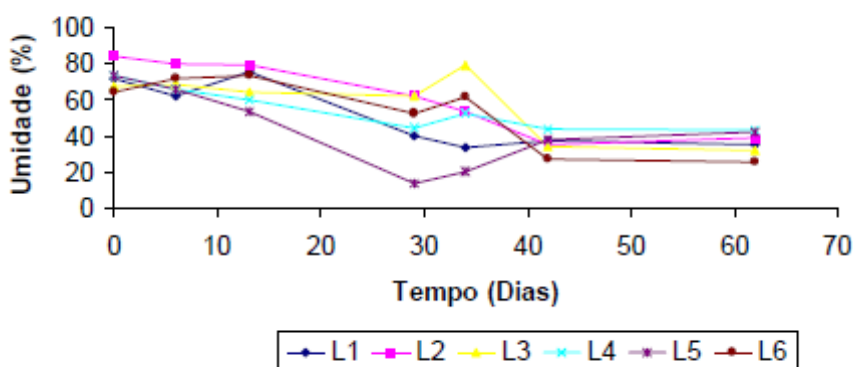


Figura 10 – Evolução da umidade em leiras compostadas
Fonte: Aragão et al. (1999)

Nota-se que no início do processo a umidade das leiras era bastante elevada, na faixa de 60-80%, ao longo de sessenta dias, porém, a umidade reduziu-se a valores próximos a 40%.

Relação C/N

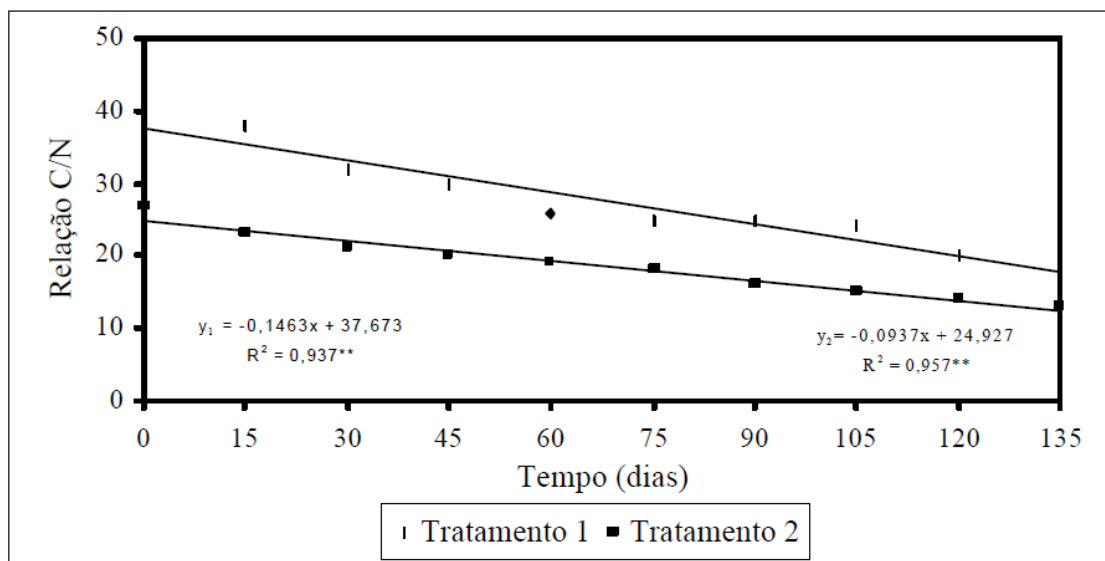
A relação C/N inicial teoricamente mais favorável para a compostagem é de 30/1, porém, na prática, valores entre 26/1 e 35/1 são capazes de favorecer uma degradação rápida e eficiente. Assim, quanto mais elevada a relação, maior será o tempo necessário para se atingir a humificação da matéria orgânica, visto que os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio sempre na relação 30/1, sendo que

das 30 partes de carbono assimilado, 2/3 são eliminados na forma de dióxido de carbono e o restante, ou seja, 1/3 assimilado, é imobilizado e incorporado no protoplasma do microrganismos, vindo posteriormente constituir o húmus. (KIEHL, 1998).

Da mesma forma, relações C/N inferiores a 30/1, ou seja, onde há excesso de nitrogênio, também não são favoráveis ao processo de compostagem, visto que nesses casos há o desprendimento de amônia e conseqüente liberação de odores desagradáveis ao meio.

De acordo com Kiehl (1985), durante a compostagem, a degradação da matéria orgânica leva a uma redução do carbono orgânico. O nitrogênio total -ou seja, o nitrogênio orgânico, nítrico e amoniacal - aumenta em virtude da mineralização, conseqüentemente, ocorre uma diminuição da relação C/N. Assim, ao final do processo de compostagem esta relação chega a valores entre 8/1 e 12/1 (KIEHL, 1998).

Ao avaliar a eficiência de transformação de carbono total, fósforo total e nitrogênio Kjeldahl em leiras constituídas por restos de frutas, palhas de milho e feijão (Tratamento 1) e apenas palhas de milho e feijão (Tratamento 2), Muniz et al. (2001) obtiveram o perfil de variação da relação C/N como mostra a Figura 11.



** Significante ao nível de 1% de probabilidade

Figura 11 - Evolução da relação C/N de resíduos sólidos orgânicos submetidos ao processo de compostagem

Fonte: Muniz et al. (2001)

Nota-se que em ambos os tratamentos houve redução da relação C/N, obtendo-se, assim, ao final do processo valores na faixa entre 19 e 13.

Jimenez e Garcia (1989 apud CAMPOS; BLUNDI, 1999) citam que, devido às diferenças de composto para composto, não se pode dizer, com certeza, que uma relação final C/N a 20 significa não indicar um composto bioestabilizado ou que uma relação C/N de 10 significa um composto bioestabilizado. O autor cita que a melhor maneira de se utilizar o parâmetro C/N é fazer uma relação entre o C/N final e o C/N inicial. Assim, uma relação C/N final / C/N inicial menor que 0.70 para um composto com mais de 120 dias é uma medida de degradação satisfatória.

A Instrução Normativa nº 23/2005 do Ministério da Agricultura estabelece uma relação C/N final no valor máximo de 18.

Granulometria do material

A granulometria pode ser definida como a proporção relativa dos diferentes grupos de tamanho de partículas existentes e separáveis por peneiramento, constituindo-se em um importante fator de influência para o processo de compostagem de resíduos sólidos domiciliares. (KIEHL, 1998).

Devido à relação do tamanho das partículas com a oxigenação da massa em compostagem, tem-se que partículas finas, menores que 2 mm, dificultam o arejamento, enquanto valores acima de 16 mm propiciam o arejamento natural, dispensando revolvimentos constantes. (RUSSO, 2003).

Pereira Neto (1989) recomenda uma granulometria de 20 a 50 mm, em se tratando de compostagem de resíduos sólidos domiciliares, facilitando-se assim, a oxigenação através da formação de massa porosa.

pH

O pH é tido como um parâmetro que afeta os sistemas de compostagem. A reação da matéria orgânica vegetal ou animal é geralmente ácida. Assim, ao se iniciar a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria-prima original. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam,

reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina.

Durante o processo de compostagem nota-se a formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7.0 e alcançando pH superior a 8.0, enquanto contiver nitrogênio amoniacal. (MARAGNO et al., 2007).

Segundo Haug (1993), à medida que os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica, são liberados ácidos que se acumulam e acidificam o meio. Este abaixamento do pH favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose. Posteriormente estes ácidos são decompostos até serem completamente oxidados. No entanto, se existir escassez de oxigênio, o pH poderá descer a valores inferiores a 4,5 e limitar a atividade microbiana, retardando, assim, o processo de compostagem. A Figura 12 apresenta a variação do pH ao longo do processo de compostagem.

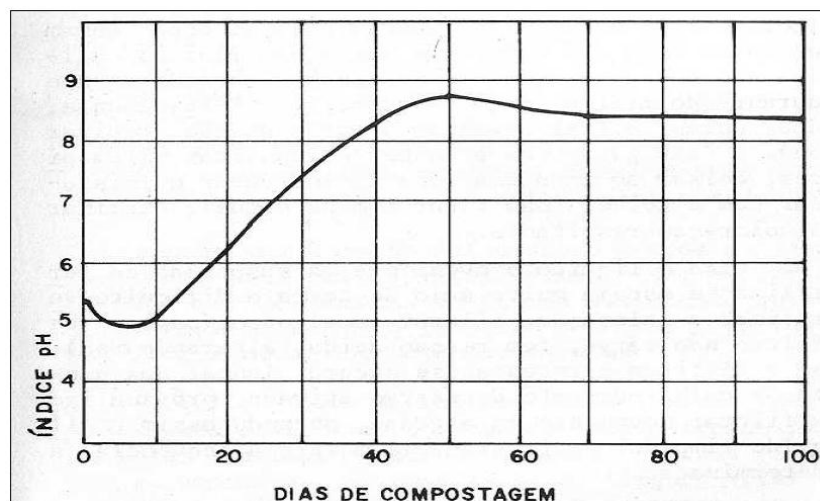


Figura 12 – Variação do pH ao longo do processo de compostagem
Fonte: Kiehl (1985)

Observa-se que durante as primeiras horas do processo o pH decresce até valores próximos a 5,0, aumentando, posteriormente, ao longo do processo, de forma gradual, alcançando valores próximos ao intervalo entre 8.0 – 9,0, ao final do período de compostagem.

Em estudo realizado por Campos e Blundi (1999), os autores, ao monitorarem leiras de compostagem de resíduos sólidos domiciliares por um período de 127 dias, observaram que o pH inicial que era de 6,7 decresceu até o valor de 5,9 já no 7º dia, tendo evoluído até o pico de 8.4 no 42º dia e depois permanecido constante no valor de 8,3 até o final do estudo.

3.4.2 Composto Orgânico

Nos primórdios da agricultura, os resíduos orgânicos mais utilizados para a produção de composto eram basicamente dejeções humanas e de animais e restos de cultura. Mais recentemente, com o aumento populacional, a diversificação de indústrias e, portanto, a geração de resíduos constante, tem-se empregado como matéria-prima para produção de compostos outros meios, como, por exemplo, os provenientes dos resíduos sólidos urbanos, lodos de esgoto, restos de indústrias alimentícias, resíduos da fabricação de papel e de agroindústrias. Esses resíduos são considerados excelentes matérias-primas para a compostagem devido às suas composições químicas. Todavia, a preocupação quanto à utilização desses resíduos é que muitos desses materiais recebem tratamentos especiais na sua produção industrial nos quais são empregados produtos químicos considerados tóxicos, causando certa ressalva na recomendação de seu uso agrícola para fertilização (KIEHL, 1998).

Em relação à compostagem de resíduos sólidos orgânicos observa-se que ao final do processo são gerados dois importantes componentes: *sais minerais*, contendo nutrientes para as raízes das plantas e *húmus*, condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. (KIEHL, 1998).

Entende-se, portanto, que o benefício da matéria orgânica no solo não é apenas o de fornecedor de nutrientes para as plantas, mas principalmente de modificador, com o intuito de melhorar suas propriedades físicas e biológicas. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

De acordo com Kiehl (1998), a qualidade do composto pode ser analisada de acordo com as diferentes referências: a qualidade vista pelo produtor, a exigida pela legislação e a vista pelo agricultor. Porém, em todas essas esferas, há, sem

exceção, a preocupação comum no que diz respeito à umidade, à concentração de NPK e matéria orgânica e ao conteúdo de inertes. (KIEHL, 2004).

Em relação à umidade percebe-se que o composto não deve apresentar umidade superior a 60%, pois, assim, o comprador estaria comprando mais água que composto. Para Kiehl (1998), as concentrações de NPK e matéria orgânica são extremamente importantes para o valor do composto, à medida que representam também uma forma de se avaliar a sua qualidade e calcular seu valor de mercado comparando-se aos adubos químicos.

O aspecto visual também desempenha papel importante para a comercialização do composto, levando-se em conta que a presença de inertes, tais como cacos de vidro, de louça, de plástico, entre outros, proporciona a sensação de um composto de má qualidade, dificultando a sua venda. Outras características do composto também são examinadas pelo agricultor, como a inexistência de odor, a coloração preta intensa e o tamanho das partículas. (KIEHL, 1998, 2004).

O composto orgânico, quando bem processado, possui odor e coloração característicos, e tem seu manuseio, estocagem e transporte muito facilitados. Todavia, o composto cru não possui tais qualidades, podendo se tornar tóxico para as plantas (BARREIRA, 2005). A Tabela 7 apresenta as principais diferenças entre os compostos estabilizado e não estabilizado.

Tabela 7 - Diferenças entre composto estabilizado e composto não estabilizado

Composto estabilizado	Composto não estabilizado
Nitrogênio como íon nitrato	Nitrogênio como íon amônio
Enxofre como íon sulfato	Enxofre ainda em parte como íon sulfídrico
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Sem perigo de putrefação	Perigo de putrefação
A mineralização é cerca de 50%	Altas concentrações de substâncias orgânicas não mineralizadas
Alta capacidade de retenção de água	Baixa capacidade de retenção de água

Fonte: Adaptado de Obeng e Wright (1987 apud BARREIRA, 2005)

Observa-se que o composto cru não possui as características necessárias requeridas a um composto orgânico para uma utilização segura no solo. Dentre as consequências da utilização de compostos imaturos no cultivo de plantas, Kiehl

(1998) aponta a interferência na germinação das sementes e a possível toxicidade causada pelo excesso de amônia.

Segundo Lasaridi et al. (2006), a qualidade do composto orgânico depende de uma série de fatores, tais como tamanho de partículas, umidade, teor de matéria orgânica, teor de carbono, concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, metais pesados, salinidade, porosidade, microrganismos patogênicos e grau de estabilidade do composto. capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de retenção de água (CRA), condutividade elétrica (CE) e substâncias húmicas.

Por se tratarem de objeto de estudo do presente trabalho serão detalhados em seguida os quatro últimos fatores característicos da qualidade do composto orgânico.

Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC é um importante parâmetro a ser determinado para o acompanhamento e comprovação da maturação do composto.

A capacidade de troca de cátions aumenta com a decomposição da matéria orgânica, assim, à medida que se forma o húmus, aumenta a capacidade de troca do resíduo orgânico. Um composto de boa qualidade deve apresentar uma CTC entre 60 e 80 me/100g. (KIEHL, 1998).

De acordo com a Instrução Normativa nº 35/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006b) para ser utilizado como condicionador de solo o composto deve apresentar um valor de CTC mínimo de 200 mmol c/kg.

Capacidade de Retenção de Água (CRA)

A capacidade de retenção de água de um resíduo orgânico pode ser definida como a quantidade de água que permanece em uma amostra depois de ter sido encharcada até a saturação e deixada em condições para que a água dos macroporos escoe pela força da gravidade, nela restando a água contida nos microporos. O resíduo cru, coletado nos domicílios, tem em média 80% de capacidade de retenção de água. (KIEHL, 1998).

Em leiras de compostagem nota-se que à medida que a matéria orgânica se decompõe a CRA aumenta. Assim, amostras coletadas em diferentes fases de decomposição e submetidas à determinação de CRA, apresentam conteúdos de água crescentes, podendo, em alguns casos, chegar até 160%, ou seja, o dobro do valor inicial. A CRA é, portanto, função do teor de matéria orgânica e da sua humificação.

A Instrução Normativa nº 35/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006b) estabelece um valor mínimo de CRA correspondente a 60% para condicionadores de solo.

Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica de um resíduo ou fertilizante orgânico indica o seu grau de salinidade. De acordo com Craul e Switzenbaum (1996 apud KIEHL, 1998), a salinidade de um resíduo ou composto não deve exceder a 4,0 ds/m ou 2560 ppm de sais.

Segundo Kiehl (1998), durante a compostagem observa-se que a fração mineral total aumenta, enquanto a condutividade elétrica proporcionada pelos sais diminui, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Conteúdos de cinza total e condutividade elétrica determinados ao longo do processo de compostagem

Dias de compostagem	Cinza (% na base de matéria seca)	Condutividade (ds/cm)
0	21,0	7,5
4	22,5	7,0
15	25,0	5,7
36	28,5	4,6
58	32,0	3,9
88	35,0	2,6
120	37,0	2,4

Fonte: Kiehl (1998)

Porém, Sánches-Monedero et al. (2001) afirmam que existe uma tendência de elevação da condutividade elétrica durante o processo de compostagem. Tal

aumento deve-se provavelmente ao aumento da concentração de sais causado pela perda de massa relacionada à oxidação da matéria orgânica a CO_2 (NEGRO et al., 1999 apud BRITO, 2008).

