

Ministério da Saúde
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
Escola Nacional de Saúde Pública

“A temperatura como parâmetro acessível e possível de ser utilizado no controle do processo de compostagem em municípios de pequeno e médio porte”.

por

Paulo Roberto Corrêa Fritsch

*Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre em Ciências
na área de Saúde Pública*

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Débora Cynamon Kligerman

Rio de Janeiro
Março/2006

Catálogo na fonte
Centro de Informação Científica e Tecnológica
Biblioteca da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

F919t Fritsch, Paulo Roberto Corrêa
A temperatura como parâmetro acessível e possível de ser utilizado no controle do processo de compostagem em municípios de pequeno e médio porte. / Paulo Roberto Corrêa Fritsch. Rio de Janeiro: s.n., 2006.
134 p., il., tab., graf.

Orientador: Kligerman, Débora Cynamon
Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

1.Saneamento. 2.Resíduos sólidos. 3.Compostagem.
4.Processamento de Resíduos Sólidos. I.Título.

CDD -20.ed. -628.44

Grandes realizações são possíveis
quando se dá atenção aos pequenos
começos.

Lao Tse

Aos meus queridos pais, Witney e Josélia (*in memoriam*) que junto com Deus são os responsáveis pela minha existência e os grandes incentivadores da minha formação cultural, moral e espiritual.

Sempre os amarei

A Marcos e Edy-Léa, que como pais, também participaram da minha formação.

Amo vocês

À minha esposa, amiga e companheira Geysa pelo apoio, incentivo, carinho e paciência nas horas difíceis deste trabalho.

Te amo muito

Aos meus filhos Bernardo e Thiago, orgulhos da minha vida e inspiração para novas conquistas.

Amo muito vocês

Agradecimentos

- A Fundação Oswaldo Cruz, através da Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP pela oportunidade.
- A minha amiga e orientadora Prof^ª. Dr^ª. Débora Cynamon Kligerman pela sua dedicação, atenção e paciência, muito obrigado.
- Ao meu amigo Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque, por ter sido o primeiro a me incentivar a cursar o mestrado.
- A Prof^ª. Dr^ª Maria Aparecida Alves Azeredo, Prof^ª. Dr^ª Simone Cynamon. Cohen e Prof. Dr. Elmo Rodrigues da Silva, por terem aceitado participar da banca.
- A todos os professores da ENSP pela dedicação em repassar os conhecimentos necessários para o embasamento deste trabalho.
- A todos os meus amigos da Divisão de Engenharia de Saúde Pública-RJ, que me apoiaram e colaboraram para a realização deste trabalho e em especial ao amigo do peito Lúcio Bandeira.
- A amiga Alessandra Almeida, pelo apoio na formatação do texto da dissertação.
- Ao meu querido padrinho e amigo Eurico Suzart de Carvalho Neto e ao grande amigo Aladim Mendes dos Santos pelo material enviado.
- Aos funcionários do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental pelo apoio.
- Ao meu grande amigo, ex-Prefeito de Miracema, Dr. Gutemberg Medeiros Damasceno, pela confiança e apoio ao pequeno começo e ao meu novo amigo, atual Prefeito de Miracema, Carlos Roberto de Freitas Medeiros, pela continuidade.
- Aos amigos Virgiliano Reis e Paulo Schelck, em nome de todos os funcionários da UTIL, pela dedicação e apoio ao desenvolvimento da pesquisa em campo.
- Ao grande amigo Eng^o Químico Geraldo Tavares André Neto, pela importante colaboração ao não medir esforços para o sucesso deste trabalho.
- Aos meus filhos Bernardo e Thiago e a minha sobrinha Gabriela pela revisão e correção do abstract.
- A minha esposa Geysa pelo carinho na revisão final do trabalho.
- A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

Resumo

No presente trabalho é apresentado o estudo do processo de compostagem em uma unidade de tratamento de resíduos sólidos, com o objetivo de analisar a temperatura