Substâncias Húmicas

A matéria orgânica se divide em dois tipos de substâncias, as húmicas e as não húmicas. As substâncias não húmicas incluem aquelas com características físicas e químicas ainda reconhecíveis, tais como: carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, óleos, ceras, as quais são prontamente atacadas pelos microrganismos. Já as substâncias húmicas, principal fração da matéria orgânica, correspondem à fração mais estável e apresentam algumas propriedades únicas como: capacidade de interagir com íons metálicos, manutenção do pH (efeito tampão), além de serem uma potencial fonte de nutrientes para as plantas. (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Durante o processo de compostagem, sobretudo na fase de maturação, a matéria orgânica se complexa, e substâncias húmicas vão sendo sintetizadas. Desta forma, as substâncias húmicas são o estágio final da evolução dos compostos de carbono. A maturação incompleta do material orgânico pode resultar em quantidades desproporcionais das frações de baixo peso molecular, a fração de ácidos fúlvicos. No início do processo de maturação, a fração de ácidos fúlvicos é elevada, por ser a primeira a ser sintetizada. Chefetz et al. (1998, apud OLIVEIRA, 2008) considera que, aproximadamente, 50% da matéria orgânica torna-se completamente mineralizada devido à degradação de compostos facilmente degradáveis, como as proteínas, celulose e hemicelulose, que são utilizados pelos microrganismos como fonte de C e N. A matéria orgânica residual contém macromoléculas recentemente formadas e matéria orgânica não degradada que, juntamente, formam as substâncias húmicas correspondendo à fração mais estável do composto maturado.

Os parâmetros mais importantes, em termos de manutenção de saúde pública, do solo e do ambiente são aqueles relacionados aos microrganismos patogênicos; aos compostos potencialmente tóxicos, compostos orgânicos e inorgânicos e a estabilidade.

Embora uma das preocupações primordiais em relação à qualidade do composto orgânico esteja relacionada à presença de metais pesados (particularmente o chumbo), e compostos tóxicos presentes nos resíduos sólidos urbanos, nota-se que na grande maioria dos casos onde ocorreram problemas com a utilização do composto orgânico a causa estava ligada à estabilidade da matéria orgânica, ou seja, à imaturidade do composto utilizado. (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1994).

De acordo com Brinton (2000), a contaminação por metais pesados nos compostos orgânicos está intimamente relacionada à existência ou não de separação prévia na fonte geradora. A tabela 9 apresentada por Kraus e Grammel (1992, apud BRINTON, 2000) mostra a diferença de valores de alguns contaminantes entre resíduos sólidos urbanos misturados e previamente separados em 4 regiões da Alemanha.

Tabela 9 - Presença de metais pesados em compostos de Resíduos Sólidos Urbanos misturados e previamente triados na fonte geradora

Elemento	Composto (RSU misturado) - (mg/kg)	Composto (RSU separado) - (mg/kg)	Legislação Alemã (mg/kg)
Pb	420	83	150
Cu	222	41	150
Zn	919	224	500
Cr	107	61	150
Ni	84	26	50
Cd	2.8	0.4	3
Hg	1.9	<0.2	3

Fonte: Kraus e Grammel (1992, apud BRINTON, 2000)

Nota-se que os valores de contaminantes encontrados nos compostos cujos resíduos foram previamente triados apresentam-se, em média, 75% mais baixos que aqueles nos quais os resíduos permaneceram misturados.

Pela Legislação Brasileira o composto resultante da degradação de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domiciliares é denominado fertilizante orgânico. Sua regulamentação quanto à produção, comércio e fiscalização se deu apenas no ano de 1982, através do Decreto nº 86.955, que regulamentou a Lei nº 6.894/80.

Através da Instrução Normativa nº 23 de 31/08/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005), o fertilizante orgânico é definido como um produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais. As Tabela 10 e 11 apresentam as especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos, estabelecidas pelos Anexo I e III, respectivamente, da referida norma.

Tabela 10 - Especificações para granulometria segundo a legislação brasileira

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4 mm (ABNT nº5)	95% mínimo	5% máximo
	1.0 mm (ABNT nº18)	5 % máximo	95% mínimo
Pó	2.0 mm (ABNT nº10)	100% máximo	0%
	0.84 mm (ABNT nº20)	70% mínimo	30% máximo
	0.3 mm (ABNT nº50)	50% mínimo	50% máximo
Farelado	3.36 mm (ABNT nº6)	95% mínimo	5% máximo
	0.5 mm (ABNT nº35)	25% mínimo	75% máximo
Farelado Grosso	4.8 mm (ABNT nº4)	100%	0%
	1.0 mm (ABNT nº18)	20% mínimo	80% máximo

Fonte: IN 23 - Brasil (2005)

Tabela 11 - Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos

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

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

Fonte: IN 23 - Brasil (2005)

De acordo com o anexo I da IN 23/2005 do Ministério da Agricultura, os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais são classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em:

I - Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;

II - Classe “B”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

III - Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

IV - Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

A Tabela 12 adaptada de Brinton (2000) apresenta valores limites de metais pesados (mg/kg) impostos por alguns países europeus, para a utilização segura de compostos orgânicos no solo, nela foram acrescentados os valores estabelecidos por Silva et al. (2002) e pela Instrução Normativa n° 27/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.

Tabela 12 - Limites de metais pesados (mg/kg), em compostos orgânicos, para países da Europa, Canadá e Brasil

PAÍSES	ELEMENTOS										
	As	B	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Ni	Se	Zn
Áustria	-	100	4	150	-	400	500	4	100	-	1000
Bélgica ¹	-	-	5	150	10	100	600	5	50	-	1000
Bélgica ²	-	-	5	200	20	500	1000	5	100	-	1500
Suíça	-	-	3	150	25	150	150	3	50	-	500
Dinamarca	25	-	1.2	-	-	-	120	1.2	45	-	-

(Continua...)

(Conclusão)

PAÍSES	ELEMENTOS										
	As	B	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Ni	Se	Zn
França	-	-	8	-	-	-	800	8	200	-	-
Alemanha	-	-	1.5	100	-	100	150	1.0	50	-	400
Itália	10	-	1.5	100	-	300	140	1.5	50	-	500
Holanda	25	-	2	200	-	300	200	2	50	-	900
Holanda	15	-	1	70	-	90	120	0.7	20	-	280
Espanha	-	-	40	750	-	1750	1200	25	400	-	4000
Canadá ^{1,2}	13	-	3	210	34	100	150	0.8	62	2	500
Brasil *	20	-	3	200	-	200	150	1	70	80	-
Brasil **	-	-	5	300	-	500	500	2	100	-	1500

¹ Uso agrícola; ² Horticultura; * IN SDA N°. 27/2006; ** Silva et al. (2002)

Fonte: Adaptado de Brinton (2000)

Pode-se observar que a Holanda se caracteriza como o país que apresenta os limites mais severos para a presença de metais pesados em compostos, enquanto a Espanha possui valores elevados para todos os elementos, em comparação com os demais países. No Brasil, de acordo com a Circular Técnica publicada por Silva et al. (2002), recomendando o uso agrícola de resíduo urbano no estado de São Paulo, e segundo a Instrução Normativa DAS N°. 27/2006, percebe-se que os valores estão na média apresentada pelos países europeus, com índices relativamente baixos para cobre, chumbo, mercúrio e zinco.

Observa-se, contudo, que enquanto o Brasil ainda caminha na construção de uma legislação mais rígida capaz de nortear a qualidade do composto orgânico produzido, muitos países europeus, por meio dos seus Certificados de Qualidade, como é o caso da Alemanha, apresentam valores, muitas vezes tão baixos, que acabam acarretando um impedimento na compostagem de alguns tipos de resíduos. (BRINTON, 2000).

Em relação aos microrganismos patogênicos o anexo V da Instrução Normativa SDA N°. 27/2006 estabelece os valores encontrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos

Contaminante	Valor máximo admitido
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Brasil (2006)

4 MATERIAL E MÉTODO

A Figura 13 apresenta um esquema das atividades realizadas, buscando facilitar a visão geral do desenvolvimento da pesquisa em campo e laboratório. Em seguida, será detalhado cada um dos itens.

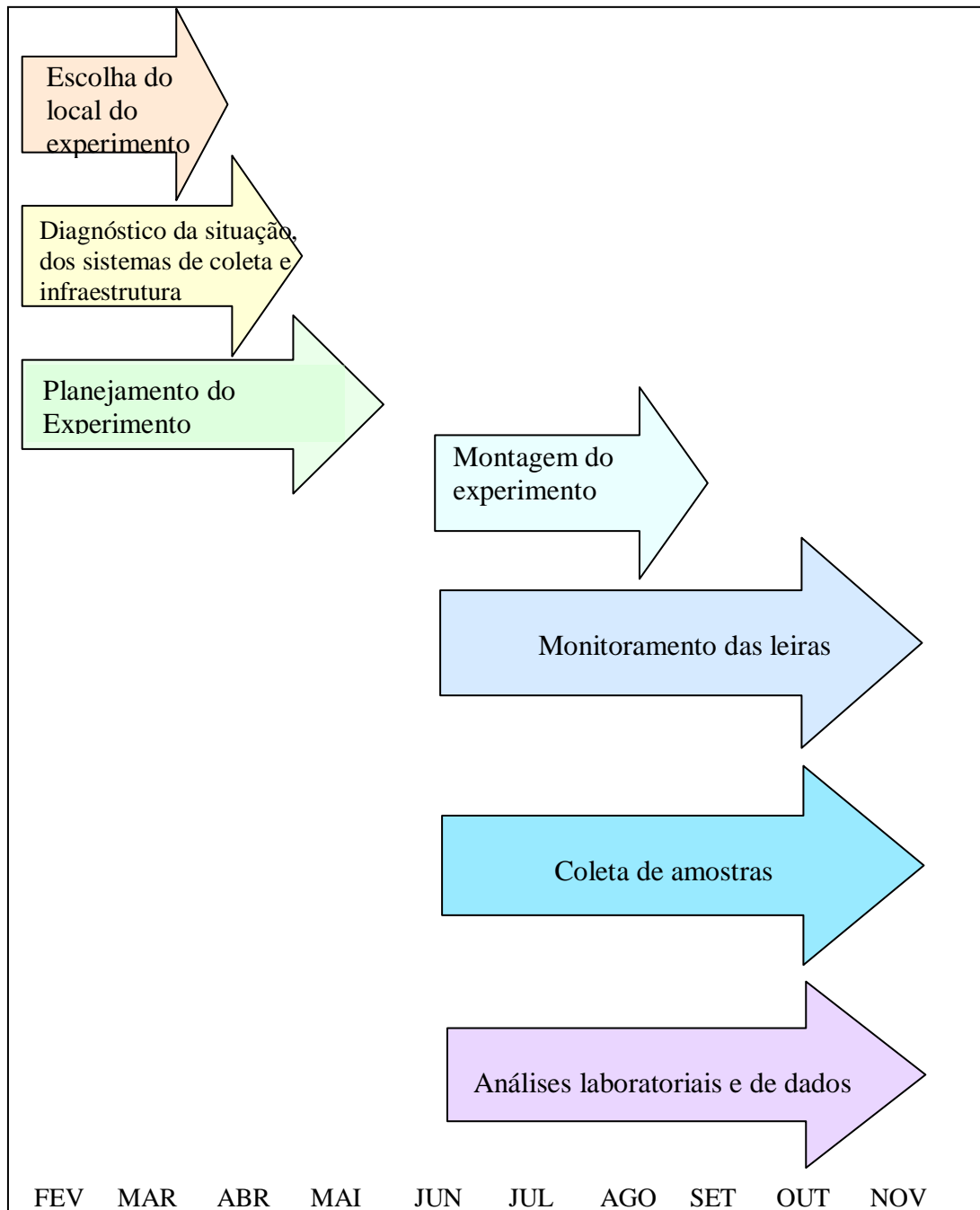


Figura 13 – Fluxograma - resumo das atividades realizadas ao longo do estudo

4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO, DO SISTEMA DE COLETA E DA INFRAESTRUTURA

Com o intuito de avaliar a influência da triagem no processo de compostagem e qualidade do composto, considerando-se a existência da coleta seletiva municipal, selecionou-se a Central de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de Martinópolis para a realização do experimento.

A opção pela montagem do experimento no município de Martinópolis foi baseada nos seguintes critérios: acessibilidade do pesquisador ao local de estudo; existência prévia de um Programa Municipal de Coleta Seletiva e apoio técnico-financeiro da prefeitura municipal.

As características do município, bem como os dados levantados referentes ao sistema de coleta e à infra-estrutura encontram-se detalhados logo abaixo.

Características do município

O Município de Martinópolis localiza-se no extremo oeste do Estado de São Paulo (22°08'45"Sul e 51°10'15" Oeste) conforme apresentado na Figura 14, a 488 metros acima do nível do mar. Tem população estimada de 23.983 habitantes (IBGE 2007), sendo 80% destes residentes no perímetro urbano e os 20% restantes, pertencentes à zona rural.

Apresenta clima predominantemente continental. Devido aos sistemas atmosféricos do Centro-Oeste, há dois tipos de clima na região: Tropical Úmido (Aw) e Mesotérmico de Inverno Seco (Cwa). De acordo com Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (2006), a temperatura média anual é de 22°C, apresentando o mês de julho a mais baixa média de temperatura do ano e janeiro a média mais alta, obtendo-se assim os respectivos valores médios de temperatura: 18,5°C e 24,8°C. A precipitação média total anual do município é de 1.238,1mm.

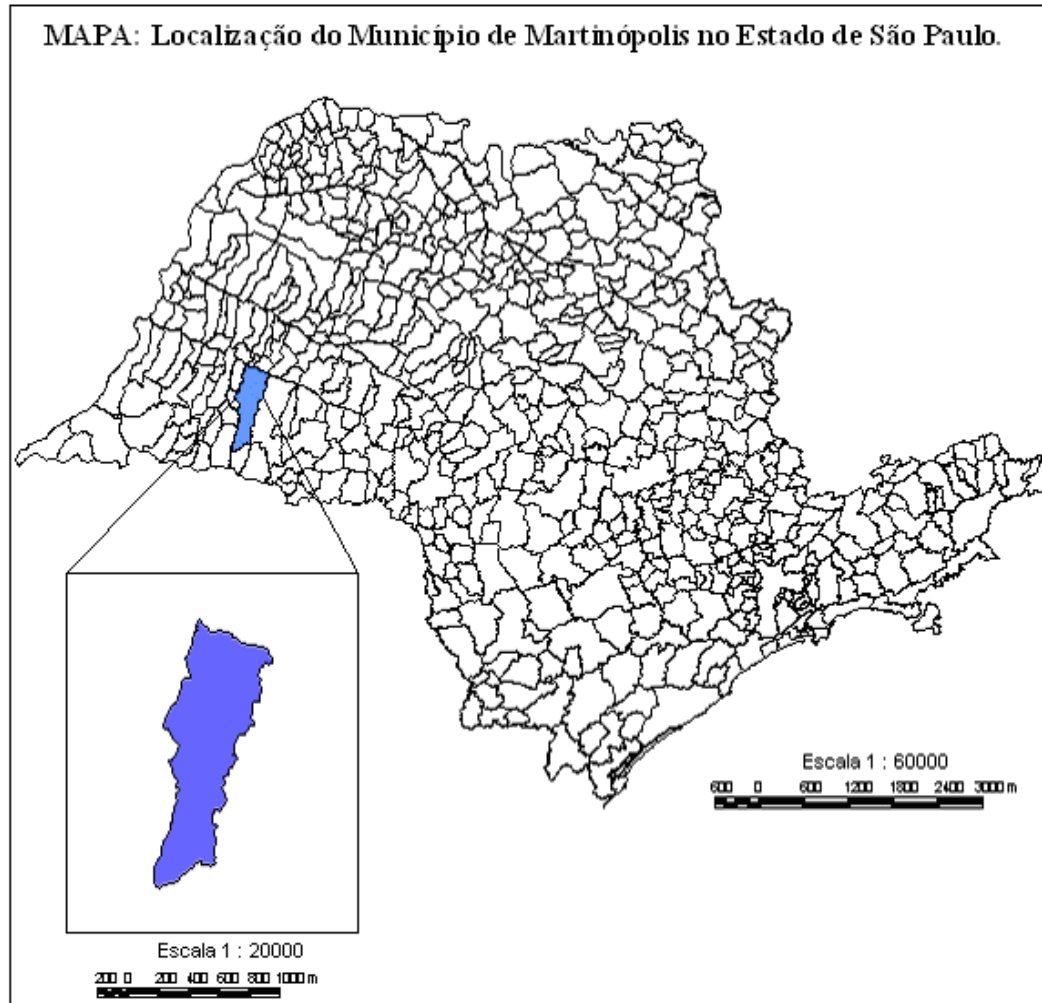


Figura 14 - Localização do Município de Martinópolis

Sistema de Coleta

Todos os resíduos sólidos urbanos gerados no município são encaminhados, de segunda-feira a sábado, à Central de Triagem e Compostagem. O Programa Municipal de Coleta Seletiva implantado abrange todo o município, assim, diariamente todos os resíduos recicláveis triados pela população que aderiu ao Programa são coletados na fonte geradora, em veículo apropriado, e encaminhados à Central de Triagem e Compostagem do município. Os demais resíduos gerados pela população são coletados por caminhão compactador e encaminhados também à central, tal coleta foi definida ao longo desta dissertação como coleta regular.

Com o intuito de elaborar um diagnóstico sobre a atual situação do sistema de coleta municipal, foi levantado, junto ao Departamento de Meio Ambiente, dados referentes ao Programa de Coleta Seletiva.

Infraestrutura da Central de Triagem e Compostagem

A Figura 15 apresenta o layout da Central de Triagem e Compostagem de Martinópolis/SP.

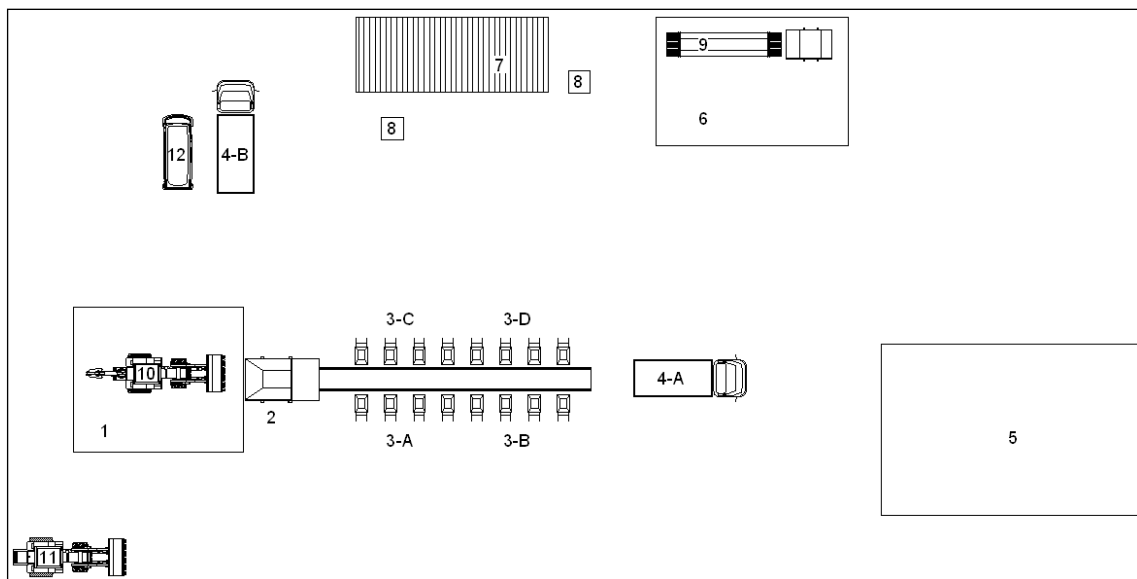


Figura 15 – Layout da Central de Triagem e Compostagem do Município de Martinópolis/SP

Legenda:

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1- Pátio de Recepção; | 4B- caçamba |
| 2- Moega | 5- Aterro controlado em valas |
| 3- Esteira de Catação; | 6- Pátio de compostagem |
| 3A- plástico | 7- Barracão de armazenamento |
| 3B- metal | 8- Prensa elétrica |
| 3C- papel | 9- Peneira rotativa móvel |
| 3D- vidro | 10- Trator |
| 4- Caminhão | 11- Pá-carregadeira |
| 4A- carroceria | 12- Veículo Kombi |

Observa-se que todos os resíduos sólidos urbanos, provenientes da coleta regular, que chegam à Central de Triagem e Compostagem, são encaminhados ao pátio de recepção e posteriormente empurrados, com a ajuda de um trator, até a moega, caindo, assim, na esteira de catação, como mostram as Figuras 16 e 17.

Ao passarem pela esteira, os materiais recicláveis são retirados, acondicionados em tambores e posteriormente enfardados, enquanto o restante dos resíduos é transportado, com a ajuda de um caminhão carroceria, até o aterro controlado em valas.

Após o enfardamento dos recicláveis, com o auxílio de duas prensas elétricas, os mesmos são acondicionados em um barracão até o período de comercialização.

Para o processamento da matéria orgânica a Central disponibiliza um pátio de compostagem e uma peneira rotativa móvel. Porém desde o início de 2007, o processo de compostagem encontra-se paralisado no município.

A Central conta ainda com um caminhão caçamba, uma pá carregadeira, um trator e um veículo Kombi, o qual é utilizado para o transporte dos associados.



Figura 16 – Pátio de recepção dos resíduos sólidos domiciliares da Central de Triagem e Compostagem de Martinópolis/SP



Figura 17 – Moega (ao fundo) e esteira de catação da Central de Triagem e compostagem de Martinópolis/SP

4.2 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Na fase de planejamento do experimento foi realizada uma reunião envolvendo docentes da Universidade Estadual de Londrina, prefeito municipal e outros profissionais ligados ao assunto com o intuito de se apontar a importância e magnitude do estudo a ser realizado no município,

Diante do aval da prefeitura municipal em relação à montagem do experimento e consequente apoio financeiro e técnico, foi dado prosseguimento ao planejamento

Além da disponibilização de maquinários e funcionários, foi solicitada à prefeitura municipal a limpeza do pátio de compostagem e a aquisição de lonas plásticas, torneiras e mangueiras.

Por se tratar de um município de pequeno porte a quantidade de resíduos gerados diariamente não era suficiente para a construção das leiras, assim, com base nos cálculos efetuados constatou-se que seria necessário armazenar, no pátio de compostagem, os resíduos que chegavam até a Central. Diante disto procedeu-se, então, a pesagem diária de todos os caminhões que chegavam até o local, até o momento em que a massa de resíduos fosse suficiente para a montagem do experimento.

4.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

A partir do delineamento experimental foram instaladas 12 leiras, de dimensões idênticas (3,0m x 5,0m x 1,5m), no pátio da central de triagem, cuja área disponível era de 3.600 m² e com revestimento asfáltico. Seis delas foram construídas com resíduo advindo da coleta regular, lembrando que havia coleta seletiva instalada no Município, e as 6 restantes com o mesmo material, porém após ter passado pela esteira de triagem. Convencionou-se denominá-las, para fins práticos, de leiras de resíduo triado na fonte (LRTF) e leiras de resíduo triado na fonte e na esteira (LRTFE) respectivamente. Ao final da montagem todas as leiras receberam uma placa de identificação.

Cada grupo das 6 leiras foi subdividido em 2 grupos de 3 leiras cada, que foram submetidas a revolvimento diferenciado, sendo um grupo revolvido 1 vez e outro 2 vezes por semana. Desta forma, foram feitas 3 repetições de cada condição, como mostram a Tabela 14 e a Figura 18.

Tabela 14 – Tipo de material utilizado para construção das leiras, frequência de revolvimento e respectivos tratamentos

Leira	Material	Revolvimento	Tratamento Estatístico
1, 2 e 3	RTF	1 x semana	1
4, 5 e 6	RTF	2 x semana	2
7, 8 e 9	RTFE	1 x semana	3
10, 11 e 12	RTFE	2 x semana	4

RTF - resíduo triado na fonte; RTFE - resíduo triado na fonte e na esteira

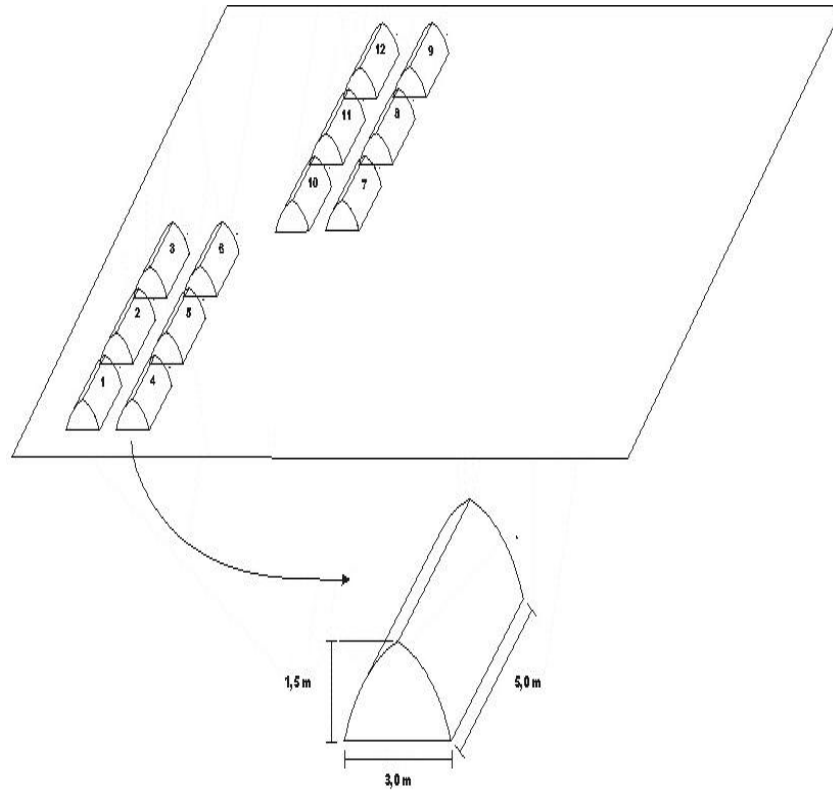


Figura 18 – Layout das leiras no pátio de compostagem

Como era fundamental que todas as leiras fossem montadas no mesmo dia, para uniformização dos resíduos utilizados, optou-se pelo armazenamento das massas de resíduos no pátio de compostagem, como já mencionado. A Figura 19 ilustra o armazenamento de tais resíduos na Central.



Figura 19 – Massas de resíduos armazenadas no pátio de compostagem durante a fase de preparação para o início do processo

É importante salientar que a massa de resíduos advinda da coleta regular e depositada diretamente no pátio de compostagem (RTF) apresentava-se, em sua maior parte, embalada por sacos plásticos e sacolinhas de supermercado, dificultando o processo de compostagem. Com o intuito de se facilitar o processo, os associados da ACAMART procuraram rasgar a maior parte destes sacos, retirando-os da massa de resíduos, como mostra a Figura 20.



Figura 20 – Vista das sacolinhas de mercado retiradas da massa de resíduos

4.3.1 Caracterização dos Resíduos

Dos resíduos acumulados para a montagem das leiras, uma porção foi utilizada para se fazer a caracterização dos resíduos gerados no município, bem como dos resíduos triados em esteira, no caso das LRTFE.

A caracterização foi realizada seguindo o método de quarteamento estabelecido pela NBR 10.007 (ABNT, 1987), que consiste em um processo de separação pelo qual uma amostra bruta, na forma de monte, é dividida em quatro partes, e são escolhidos dois quartis opostos entre si para se proceder a uma nova amostragem, seguindo-se assim sucessivamente até que seja obtida uma amostra com volume aproximado de 5 L.

Foi realizada a análise gravimétrica (Figura 21), para obter a composição do resíduo estudado e a comparação entre a quantidade de inertes presentes nas LRTF e LRTFE. Determinou-se também a densidade dos resíduos (material base para formação das leiras) com o auxílio de um tambor de 200 litros. Completou-se o tambor, pesou-se a massa de resíduos e em seguida dividiu-se pelo volume ocupado, obtendo-se os valores de densidade para os RTF e RTFE.



Figura 21 – Associados da ACAMART auxiliando na separação dos diferentes tipos de materiais para realização da análise gravimétrica da massa de resíduo

4.4 MONITORAMENTO DAS LEIRAS

Após a montagem das leiras no pátio de compostagem foi elaborada uma planilha, apresentada em apêndice, contendo os principais parâmetros a serem monitorados em campo, durante todo o processo: temperatura, umidade e data do revolvimento da leira.

Temperatura

Devido à influência da temperatura no processo de compostagem, estabeleceu-se que a mesma seria medida diariamente. Para sua medição foi

utilizado um termômetro digital da marca Jenco® com uma haste de 1,0 metro de comprimento (Figura 22). A fim de se evitar possíveis interferências, a medição da temperatura foi realizada diariamente em 9 pontos distintos de cada uma das 12 leiras, em profundidades preestabelecidas e padronizadas, sendo 3 medidas relativas ao topo, 3 em relação ao meio e as 3 restantes efetuadas na base da leira. A temperatura ambiente também foi registrada durante todos os dias do experimento através de um termômetro da marca Thermo Higo instalado em área coberta anexa ao galpão de armazenamento de recicláveis, na Central de Triagem e Compostagem.



Figura 22 – Medição de temperatura da leira com auxílio de termômetro digital

Umidade

O controle de umidade em campo foi feito por observação, através do aspecto visual, que consistia em se constatar se as leiras apresentavam-se com aspecto úmido ou seco, pegando-se uma pequena porção nas mãos e observando se escorria líquido, pois a determinação de umidade era realizada no Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina. Ao longo do acompanhamento do processo, observando-se a temperatura e a sua influência sobre a umidade era possível avaliar também se a mesma encontrava-se adequada à manutenção do processo. Quando necessário era adicionado água, no momento do revolvimento,

com o auxílio de mangueiras (Figura 23). Porém, no decorrer do processo, devido à baixa umidade das leiras, em função da baixa vazão disponível, proporcionada pelas mangueiras utilizadas no experimento, foi requisitado um caminhão-pipa, como mostra a Figura 24, sempre às terças-feiras, visto que se selecionou este dia da semana para o revolvimento de todas as leiras, pois como já mencionado, apenas 6 delas eram revolvidas 2 vezes na semana.



Figura 23 - Adição de água na leira com o auxílio de mangueira



Figura 24 – Adição de água na leira com o auxílio de caminhão-pipa

Aeração

A aeração das leiras deu-se através de revolvimentos com a utilização de uma pá carregadeira, como mostra a Figura 25. Com o intuito de se verificar a influência do revolvimento no processo de compostagem, metade das leiras foi revolvida, durante o processo de degradação ativa (70 a 90 dias), duas vezes por semana, aos sábados e terças-feiras, e as leiras restantes foram revolvidas semanalmente, sempre às terças-feiras.



Figura 25 – Revolvimento das leiras através da utilização de pá carregadeira

4.5 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Foram coletadas amostras para acompanhamento do processo de compostagem ao longo do tempo e para obter as características do composto produzido.

Amostras para avaliação do processo

As amostras foram coletadas uma vez por semana, sempre às terças-feiras, dia em que todas as leiras eram revolvidas. Assim, inicialmente fazia-se a leitura da

temperatura, revolvia-se a leira e quando necessário adicionava-se água simultaneamente ao revolvimento e por fim eram retiradas as amostras. É válido ressaltar que a amostragem era realizada somente após a adição de água com o intuito de analisar, laboratorialmente, a porcentagem de umidade a que as leiras haviam sido submetidas, haja vista que a adição de água, em campo, baseava-se apenas em critério visual.

O processo de amostragem consistia na retirada de parcelas de resíduos alocados em 10 pontos distintos de cada uma das leiras, em diferentes profundidades, perfazendo uma massa média de 2 quilogramas por amostra. As mesmas eram colocadas em sacos de polietileno, etiquetadas, armazenadas e levadas, no mesmo dia, para o Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como mostram as Figuras 26 e 27.



Figura 26 – Amostragem



Figura 27 – Amostras etiquetadas, prontas para o encaminhamento ao Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina

Ao chegarem ao laboratório as amostras eram devidamente preparadas, com o intuito de facilitar as análises, visto tratarem-se de um material com características bem heterogêneas. Assim, o primeiro passo era a remoção de inertes presentes nas amostras, tais como cacos de vidro, metais, plásticos, osso, entre outros, como mostra a Figura 28.



Figura 28 – Remoção de inertes da amostra

Após a remoção de inertes, cada uma das amostras era colocada em uma bandeja etiquetada e levada à estufa a 65°C por um período médio de 12 horas. Em

seguida procedia-se à moagem das amostras, com um auxílio de um triturador elétrico, como mostra a Figura 29.



Figura 29 – Amostras na estufa a 65°C e logo após, sendo trituradas

É importante relatar que apenas a determinação do pH e da umidade natural do composto não eram precedidas pelo preparo da amostra.

Amostras para caracterização do Composto produzido

Ao final do período de 5 meses de compostagem o composto orgânico adquiriu todas as características fundamentais a um composto de qualidade, estando, portanto, apto à fase de peneiramento.

Assim, durante a penúltima semana do mês de novembro de 2008, o peneiramento de cada leira foi realizado utilizando-se uma peneira rotatória móvel, como mostra a Figura 30.



Figura 30 – Peneiramento do composto

Antes de iniciar o processo de peneiramento, foi determinada a densidade dos resíduos sólidos da leira, através da utilização de um tambor plástico, com capacidade volumétrica de 50 litros. A densidade do composto também foi determinada para cada uma das 12 leiras.

Os rejeitos e compostos gerados, em cada uma das leiras, eram acondicionados em bags e pesados, individualmente, com o auxílio de uma balança digital, como mostra a Figura 31.



Figura 31 – Pesagem do composto com auxílio de balança digital

Como já foi dito anteriormente, o composto obtido em cada uma das leiras foi colocado em bags. Foram retiradas amostras de cada um dos bags (aproximadamente 2 quilogramas) e colocadas em sacos de polietileno, etiquetados, armazenados e encaminhados no dia seguinte ao Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como mostra a Figura 32.



Figura 32 – Amostras do composto final no Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina

4.6 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Todas as amostras coletadas ao longo do experimento foram submetidas a análises laboratoriais. Ao final do estudo os resultados analíticos passaram por uma análise estatística.

Análises Laboratoriais

Após o preparo, as amostras foram encaminhadas à etapa de análises, cujos parâmetros avaliados, bem como seus respectivos métodos e frequências, encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 – Parâmetros analisados durante o experimento, bem como seus respectivos métodos e frequências

Parâmetros	Método	Frequência
pH determinado em água ¹	EMBRAPA (1999) 4500-H+ B Eletrometric Method – pg 4-90	Semanal
Sólidos Totais ¹	2540B Total Solids Dried at 103-105°C-pg 2-56	Semanal
Sólidos totais fixos (Cinzas) ¹	Gravimétrico (2540 B/2540 E)	Semanal
Carbono Org. ¹	Embrapa (1999).	Semanal
NKT Nitrogênio Kjeldahl ¹	(SIQUEIRA, 2006) (VAN RAIJ, 2001)	Semanal
Nitrogênio Nítrico ¹	(KEENEY & NELSON, 1982)	Quinzenal
CTC ²	KIEHL (1985)	Início e fim do processo
CRA ²	KIEHL (1985)	Início e fim do processo
Condutividade ¹	(RODELLA e ALCARDE, 1994).	Fim do processo
Macro e micronutrientes ²	Embrapa (1999).	Início e fim do processo
Ácidos húmicos, fúlvicos e humina ³	Swift (1996)	Fim do processo

As análises foram realizadas em: ¹ Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina; ² Laborsolo – Londrina; ³ Laboratório de Matéria Orgânica da Universidade Federal de Viçosa.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente, com o auxílio do software Statisc 6.0, com o intuito de avaliar a existência ou não de diferença significativa no processo de compostagem das LRTF e LRTFE, e também da frequência de revolvimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados e analisados os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho.

5.1 COLETA SELETIVA

O Programa Municipal de Coleta Seletiva Solidária foi implantado no município de Martinópolis em março de 2007, tendo sido a criação da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Martinópolis, a ACAMART, o marco inicial do projeto. A sede da Associação é a Central de Triagem e Compostagem do município.

A Coleta Seletiva foi implantada em todo o município, incluindo os distritos, a Represa Laranja Doce e a Penitenciária de Segurança Máxima de Martinópolis. A forma de coleta utilizada é a porta a porta, na qual os recicláveis são recolhidos pelos associados da ACAMART, através do auxílio de um caminhão com carroceria, disponibilizado pela prefeitura municipal.

O Departamento de Meio Ambiente de Martinópolis é o responsável pela manutenção e sistematização da coleta seletiva, porém, observa-se que não existe um acompanhamento contínuo dos parâmetros indicadores da eficiência de tal sistema de coleta.

Diante da necessidade requerida pelo presente estudo, de quantificação dos materiais recicláveis recolhidos pela ACAMART, foi solicitado junto ao Departamento de Meio Ambiente a pesagem de tais resíduos ao longo da semana, compreendida entre os dias 31/03 e 04/04 do ano de 2008. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Massa, em quilogramas, dos recicláveis oriundos da Coleta Seletiva municipal, na semana de 31/03 a 04/04 no ano de 2008

Data	Peso (Kg)
Segunda-feira	1.120,0
Terça-feira	1.410,0
Quarta-feira	670,0
Quinta-feira	630,0
Sexta-feira	520,0
TOTAL	4.350,0

Fonte: Departamento de Meio Ambiente do Município de Martinópolis

Através da Tabela 16 foi possível estimar a massa diária média, em quilogramas, dos resíduos recicláveis coletados pela ACAMART, que foi de 870 quilogramas.

Segundo dados do Departamento, nesse mesmo período procederam-se também à pesagem dos resíduos provenientes da Coleta Regular, obtendo-se o valor 76.640,0 quilogramas.

A situação torna-se um tanto quanto preocupante quando se calcula a taxa de recuperação dos recicláveis promovida pela ACAMART, a qual se aproxima de 5,4 %, percentual relativamente baixo para um Programa Municipal de Coleta Seletiva implantado há mais de 1 ano, quando comparado com os dados do Município de Londrina , apresentado na Tabela 5.

Essa baixa adesão da população ao Programa é visível quando se observa a grande quantidade de recicláveis misturados à massa de resíduos que chegam até a Central, provenientes da coleta regular.

5.2 PLANEJAMENTO E MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Como já mencionado, durante a fase do planejamento do experimento, houve a necessidade de armazenamento dos resíduos no pátio de compostagem. A fim de se estimar a massa de resíduos requerida para a montagem do experimento foi calculado o volume das leiras, obtendo-se um valor aproximado de 135m³.

A densidade média do resíduo coletado determinada em campo foi de 0,46 t/m³. A partir deste valor foi encontrada a massa de resíduos utilizada para a construção das leiras, que foi aproximadamente 64 toneladas.

Foram necessários 9 dias de armazenamento dos resíduos sólidos. Em média, chegavam ao local diariamente, em torno de 5 caminhões, dos quais 3 eram encaminhados à esteira de catação e os 2 restantes diretamente ao pátio de compostagem. É válido ressaltar que a coleta regular realizada pelo município conta com o auxílio de apenas dois caminhões compactadores, com capacidade volumétrica idêntica, os quais foram descarregados alternadamente, durante a pesquisa, no pátio de compostagem e na esteira de catação.

Os resíduos utilizados na montagem das leiras foram caracterizados quanto à densidade, composição gravimétrica, a nutrientes inorgânicos, metais pesados, CTC e CRA.

A densidade dos RTF e RTFE determinada em campo obteve os valores de 0,46 t/ m³ e 0,38 t/ m³, respectivamente.

A Tabela 17 apresenta os resultados da análise gravimétrica referente à matéria orgânica, metal, vidro, plástico, papel e outros dos RTF e RTFE.

Tabela 17 - Análise gravimétrica dos RTF e RTFE utilizados como material base para as leiras

Tipo de resíduo	Matéria Orgânica	Metal	Vidro	Plástico	Papel	Outros
RTF	71,7%	1,09%	0,54%	8,15%	3,80%	14,72%
RTFE	70,5%	-	0,58%	6,54%	4,58%	17,8%

RTF – resíduo triado na fonte; RTFE - resíduo triado na fonte e na esteira

Nota-se que a porcentagem de matéria orgânica presente nos dois tipos de resíduos é bastante elevada, visto que a literatura aponta um valor médio aproximado de 55%, em peso, de matéria putrescível presente nos resíduos sólidos gerados no país. Pôde-se observar, visualmente, que havia uma expressiva quantidade de folhagens e restos de tecidos que chegavam até a Central de Triagem e Compostagem do Município de Martinópolis.

As Tabelas 18 e 19 apresentam os resultados de nutrientes inorgânicos, metais pesados, CTC e CRA.

Tabela 18 - Parâmetros inorgânicos, limites de quantificação, resultados e unidades de ensaio para caracterização inicial do RTF

Parâmetros	Limite de quantificação	Resultados	Unidades
Boro Total	0,003	N.D.	mg B/ kg
Cádmio Total	0,002	N.D.	mg Cd/ kg
Cálcio Total	0,041	6.851,00	mg Ca/ kg
Chumbo Total	0,01	10,92	mg Pb/ kg
Cobre Total	0,0015	28,91	mg Cu/ kg
Cromo Total	0,0019	29,74	mg Cr/ kg
Enxofre Total	0,40	125,80	mg S/ kg
Ferro Total	0,0012	7.408,00	mg Fe/ kg
Fósforo Total	0,005	776,30	mg P/ kg
Magnésio Total	0,005	3.426,00	mg Mg/ kg
Mercúrio Total	0,001	N.D.	mg Hg/ kg
Níquel Total	0,002	4,24	mg Ni/ kg
Potássio Total	1,00	71,00	mg K/ kg
Zinco Total	0,013	35,38	mg Zn/ kg
CTC	-	300,00	mmol/ kg
CRA	-	73,60	%

RTF - resíduo triado na fonte

Tabela 19 - Parâmetros inorgânicos, limites de quantificação, resultados e unidades de ensaio para caracterização inicial do RTFE

Parâmetros	Limite de quantificação	Resultados	Unidades
Boro Total	0,003	N.D.	mg B/ kg
Cádmio Total	0,002	N.D.	mg Cd/ kg
Cálcio Total	0,041	7.977,00	mg Ca/ kg
Chumbo Total	0,01	14,80	mg Pb/ kg
Cobre Total	0,0015	25,65	mg Cu/ kg
Cromo Total	0,0019	19,71	mg Cr/ kg
Enxofre Total	0,40	188,30	mg S/ kg
Ferro Total	0,0012	5.992,00	mg Fe/ kg
Fósforo Total	0,005	587,90	mg P/ kg
Magnésio Total	0,005	4.336,00	mg Mg/ kg
Mercúrio Total	0,001	N.D.	mg Hg/ kg
Níquel Total	0,002	5,66	mg Ni/ kg
Potássio Total	1,00	78,00	mg K/ kg
Zinco Total	0,013	44,22	mg Zn/ kg
CTC	-	186,00	mmol/ kg
CRA	-	58,60	%

RTFE - resíduo triado na fonte e na esteira

5.3 MONITORAMENTO DAS LEIRAS

5.3.1 Temperatura e Umidade

Conforme mostrado no capítulo de material e método, as temperaturas das leiras foram monitoradas diariamente ao longo de todo o experimento, ou seja, por um período correspondente a 150 dias, assim como a temperatura ambiente.

A umidade das leiras foi avaliada semanalmente, ao longo de 168 dias. A figura 33 apresenta a variação das temperaturas na base, meio e topo de cada grupo de leiras, ao longo do processo de compostagem.

As Figuras 34 a 36 apresentam os valores médios de temperatura e umidade de cada tratamento estatístico, bem como a temperatura ambiente. As temperaturas médias apresentadas foram obtidas calculando-se a média dos valores determinados para a base, meio e topo das leiras pertencentes a cada tratamento estatístico.

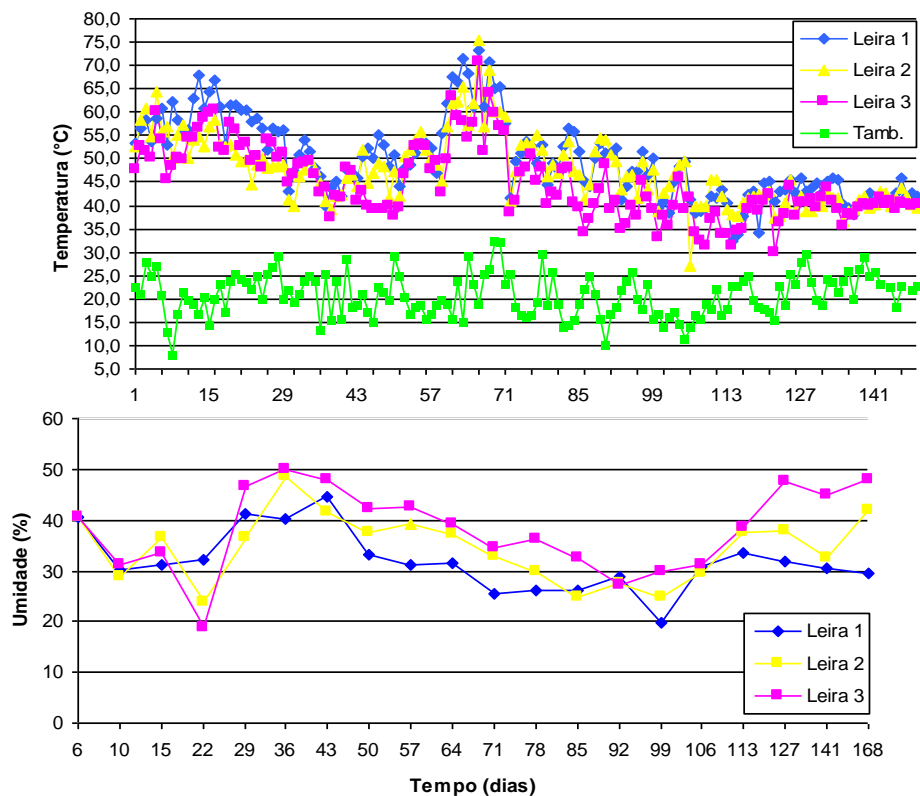


Figura 33 – Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 1 (LRTF – 1X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem

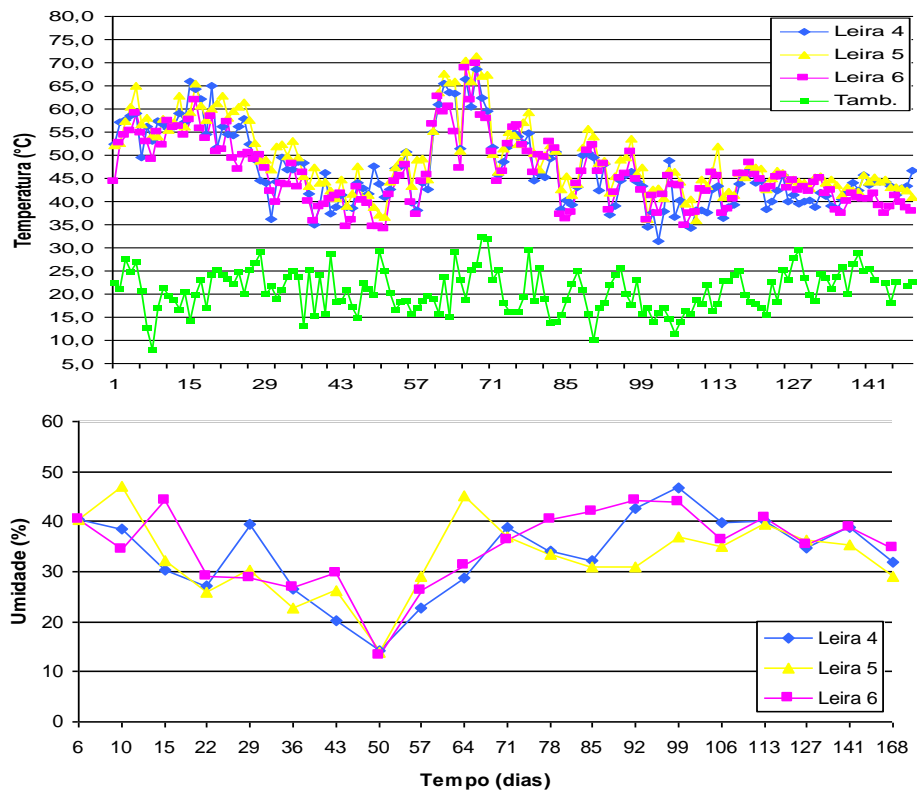


Figura 34 – Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 2 (LRTF – 2X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem

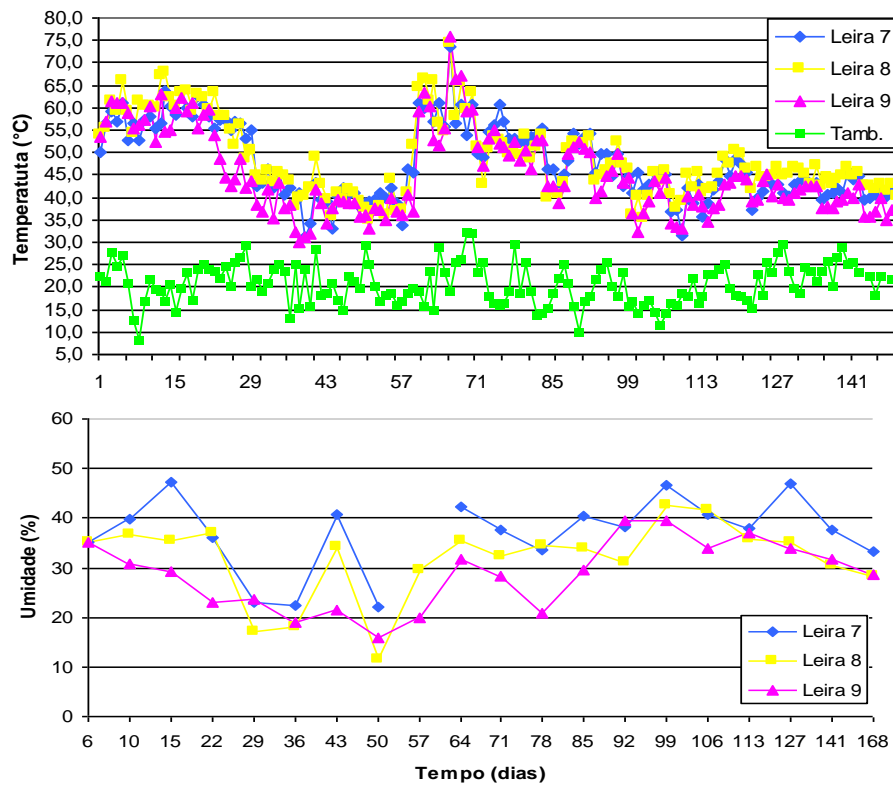


Figura 35 – Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 3 (LRTFE – 1X) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem

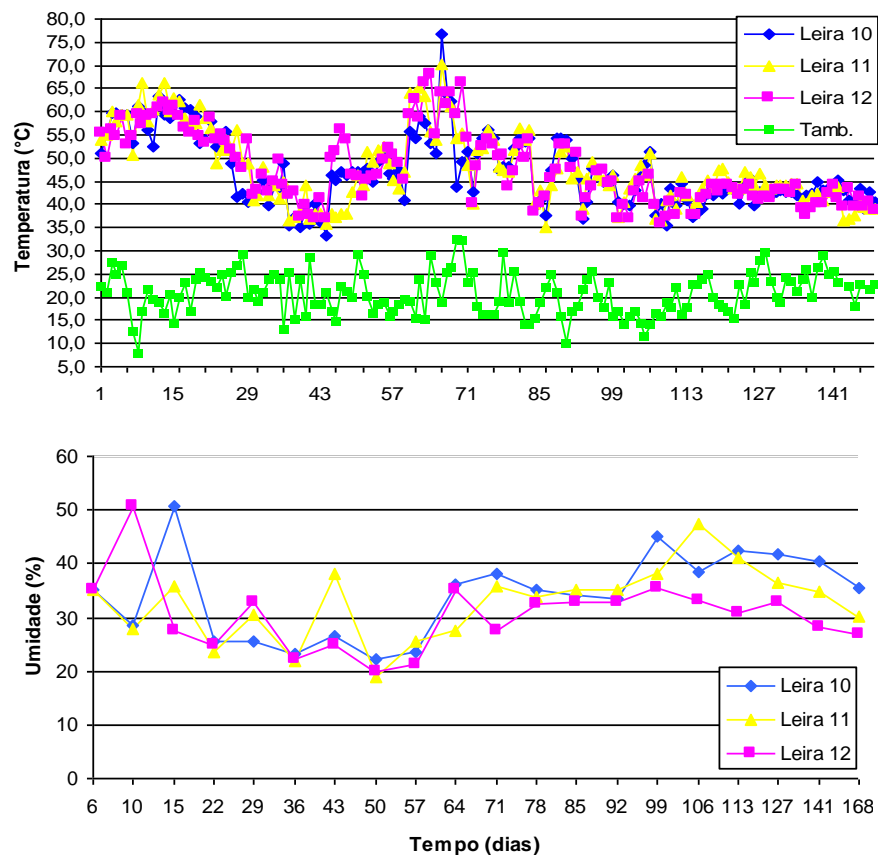


Figura 36 - Temperaturas médias e umidade das leiras do tratamento estatístico 4 (LRTFE – 2x) e temperatura ambiente, ao longo do processo de compostagem

De acordo com as Figuras 33 a 36, observa-se que a temperatura inicial de todas as leiras apresentou-se elevada, visto que as mesmas variaram de 44 a 55°C, em conformidade com o enunciado por Kiehl (1985). Segundo o autor, depois de montada, a leira geralmente atinge temperaturas de 40 a 50°C dentro de dois dias, podendo atingir temperaturas de 60 a 70°C antes de quinze dias.

Elevadas temperaturas, no começo do experimento, são indicativos de que o processo de degradação já havia se iniciado. Ressalta-se que as temperaturas iniciais apresentadas na verdade não correspondem exatamente ao início do processo de degradação e, sim, aos primeiros dias de monitoramento das leiras, haja vista que os resíduos já se encontravam depositados no pátio de compostagem há 9 dias.

Em relação à umidade nota-se que no início do processo de compostagem, de maneira geral, todas as leiras apresentaram umidade levemente inferior à

apontada pela literatura, variando de 35 a 40,5%. Porém, transcorridos 40 dias, a umidade das leiras 4 a 12 começou a declinar rapidamente, tendo algumas leiras apresentado umidade inferior a 15%, em meados de julho de 2008, ou seja, na 8ª semana do experimento como pode ser visualizado nas Figuras 34 a 36. No entanto, de forma diferente das demais, os valores críticos de umidade das leiras de 1 a 3 foram registrados já na 4ª semana do experimento, porém, transcorridos 30 dias do início do experimento observa-se uma elevação súbita da umidade, a qual mantém-se durante quase todo o decorrer do processo de compostagem.

A presença de grande quantidade de folhagens nas leiras pode ser apontada como o principal fator para a baixa retenção de água nas mesmas. Aliadas a isto, as altas temperaturas e a presença de ventos fortes no local, assim como a baixa vazão de água disponível, que consistia de um tanque de apenas 5 m³, e a utilização de mangueiras, contribuíram para agravar o fato.

Ao se observar as Figuras 33 a 36, percebe-se nitidamente que o declínio da temperatura, durante as primeiras semanas do experimento, corresponde justamente aos menores valores de umidade das leiras, encontrados ao longo do período total do experimento, fato comprovado também por Lelis e Pereira Neto (1999). Em estudo realizado sobre a influência da umidade durante o processo de compostagem de resíduos orgânicos, os autores verificaram que em leiras onde não havia sido realizado o controle de umidade foram registrados valores de 5% de umidade e nenhuma atividade de degradação. Porém, após 35 dias, tendo sido a umidade corrigida para 55-60%, a atividade microbiológica, até então cessada, se restabeleceu em um período médio de 28 horas, registrando-se temperaturas termofílicas.

Diante da necessidade de correção da umidade ao longo do experimento e da precariedade do sistema de irrigação disponível, requisitou-se um caminhão-pipa à prefeitura (por volta do 64º dia do experimento). O resultado foi imediato, pois não houve somente aumento da umidade, mas também de suas respectivas temperaturas.

É fundamental ressaltar que em nenhum momento do experimento houve excesso de umidade, o que pode ser comprovado em campo, pela ausência de geração de percolado.

A Figura 37 apresenta os valores médios de temperatura obtidos no topo, no meio e na base, para cada um dos quatro tratamentos estatísticos ao longo dos 150 dias de monitoramento.

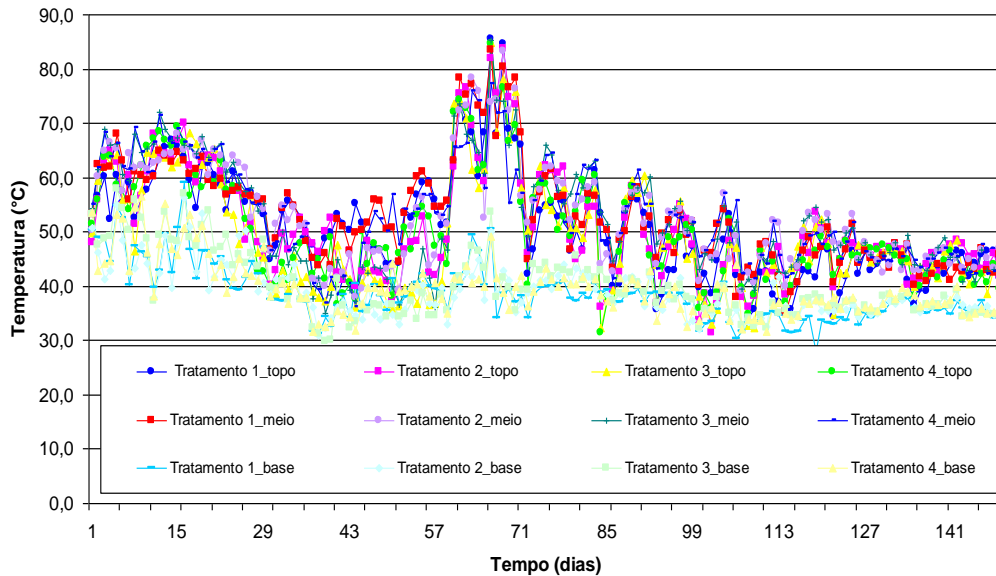


Figura 37 – Evolução da temperatura no topo, meio e base para cada um dos tratamentos estatísticos, ao longo do processo de compostagem

Observa-se que os valores de temperatura registrados no topo e no meio apresentam-se bem próximos entre si, em todos os tratamentos. Já os valores obtidos na base mostram-se menores. Tal fato está de acordo com o enunciado por Russo (2003).

5.3.2 pH

O pH, assim como a temperatura, foi monitorado durante todo o processo, porém as medições deste parâmetro se deram semanalmente. A Figura 38 apresenta os valores médios do parâmetro para cada tratamento.

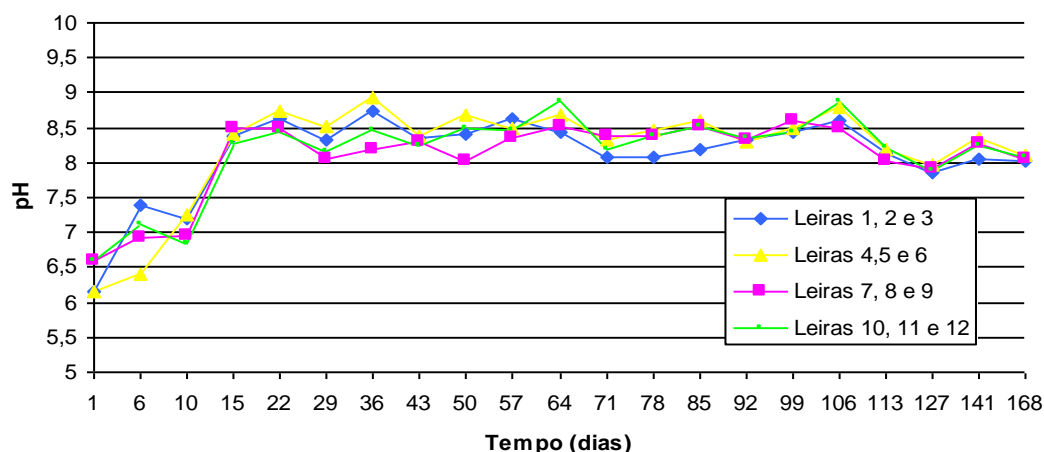


Figura 38 - Evolução do pH ao longo do processo de compostagem nas leiras pertencentes aos quatro tratamentos estatísticos

Observa-se que, de maneira geral, todas as leiras apresentaram comportamento muito semelhante ao longo de todo o processo. No início do experimento nota-se que as leiras pertencentes aos tratamentos 1 e 2 apresentaram pH 6,2, enquanto nos demais tratamentos o valor de pH obtido foi de 6,6. Já nos primeiros dias do experimento o pH alcançou valores entre 6,4 e 7,4 e, após 15 dias, todas as leiras atingiram pH próximo a 8,0 e mantiveram-se na faixa de 8,0 a 8,9 até o 106º dia de compostagem. No final do processo o pH ficou próximo a 8,1.

Este comportamento relatado está de acordo com o descrito por Kiehl (1998). Segundo o autor, no início do processo a leira passa por uma fase fitotóxica, de caráter ácido, e à medida que o processo se desenvolve o pH passa pela neutralidade, atingindo valores próximos de 7,0, e alcança, no seu decorrer, pH superior a 8,0. Isto acontece porque 98% do nitrogênio presente no resíduo está na forma orgânica, porém, no decorrer do processo o nitrogênio orgânico transforma-se em nitrogênio amídico e depois em nitrogênio amoniacal, dando à massa em decomposição um pH mais elevado ainda, pela reação alcalina, característica da amônia. Nitrosomonas e nitrobactérias transformam esse nitrogênio amoniacal em nitrato (NO_3^-), que é o produto final da degradação do nitrogênio orgânico.

Os perfis de variação do pH mostraram-se bem próximos também com os resultados obtidos por Campos & Blundi (1999).

5.3.3 Sólidos Fixos

A Figura 39 apresenta a porcentagem média de sólidos fixos obtidos para cada tratamento estatístico, ao longo do processo de compostagem.

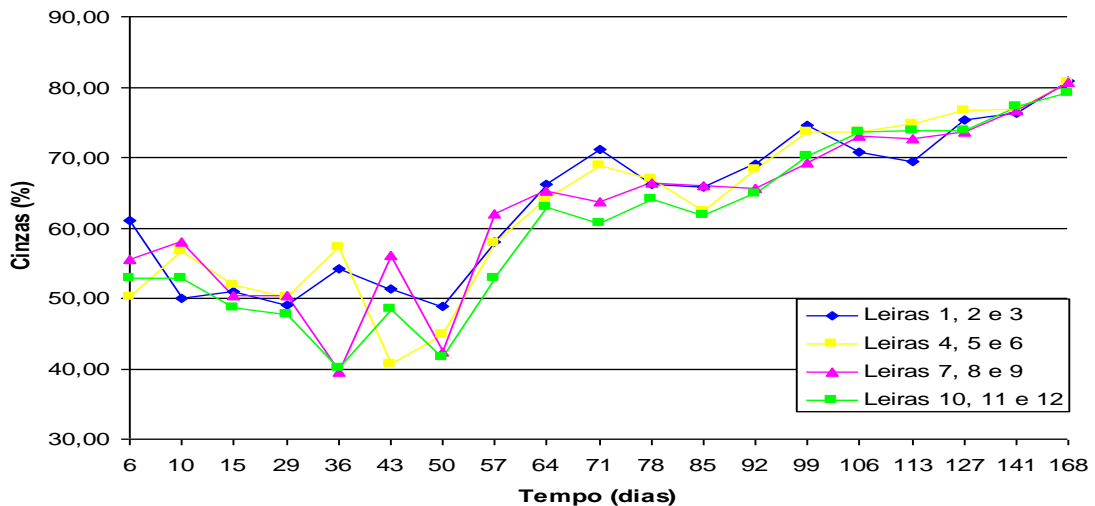


Figura 39 – Variação do teor de cinzas das leiras ao longo do processo de compostagem

Ao longo do experimento pôde-se observar a diminuição da matéria orgânica, ou seja, dos sólidos voláteis, como enunciado por Muniz (2001) e também por Queiroz (2007), que verificaram a redução da porcentagem de sólidos voláteis à medida que a matéria orgânica era degradada, ocorrendo consequentemente um aumento no percentual de sólidos fixos, ou seja, as cinzas, propriamente ditas.

Nota-se que as leiras, em sua totalidade, apresentaram comportamento semelhante, tendo o teor de cinzas aumentado gradualmente durante o experimento, em todas as leiras. Observa-se que o teor de cinzas inicial estava próximo a 50%, e, transcorridos os 168 dias do experimento, o percentual aproximou-se de 80%, nas 12 leiras.

É interessante observar que o alto crescimento do teor de sólidos fixos coincide com a grande elevação da temperatura, por volta dos 64º dia de experimento, quando houve maior suprimento de água através do auxílio do caminhão-pipa e um aumento na intensidade de degradação dos resíduos sólidos presentes na leira.

5.3.4 Carbono Orgânico

A Figura 40 apresenta a variação do Carbono Orgânico Total, para cada tratamento estatístico, ao longo do processo de compostagem.

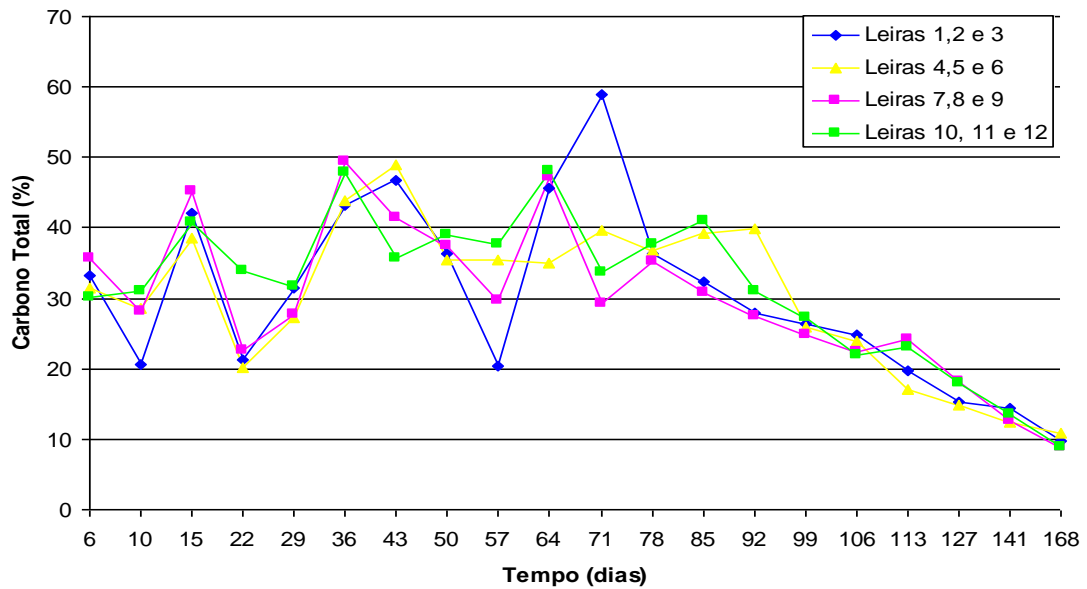


Figura 40 – Variação do carbono orgânico total ao longo do processo de compostagem

Na Figura 40 observa-se que a porcentagem inicial de carbono orgânico total presente nas leiras estava entre a faixa 30 e 35%. Ao longo do processo constatou-se um declínio na porcentagem de carbono total, acentuado, sobretudo, a partir do 92º dia.

Ao final dos 168 dias de processo todas as leiras apresentaram porcentagem de carbono orgânico total próximo a 10, sendo válido ressaltar que não foi comprovada diferença significativa entre os tratamentos em relação a este parâmetro.

Ao monitorar leiras de compostagem de resíduos sólidos domiciliares Blundi & Campos (1999) notaram também uma gradual diminuição da porcentagem de carbono orgânico total ao longo do processo, indicando, assim, a transformação da matéria orgânica em matéria mineralizada.

É válido ressaltar que a técnica analítica empregada para determinação do carbono orgânico é a mesma utilizada para área de solos, ou seja, o Método Walkley-Black,

no qual a eficiência da oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio apresenta média de 77%. Tal fato é alvo de discussão visto que o emprego de outras técnicas, tais como o método COT certamente conduzirão a resultados distintos na quantificação do carbono orgânico.

5.3.5 Nitrogênio Kjeldahl Total, Amoniacal e Nítrico

Outro parâmetro analisado no decorrer do processo de compostagem foi a transformação do nitrogênio através da determinação do nitrogênio Kjeldahl total. O comportamento do nitrogênio total durante a compostagem é apresentado na Figura 41.

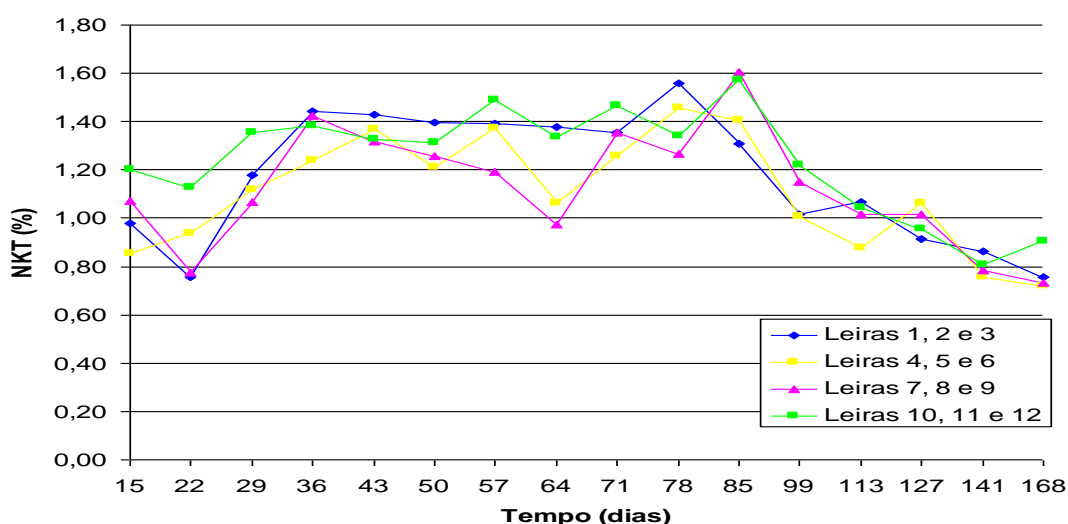


Figura 41 – Variação do nitrogênio Kjeldahl total das leiras no decorrer do processo de compostagem

Em relação à evolução do nitrogênio total durante as semanas de compostagem, nota-se que as 12 leiras apresentaram comportamento semelhante, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. Em todas as leiras, com exceção das leiras de 1 a 3, houve um nítido decréscimo do percentual de NKT no 64º dia do experimento, tendo as leiras 7 a 12 alcançado um valor máximo de concentração de NKT na 13ª semana, ou seja, no 85º dia. Ao final do experimento, todas as leiras apresentaram valores semelhantes entre si (faixa 0,7 a 0,9%), porém não condizentes com os apresentados por Campos (1998) e Kiehl (1998), cujos

trabalhos apontam um pequeno acréscimo no teor de nitrogênio total em leiras compostadas.

A Figura 42 apresenta a evolução do Nitrogênio Amoniacal e Nítrico no decorrer do processo de compostagem.

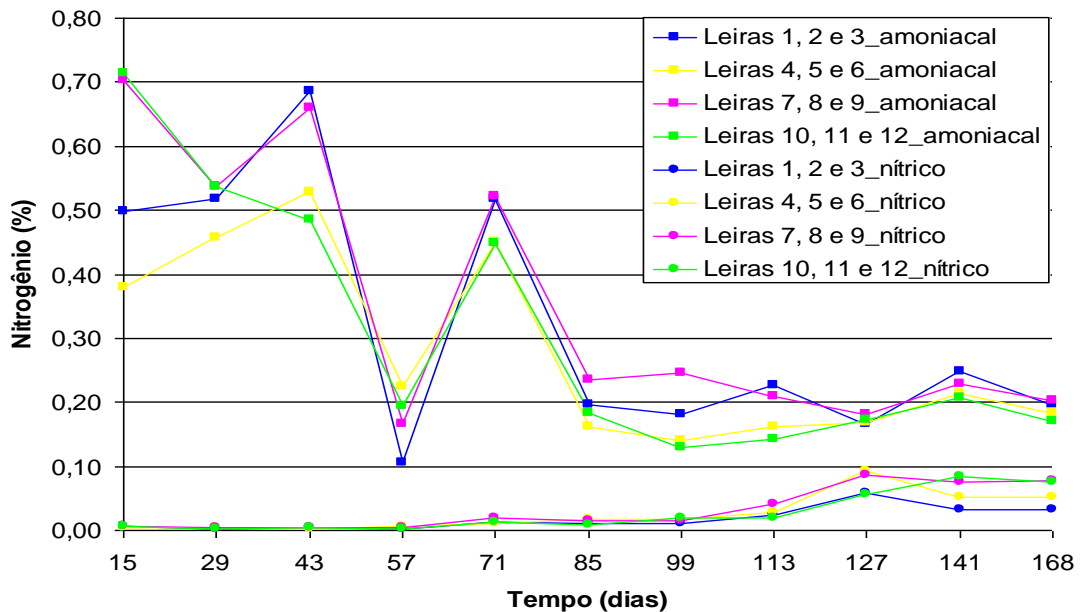


Figura 42 – Evolução do Nitrogênio Amoniacal e Nítrico, por tratamento, ao longo do processo de compostagem

Observa-se que ao longo do processo de compostagem há uma diminuição da porcentagem de nitrogênio amoniacal, visto que a porcentagem inicial variou, entre os tratamentos, de 0,38 a 0,72 e, de maneira geral, chegou a valores próximos de 0,20%, em todos os tratamentos, ao final do período de compostagem.

Em relação ao nitrogênio nítrico verifica-se que sua formação se dá, sobretudo, a partir do 99º dia de compostagem, atingindo ao final do processo valores próximos a 0,07%.

Do ponto de vista agrônomo, diante destes resultados, o processo de compostagem poderia ser interrompido aos 100 dias, ou melhor, antes da transformação do nitrogênio amoniacal em nítrico, visto a possibilidade de lixiviação.

No entanto, esta decisão deve ser tomada levando-se em conta a relação C/N, que no caso aos 100 dias estava na faixa entre 21 a 26, ou seja, superior ao

estabelecido pelo Ministério da Agricultura, porém, dentro do limite estabelecido por Jimenez & Garcia (1989 apud CAMPOS & BLUNDI, 1999).

5.3.6 Relação C/N

A relação C/N foi acompanhada ao longo do processo de compostagem. A Figura 43 apresenta a variação desta relação no decorrer do experimento.

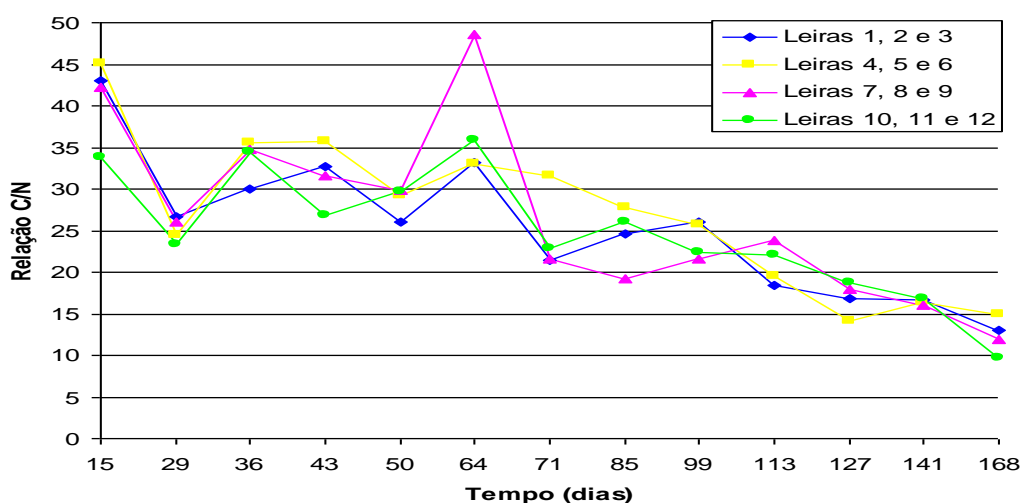


Figura 43 – Variação da relação C/N das leiras no decorrer do processo de compostagem

Nota-se que, com exceção das leiras 10 a 12, a relação C/N inicial apresentou-se ligeiramente elevada, em comparação com o proposto por Kiehl (1998), considerando-se que as mesmas apresentaram relação C/N próxima a 45. Ao final do processo todas as leiras, sem exceção, alcançaram uma relação C/N final na faixa entre 10 e 15, condizente com o enunciado por Kiehl (1998) e Muniz (2001).

De acordo com Jimenez & Garcia (1989 apud CAMPOS & BLUNDI, 1999), todas as leiras apresentaram degradação satisfatória, levando-se em conta que a relação C/N final / C/N inicial em todas elas foi próxima a 0,30.

5.4 BENEFICIAMENTO DO COMPOSTO

Como já mencionado anteriormente, antes do peneiramento do composto procedeu-se a determinação da densidade de cada uma das leiras, bem como do respectivo composto resultante. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 20 juntamente com o peso do composto produzido e respectivos valores de rejeito e recicláveis obtidos em cada uma das 12 leiras.

Tabela 20 – Densidade da leira, densidade do composto, massa de composto produzido e quantificação de rejeitos e recicláveis obtidos ao final do peneiramento para cada uma das 12 leiras

Leira	Densidade da leira (t/m ³)	Densidade do composto (t/m ³)	Massa de composto produzido (Kg)	Recicláveis + Rejeito (Kg)
1	0.36	0.86	2.433,0	1.922,5
2	0.43	0.78	1.985,5	1.694,5
3	0.37	0.78	1.519,0	1.271,0
4	0.51	0.87	2.060,0	1.845,0
5	0.49	0.75	2.578,5	2.002,0
6	0.52	0.82	2.079,0	1.450,0
7	0.52	0.79	2.511,5	1.254,5
8	0.58	0.85	2.670,0	1.250,0
9	0.48	0.83	2.496,0	1.159,5
10	0.58	0.76	1.901,0	896,0
11	0.35	0.76	1.974,0	843,0
12	0.58	0.79	2.338,0	1.016,0

Com o intuito de comparar a quantidade de rejeito gerado e recicláveis descartados em cada uma das respectivas leiras, calculou-se a massa total de resíduos contidos em cada uma das leiras, através da somatória da massa de composto produzido e do rejeito e recicláveis descartados, e com base nos valores obtidos foi determinada a percentagem de rejeito e recicláveis resultante em cada uma das leiras, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Massa total de cada uma das 12 leiras e respectivas porcentagens de rejeito e recicláveis descartados

Leira	Massa total de resíduos da leira (Kg)	% de rejeito e recicláveis em relação à massa da leira
1	4.355,5	44,1
2	3.680,0	46,0
3	2.790,0	45,6
4	3.905,0	47,2
5	4.580,5	43,7
6	3.529,0	41,1
7	3.766,0	33,3
8	3.920,0	31,9
9	3.655,5	31,7
10	2.797,0	32,0
11	2.817,0	29,9
12	3.354,0	30,3

Nota-se claramente que a porcentagem de rejeito presente nas leiras de 1 a 6 é superior ao valor encontrado nas leiras de 7 a 12, considerando-se que a média da porcentagem de rejeito contido nas primeiras é da ordem de 44,6%, enquanto nas últimas este valor fica em torno de 31,5%. Essa diferença deve-se, evidentemente, à triagem realizada em esteira pelos associados da ACAMART.

A Tabela 22 apresenta os resultados de nutrientes inorgânicos, metais pesados, CTC, CRA, condutividade elétrica, ácidos húmicos, fúlvicos e humina para os 4 tratamentos estatísticos.

Tabela 22 - Parâmetros inorgânicos, metais pesados, CTC, CRA, condutividade, ácidos húmicos, fúlvicos e humina dos compostos produzidos nos 4 tratamentos

Parâmetro	Resultados				Unidade
	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	
Boro Total	118,5	113,9	104,9	109,8	mg B/ kg
Cádmio Total	N.D	N.D	N.D	N.D	mg Cd/ kg
Cálcio Total	11.000,0	9.715,0	8.877,0	10.650,0	mg Ca/ kg
Chumbo Total	17,78	20,07	18,85	17,51	mg Pb/ kg
Cobre Total	41,16	3.010,0	57,45	51,0	mg Cu/ kg
Cromo Total	24,59	43,45	33,56	39,42	mg Cr/ kg

Continua...

Conclusão.

Parâmetro	Resultados				Unidade
	Tratamento	Tratamento	Tratamento	Tratamento	
	1	2	3	4	
Enxofre Total	1.049,0	948,9	948,10	1.036,0	mg S/ kg
Ferro Total	7.999,0	6.388,0	7.438,0	6.252,0	mg Fe/ kg
Fósforo Total	1.521,0	954,9	1.290,0	1.259,0	mg P/ kg
Magnésio Total	1.660,0	1.493,0	1.449,0	1.512,0	mg Mg/ kg
Manganês Total	118,9	132,0	124,0	116,0	Mg Mn/kg
Mercurio Total	N.D	N.D	N.D	N.D	mg Hg/ kg
Níquel Total	5,98	6,70	6,80	8,16	mg Ni/ kg
Potássio Total	2.750,0	2.350,0	2.150,0	2.550,0	mg K/ kg
Zinco Total	286,0	105,4	93,67	106,8	mg Zn/ kg
CTC	153,0	164,0	199,0	117,0	mmol/kg
CRA	31,3	14,6	5,30	50,10	%
Condutividade	7,09	5,32	5,29	5,48	mS/cm
Ácido húmico	0,20	0,17	0,17	0,20	%
Ácido fúlvico	0,03	0,03	0,02	0,03	%
Humina	6,87	5,05	8,75	7,94	%

Nota-se que os valores de metais pesados apresentados na tabela 22 estão bem inferiores aos limites estabelecidos pela IN DAS n° 27/2006, com exceção do cobre encontrado no tratamento 2, que se encontra muito superior ao estabelecido que é de 200 mg/kg, evidenciando talvez um desvio de amostra ou até mesmo erro na análise laboratorial.

Observa-se também que ao longo do processo houve um aumento dos teores de cálcio, enxofre, fósforo e potássio e decréscimo do teor de magnésio.

Em relação à CTC e à CRA verifica-se que houve decréscimo referente aos valores iniciais, contrariando o enunciado por Kiehl (1998). Os valores de CTC e CRA dos compostos produzidos também não estão de acordo com os valores estabelecidos pela IN DAS n°37/2006. A relação CTC/C dos compostos produzidos apresenta-se na faixa compreendida entre 12 a 17, ou seja, ligeiramente inferior ao estabelecido pela IN 37/2006 do Ministério da Agricultura que estabelece um valor mínimo de 20.

A conformidade dos compostos produzidos em relação aos demais parâmetros estabelecidos pelo anexo I da IN 23/2005 do Ministério da Agricultura (Tabela 11), foi verificada quanto à umidade, pH e relação C/N, estando as porcentagens de nitrogênio total e carbono orgânico ligeiramente inferiores ao estabelecido, conforme apresentado neste capítulo.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas pela presente pesquisa, as considerações gerais do autor bem como as sugestões para futuros estudos relacionados ao tema.

6.1 CONCLUSÕES

6.1.1 Quanto ao Monitoramento dos Parâmetros

- Deve-se considerar que os resíduos sólidos ficaram armazenados por 9 dias antes de iniciar a montagem do experimento, assim, no primeiro dia de experimento grande parcela dos resíduos sólidos já haviam entrado em decomposição há quase 10 dias;
- Não houve diferença estatisticamente significativa para os parâmetros avaliados, ao longo do processo de compostagem, entre os quatro tratamentos;
- O comportamento da temperatura foi muito semelhante ao longo dos tratamentos. A temperatura inicial das leiras apresentou-se na faixa de 44 a 55°C, tendo havido um aumento pronunciado, sobretudo entre o 62º ao 71º dia do processo de compostagem, quando algumas leiras registraram temperatura máxima próxima a 80°C,
- Os valores de temperatura registrados no topo e no meio das leiras apresentaram-se bem próximos entre si, em todos os tratamentos, (faixa média compreendida entre 44 a 80°C) enquanto os valores obtidos na base mostraram-se menores (faixa média compreendida entre 25 a 60°C);

- A umidade inicial apresentada pelas leiras variou de 35 a 40,5%. Na 8ª semana do experimento houve um decréscimo da umidade nas leiras 4 a 12, tendo algumas delas apresentado umidade inferior a 15%;
- Em nenhum momento do experimento foi registrado excesso de umidade das leiras, como pode ser comprovado pela ausência da geração de percolato;
- O pH inicial das leiras variou de 6,2 a 6,6 e transcorridos 15 dias todas elas aproximaram-se da faixa de pH compreendida entre 8,0 e 8,9. Ao final do processo o pH foi em torno de 8,1;
- Ao longo do processo de compostagem observou-se diminuição dos sólidos voláteis e conseqüente aumento da porcentagem de cinzas, a qual passou de 50%, no início do experimento, para 80%, ao final do processo;
- A porcentagem inicial de carbono orgânico variou de 30 a 35%. A partir do 92º dia notou-se um declínio desta porcentagem atingindo, ao final do experimento, valor próximo a 10%;
- A porcentagem inicial de NKT variou entre 0,85 e 1,20%. Ao final do experimento, todas as leiras apresentaram valores semelhantes entre si, na faixa compreendida entre 0,7 e 0,9%;
- A porcentagem de nitrogênio amoniacal sofreu um decréscimo ao longo do processo, partindo-se de valores iniciais compreendidos na faixa de 0,38 a 0,72% e atingindo, ao final do processo, valores próximos a 0,20%, provavelmente devido ao aumento do pH ou perda na forma gasosa;
- Houve formação de nitrogênio nítrico em todas as leiras, sobretudo a partir do 99º dia de compostagem, resultando em valores finais próximos a 0,07%;

- A relação C/N inicial variou entre 34 e 45, sendo que ao final do processo de compostagem todas as leiras alcançaram uma relação C/N na faixa entre 10 e 15;
- Conforme pode-se deparar dos resultados, a baixa eficiência de um programa municipal de coleta seletiva, a ausência de esteira ou equipamentos para trituração de resíduos sólidos não impedem a implementação do processo de compostagem;
- O revolvimento das leiras pode ser semanal, visto que não houve diferença estatisticamente significativa quando o revolvimento foi realizado duas vezes por semana.

6.1.2 Quanto ao Composto Produzido

- A massa de composto produzida por leira variou de 1.5 a 2.6 toneladas; enquanto o rejeito variou de 0.84 a 2,0 toneladas, sendo que a porcentagem de recicláveis e rejeito foi maior nas leiras de 1 a 6 , em média 44,6%, em comparação com as leiras 7 a 12, as quais apresentaram um valor médio de 31,5%;
- A triagem complementar realizada no Centro de Triagem e Compostagem do município estudado reduziu em apenas 13.5% a massa de rejeitos presentes nas leiras a serem compostadas, reforçando a ideia de que uma coleta seletiva eficiente dispensa a triagem em centrais, para a obtenção de um composto orgânico de boa qualidade;
- De maneira geral os compostos produzidos apresentaram boa qualidade quando comparados com os parâmetros estabelecidos pela legislação pertinente, com exceção dos valores de CTC e CRA os quais mostraram-se inferiores ao estabelecido pelo Ministério da Agricultura para um composto orgânico a ser aplicado na agricultura.

6.2 CONSIDERAÇÕES DA AUTORA

Através do desenvolvimento deste trabalho a autora deixa como contribuição algumas percepções que não foram mensuradas, mas que considera relevantes.

6.2.1 Quanto ao Sistema de Coleta Seletiva

- Há carência de dados relativos ao Programa Municipal de Coleta Seletiva de Martinópolis por falta de monitoramento do Programa pelo setor municipal responsável;
- Observou-se que embora o município tenha sido contemplado com um Programa Municipal de Coleta Seletiva há mais de dois anos, a adesão da população ainda é insatisfatória, haja vista a grande quantidade de recicláveis que chegam à Central de Triagem e Compostagem, misturados à massa de resíduos sólidos domiciliares advindos da coleta regular;
- Devido à baixa adesão da população ao Programa os associados da ACAMART necessitam triar não somente os recicláveis, mas também todos os resíduos advindos da coleta regular, devido à grande quantidade de recicláveis presentes, fato que gera insatisfação aos mesmos;
- Um dos fatores que pode ser apontado para a falta de adesão ao Programa Municipal de Coleta Seletiva é a carência de medidas de interesse e controle mais efetivas por parte dos gestores municipais, o que também se reflete no tocante à organização e operacionalização da ACAMART.

6.2.2 Quanto ao Composto Produzido

- A peneira utilizada para o beneficiamento do composto mostrou-se pouco eficiente devido ao desgaste físico requerido para sua alimentação e,

também, aos embuchamentos constantes da máquina em decorrência da grande presença de recicláveis e materiais grosseiros na massa de resíduos peneirada;

- As condições desfavoráveis a que foram submetidas as leiras, no decorrer do processo, não impediram a maturação do composto uma vez que através das análises dos parâmetros monitorados todas as leiras completaram o processo de compostagem com sucesso;
- Embora tenha havido grande presença de recicláveis e rejeito na massa compostada, foi possível obter um composto de boa qualidade, como mostraram as análises realizadas em laboratório, ou seja, a presença de inorgânicos nas leiras de compostagem não prejudica a degradação biológica dos resíduos sólidos orgânicos;
- O mercado para a comercialização do composto produzido é promissor, considerando-se a procura do composto por muitos agricultores da região ao final da pesquisa.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a eficiência dos métodos analíticos utilizados para determinação do carbono orgânico total presente nas leiras de compostagem;
- Determinar o tempo mínimo requerido para a maturação de leiras submetidas ao processo de compostagem em relação à variação da relação C/N;
- Avaliar a influência da formação de nitrogênio nítrico no processo de compostagem e a qualidade do composto produzido.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**: 2007. ABRELPE, 2007. Disponível em:<http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 15 JUL. 2009.
- ABREU, M. F. **Do lixo à cidadania**: estratégias para a ação. Brasília: Caixa, 2007.
- ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. 2008. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- ARAGÃO, J. M. S.; SANTOS, S. M.; ARAÚJO, J. M. Ocorrência de Actinomicetos com atividade antifúngica em compostagem de resíduos sólidos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 3-8 dez. 2000, Porto Alegre.
- BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 204 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- BLEY JÚNIOR, C. Usinas de lixo no Brasil: gerenciamento atual e perspectivas. **Revista ABLP**, n. 40, jan./fev./mar. 1993. Disponível em: <www.ecoltec.com.br/publicaçõe técnicas.htm>. Acesso em: 27 maio 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n. 23, de 31 de Agosto de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 set. 2005. Seção 1, p. 12.
- _____. Instrução Normativa n. 27, de 31 de Julho de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 4 ago. 2006. Seção 1, p. 13.
- _____. Instrução Normativa n. 35, de 04 de Julho de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2006.
- BRINGHENTI, J. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos**: aspectos operacionais e da participação da população. 2004. 235 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. 2008.124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracaju, SE, 2008.

BRINTON, W. F. **Compost quality: standards & guidelines: an international review.** New York: New York State Association of Recyclers, 2000. 42 p.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo.** 4. ed. São Paulo: Humanitas, FFLCH/USP, 2003.

CAMPOS, A. L. O. **Avaliação metodológica da estabilização da fração orgânica putrescível em uma leira de compostagem de resíduos sólidos domiciliares.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

CAMPOS, A. L. de O.; BLUNDI, C. E. **Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1999

CAMPOS, H. K. T. **Estudos preliminares para seleção de alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos.** In: DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, 1., 1992, Belo Horizonte. **Curso.** Belo Horizonte: ABES, 1992. p. 1-12.

CAMPOS, J. de O. (Org.); BRAGA, R. (Org.); CARVALHO, P. F. (Org.). **Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental.** Rio Claro: IGCE, UNESP, 2002.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás: digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás.** Vitória: ABES, 2003. (RiMa – Projeto PROSAB).

CELERE, M. S. et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939-947, 2007.

CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas.** Campinas: CEPAGRI, 2006.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE e DESENVOLVIMENTO, 14 jun. 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21.** Rio de Janeiro: ONU, 1992.

D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2. ed. São Paulo: IPT, CEMPRE, 2000.

DALZELL, H. W.; GRAY, K. R.; BIDDLESTONE, A. J. **Composting in tropical agriculture.** 2nd ed. England: International Institute of Biological Husbandry, 1981.

EIGENHEER, E. M. (Org.). **Coleta seletiva no Brasil.** Rio de Janeiro: In Folio, 1999. p. 42 – 47. (Experiências Brasileiras; n. 3).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

_____. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos.** Fortaleza: EMBRAPA, 2004.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas–SP.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UNICAMP, Campinas, 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain english guide to the EPA: part 503 biossolids rule.** Washington: Office for Wastewater Management, 1994. Cap. 5.

EPSTEIN, E. **The science of composting.** Boca Raton, FL: CRC Press, 1997.

FEHR, M.; CASTRO, M. S. M. V.; CALÇADO, M. Lixo biodegradável no aterro, nunca mais. **Banas Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 10, p. 12-20, 2001.

FERNANDES, F.; HOSSAKA, A. L.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do processo de triagem e do composto produzido com resíduos sólidos urbanos em uma cidade de porte médio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2-7 set. 2007, Belo Horizonte. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2007.

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

FINNVEDEN, G. et al. A life cycle assessment of energy from solid waste. Part 1: general methodology and results. **Journal of Cleaner Production**, Cambridge, MA, v. 13, p. 213-229, 2005.

GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Solid waste management by composting: state of art. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 311-400, Sept. 2008.

GODOY JÚNIOR, E. et al. Sistema de armazenamento e de filtragem de biogás de esgoto em PVC. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: QUALIDADE AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL, 4., 24-26 maio 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: PUC, 2004. CD ROM.

GONÇALVES, R. **Proposta de um instrumento de avaliação para subsidiar processos de licenciamento ambiental de centrais de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares.** 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. Coleta seletiva de lixo: reciclando materiais, reciclando valores. **Publicação Polis**, São Paulo, n. 31, 1998.

HAUG, R. T. **The practical handbook of compost engineering.** Boca Ratón, FL: Lewis Publ., 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Departamento de Estatística e Indicadores Sociais. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000**. Brasília: IBGE, 2001.

JARDIM, N. S., et al. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1. ed. São Paulo: IPT, CEMPRES, 1995.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5., 2003, Porto Alegre, RS. **REGEO'2003**. Porto Alegre, 2003.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen inorganic forms. In: PAGE et al. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 2: chemical and microbiological properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 643-698.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

_____. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: O Autor, 1998. ENCONTREI 3.ED. 2002 na internet

_____. Qualidade de composto orgânico e comercialização. In: SIMPÓSIO Sobre Compostagem: Ciência e Tecnologia, 1., 19-20 ago. 2004, Botucatu. Botucatu: Unesp, 2004.

LASARIDI, K. et al. Quality assessment of composts in the greek market: the need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, London, v. 80, p. 58-65, 2006.

LELIS, M.P.N.; PEREIRA NETO, J. T. A contaminação biológica na compostagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

_____. Usinas de reciclagem de lixo: por que não funcionam? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 2004.

LIMA, R. M. S. R. **Implantação de um programa de coleta seletiva porta a porta com inclusão de catadores: estudo de caso em Londrina – PR**. 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 355-360, 2007.

MILANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade**: princípios, indicadores e instrumentos de ação. 2002. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

MUNIZ, A. C. S. et al. **Eficiência da transformação de carbono total e nutrientes no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.; FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 4., João Pessoa, 16-21 set. 2001. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba, 2008. 19 p. Anotações de aula. Disciplina: Matéria Orgânica do Solo.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Relatório da avaliação regional dos serviços de manejo de resíduos sólidos municipais na América Latina e Caribe**. Washington, D.C.: OPAS, 2005.

PEREIRA NETO, J. T. Conceitos modernos de compostagem. **Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p.104-109, 1989.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 65 p.

_____. **Métodos de transformação e aproveitamento da fração orgânica**: minimização da quantidade de resíduos dispostos em aterro. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 249 p.

RESOL. **Gerenciamento integrado do lixo**. 2004. Disponível em: <<http://www.resol.com.br>>. Acesso em: 7 out. 2008.

RIZK, M. C. **Tratamento de resíduos frutihortícolas**. 2009. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Ciências Agrícolas**, Equador n. 21, p. 556-562, 1994.

ROVIRIEGO, L. F. V. **Proposta de uma metodologia para a avaliação de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares**. 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em:
<http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf>

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixture. **Bioresource Technology**, Essex, Eng., v. 78, p. 301-308, 2001.

SILVA, R. C. et al. Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. **Embrapa: Circular Técnica**, n. 3, p. 1-17, 2002.

SOUZA, Danielle Maia de; RUBINGER, S. D. Implementação da análise do ciclo de vida na gestão dos resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005.

SIQUEIRA, F. G. **Efeito do teor de nitrogênio inoculantes e métodos de compostagem para cultivo de *Agaricus blazei***. 2006. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

SOUZA, Danielle Maia de; RUBINGER, S. D. . Implementação da Análise do Ciclo de Vida na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos. In: 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Anais do 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. (Ed.) et al. **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. v. 3, p. 1011-1020. (SSSA. Book Series; 5).

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. Controle ambiental de resíduos. In: ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C.; PHILIPPI JR, A. **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004. p. 155-211.

VAN RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. p. 270-276.

APÊNDICE

LEIRA 12											
DATA	TEMP. AMB. (°C)	Umidade do ar (%)	TEMPERATURA								
			TOPO			MEIO			BASE		
10/jun/08	22,5	28	55,0	47,2	57,8	65,0	48,9	57,2	50,0	58,3	58,3
11/jun/08	21,1	46	53,3	47,2	51,1	61,7	60,0	56,1	40,6	39,4	39,4
12/jun/08	27,6	47	48,9	56,1	71,7	67,2	65,6	62,8	48,9	44,4	40,6
13/jun/08	24,8	65	57,2	45,6	70,6	66,7	65,0	62,2	42,2	43,3	39,4
14/jun/08	26,9	41	50,0	57,8	61,1	63,9	67,8	68,9	52,2	50,6	60,0
15/jun/08	20,8	66	36,7	57,8	58,9	39,4	67,8	71,1	42,2	50,6	52,2
16/jun/08	12,7	36	65,0	41,7	62,2	64,4	58,3	69,4	44,4	41,7	45,0
17/jun/08	7,9	81	58,3	48,3	60,0	71,1	65,6	65,6	46,7	53,9	64,4
18/jun/08	16,9	66	65,6	55,6	48,9	70,6	68,3	43,3	61,1	62,2	37,8
19/jun/08	21,5	51	62,8	60,6	67,2	69,4	65,6	68,3	43,9	45,6	47,8
20/jun/08	19,5	58	73,3	66,7	73,9	65,6	73,9	67,8	35,0	39,4	37,2
21/jun/08	18,9	94	56,7	72,2	66,7	68,3	73,3	72,2	42,8	49,4	45,6
22/jun/08	16,6	70	55,6	73,3	65,6	67,2	73,3	56,7	58,3	52,2	53,3
23/jun/08	20,4	40	63,3	67,2	70,0	65,6	70,6	65,0	43,9	49,4	45,6
24/jun/08	14,3	87	68,9	68,9	71,1	66,7	70,0	73,9	41,1	44,4	44,4
25/jun/08	19,8	64	48,3	71,1	69,4	58,3	69,4	68,3	46,1	50,6	48,3
26/jun/08	23,0	55	49,4	60,0	41,1	63,3	69,4	61,7	43,9	61,7	56,7
27/jun/08	17,0	77	51,1	56,1	62,2	54,4	64,4	62,2	48,9	50,0	47,2
28/jun/08	24,0	39	52,8	71,1	47,2	56,1	72,2	69,4	48,9	55,0	47,2
29/jun/08	25,2	43	52,8	68,3	61,7	47,2	64,4	66,1	35,0	43,3	51,7
30/jun/08	24,1	59	60,6	55,6	53,9	58,9	69,4	71,1	30,0	43,9	35,6
1/jul/08	23,4	39	61,1	68,9	68,9	56,1	70,0	70,0	41,7	44,4	47,8
2/jul/08	22,1	52	70,0	58,9	36,1	91,1	64,4	52,2	39,4	37,2	36,1
3/jul/08	24,8	38	60,0	60,6	63,3	67,2	71,1	51,1	38,9	41,1	41,7
4/jul/08	20,1	59	57,2	57,8	43,3	66,7	66,7	57,8	36,7	55,0	42,2
5/jul/08	25,3	22	64,4	51,1	47,8	62,8	57,2	53,9	36,1	51,7	40,6
6/jul/08	26,7	28	48,9	50,0	63,3	57,2	53,9	52,2	36,7	47,8	38,3
7/jul/08	29,1	21	47,2	52,2	47,2	47,8	57,8	55,6	37,8	40,0	42,8
8/jul/08	20	37	54,4	53,9	58,9	51,1	62,8	55,0	50,6	53,3	44,4

Continua...

Continuação...

LEIRA 12											
DATA	TEMP. AMB. (°C)	Umidade do ar (%)	TEMPERATURA								
			TOPO			MEIO			BASE		
9/jul/08	21,7	36	35,6	43,3	44,4	43,3	38,3	56,1	36,7	36,7	43,3
10/jul/08	19,1	53	41,1	40,0	48,3	50,6	43,3	51,1	36,1	36,1	41,7
11/jul/08	21	50	47,8	46,1	46,7	52,8	53,9	53,9	38,3	40,0	38,3
12/jul/08	23,9	33	46,1	41,7	44,4	46,1	43,3	49,4	35,6	35,6	41,1
13/jul/08	24,9	27	48,3	44,4	48,9	47,2	43,9	48,9	38,9	41,1	41,1
14/jul/08	23,7	31	57,2	60,0	49,4	54,4	66,7	45,0	35,0	41,7	35,6
15/jul/08	13	61	50,6	45,0	36,7	53,9	58,3	40,0	35,6	42,2	33,9
16/jul/08	25,2	10	33,3	51,1	51,7	29,4	58,3	51,7	30,0	41,7	30,6
17/jul/08	15,3	10	30,6	68,9	55,0	29,4	56,7	38,9	28,9	47,2	28,3
18/jul/08	24	25	42,8	56,1	30,0	38,9	38,9	30,6	33,9	34,4	29,4
19/jul/08	15,7	44	52,2	60,0	32,8	33,3	50,6	32,8	31,7	35,6	30,6
20/jul/08	28,6		40,6	37,8	34,4	34,4	44,4	38,3	36,1	37,2	36,7
21/jul/08	18,3	29	31,1	26,7	35,0	43,3	47,8	47,2	35,6	33,3	32,8
22/jul/08	18,5	24	46,1	43,9	38,3	42,8	47,2	40,0	36,1	40,0	36,7
23/jul/08	20,9	32	44,4	43,9	36,7	36,1	36,7	37,2	31,7	36,1	30,6
24/jul/08	17,1	89	51,1	58,9	65,0	44,4	53,3	57,2	37,8	43,3	38,3
25/jul/08	14,8	98	43,9	66,7	53,9	39,4	66,7	59,4	38,3	52,2	42,2
26/jul/08	22,5	46	56,7	66,7	55,6	61,7	68,3	60,6	46,1	45,0	42,8
27/jul/08	21,2	48	55,6	63,9	53,3	60,0	65,0	58,3	45,6	43,3	41,1
28/jul/08	19,7	42	50,6	50,0	46,7	50,6	57,2	43,9	40,6	42,2	34,4
29/jul/08	29,2		43,9	44,4	34,4	52,8	59,4	49,4	42,2	51,7	34,4
30/jul/08	24,9	18	32,8	51,7	41,7	42,2	48,3	48,3	37,2	39,4	31,7
31/jul/08	20,3	22	35,6	51,1	51,7	50,0	54,4	52,8	35,6	38,3	36,1
1/ago/08	16,7	76	39,4	40,0	65,0	42,8	55,6	56,1	33,9	38,9	41,1
2/ago/08	18,3	85	59,4	60,0	40,6	43,3	57,8	49,4	29,4	38,9	38,9
3/ago/08	18,6	86	60,0	60,0	46,1	54,4	55,6	53,9	37,8	41,1	38,3
4/ago/08	15,8	99	61,1	54,4	52,2	57,2	66,7	66,7	31,7	36,1	43,9
5/ago/08	16,9	78	38,3	55,6	53,3	50,6	59,4	65,0	38,9	50,0	43,9

Continua...

Continuação...

LEIRA 12											
DATA	TEMP. AMB. (°C)	Umidade do ar (%)	TEMPERATURA								
			TOPO			MEIO			BASE		
6/ago/08	18,5	92	39,4	54,4	52,2	60,6	60,0	53,3	37,8	44,4	37,8
7/ago/08	19,6	66	43,3	66,1	32,8	51,7	57,8	47,2	37,2	37,2	35,0
8/ago/08	19,0	88	74,4	85,0	64,4	53,3	67,8	63,9	39,4	46,7	40,0
9/ago/08	15,6	95	75,6	75,6	86,1	69,4	67,8	59,4	43,9	42,2	43,3
10/ago/08	23,7	52	71,1	76,7	66,7	58,9	74,4	58,3	42,8	41,1	38,3
11/ago/08	15,0	96	89,4	90,6	76,7	73,3	81,1	68,3	33,3	45,0	38,3
12/ago/08	29,0	17	82,2	86,1	74,4	86,7	86,7	73,3	37,8	45,6	39,4
13/ago/08	23,0	37	56,7	65,0	73,9	59,4	64,4	62,8	33,9	39,4	38,9
14/ago/08	18,9	74	64,4	82,2	85,0	70,0	73,9	79,4	36,7	42,2	41,7
15/ago/08	25,3	45	77,2	81,1	68,3	66,7	69,4	72,8	36,7	45,0	35,0
16/ago/08	26,2	28	80,0	82,8	70,0	72,2	76,7	75,6	38,3	42,2	37,8
17/ago/08	32,4		74,4	76,1		65,0	66,1		36,1	38,3	
18/ago/08	32,0		81,7	85,0		68,3	78,9		39,4	44,4	
19/ago/08	23,0	21	45,0	65,0	66,7	53,9	63,3	60,0	46,7	41,1	46,1
20/ago/08	25,3	20	32,8	38,9	38,3	38,3	50,6	55,0	31,7	36,1	38,3
21/ago/08	18,0	50	50,6	56,1	57,2	48,9	54,4	57,8	33,9	35,0	37,8
22/ago/08	16,3	51	57,8	61,7	64,4	57,2	61,1	58,3	33,9	42,2	35,6
23/ago/08	16,1	80	50,0	55,6	52,2	64,4	68,9	64,4	40,0	45,6	45,6
24/ago/08	16,2	71	48,9	54,4	49,4	65,6	65,6	66,1	41,1	42,2	43,3
25/ago/08	19,2	37	38,3	66,1	40,6	61,1	64,4	57,8	44,4	40,0	39,4
26/ago/08	29,6	10	51,1	65,0	52,2	50,6	56,7	53,9	40,0	42,2	43,3
27/ago/08	18,6	62	52,8	52,8	39,4	49,4	42,2	42,2	42,8	36,7	35,6
28/ago/08	25,6	50	60,6	50,6	46,7	56,7	55,0	39,4	39,4	36,7	39,4
29/ago/08	19,0	56	66,7	58,3	51,7	65,6	55,0	57,8	40,0	38,9	41,1
30/ago/08	13,9	64	62,2	45,6	42,8	61,7	62,2	56,1		35,0	41,1
31/ago/08	14,1	68	64,4	56,1	53,9	65,6	63,3	58,3	42,8	38,3	43,9
1/set/08	15,4	76	30,6	30,6	26,7	50,0	56,1	35,6	41,1	41,7	32,8
2/set/08	18,7		40,0	45,6	28,3	53,9	59,4	26,7	38,9	41,7	27,8
3/set/08	22,2		41,7	45,6	49,4	43,9	45,0	36,7	37,2	39,4	33,9
4/set/08	24,9		45,6	54,4	47,2	52,2	51,7	39,4	42,8	41,7	36,1
5/set/08	20,9	28	51,1	56,7	52,2	56,7	51,1	44,4	37,8	41,1	36,1

Continua...

LEIRA 12											
DATA	TEMP. AMB. (°C)	Umidade do ar (%)	TEMPERATURA								
			TOPO			MEIO			BASE		
6/out/08	18,3		36,1	48,3		45,0	51,7		34,4	40,6	
7/out/08	17,8	95	46,1	47,2	48,9	43,3	48,9	48,9	36,1	38,9	38,9
8/out/08	17,0	62	47,8	48,9	47,2	48,9	51,7	46,1	33,3	37,2	35,0
9/out/08	15,4	65	36,1	48,9	48,3	45,0	50,6	48,9	35,6	40,0	36,1
10/out/08	22,7	41	40,6	48,3	51,1	40,0	47,2	45,0	33,9	37,8	34,4
11/out/08	18,4	86	47,2	42,8	48,9	44,4	47,8	44,4	36,1	38,3	36,7
12/out/08	25,3	68	43,3	45,0	44,4	48,3	52,2	49,4	36,7	40,0	37,2
13/out/08	23,2	46	37,8	47,8	46,7	40,0	48,3	46,7	34,4	36,1	36,1
14/out/08	27,9	38	38,3	45,6	47,2	38,3	48,3	42,2	35,0	36,7	35,0
15/out/08	29,6		41,1	48,3	47,2	44,4	47,8	38,9	33,3	38,3	35,0
16/out/08	23,6	56	44,4	45,6	42,2	42,2	46,7	43,3	33,9	37,2	35,0
17/out/08	19,7	69	46,1	47,2	48,9	43,9	44,4	44,4	36,1	38,3	36,7
18/out/08	18,6	76	45,6	50,0	46,1	41,1	47,8	43,9	36,7	38,3	37,8
19/out/08	24,2	60	44,4	46,7	43,3	46,7	51,1	45,0	37,2	37,8	36,7
20/out/08	23,5	66	47,8	45,6	48,3	44,4	42,8	40,0	38,3	38,9	36,1
21/out/08	21,2	77	46,1	48,3		46,1	47,2		38,9	38,9	
22/out/08	23,7	66	38,9	36,7		41,7	44,4		36,7	36,1	
23/out/08	25,9	50	40,6	35,6	33,9	40,0	41,1	42,8	35,0	33,9	36,1
24/out/08	20,0	52	37,8	41,1	39,4	39,4	45,6	45,0	32,8	36,7	34,4
25/out/08	26,5	38	42,8	40,6	40,0	43,3	41,7	46,1	35,6	35,0	37,2
26/out/08	28,8	29	38,3	42,2	37,8	46,1	45,0	47,8	35,0	35,0	35,6
27/out/08	25,0	59	41,1	42,2	46,7	43,3	48,9	50,0	37,8	37,8	33,3
28/out/08	25,5	70	48,3	55,6	42,2	43,9	51,7	43,9	38,3	38,3	35,0
29/out/08	23,1	69	39,4	45,0	39,4	41,1	44,4	46,1	38,9	37,8	40,0
30/out/08	*	*	36,7	40,6	40,0	38,9	42,8	50,6	32,2	34,4	37,8
31/out/08	22,3	90	54,4	52,8	44,4	45,6	48,3	40,6	37,8	34,4	33,3
1/nov/08	18,2	77	33,9	37,2	44,4	34,4	46,1	51,1	33,3	36,7	37,8
2/nov/08	22,6	50	38,9	42,2	43,3	46,1	48,9	48,3	35,0	37,2	34,4
3/nov/08	*	*	33,9	38,3	44,4	38,3	46,7	47,2	33,3	35,6	36,7
4/nov/08	21,7	90	44,4	40,0	42,8	39,4	42,8	46,7	35,6	35,6	36,1
5/nov/08	22,6	73	37,8	33,9	37,8	42,2	43,3	45,0	33,9	36,7	37,2

Conclusão.
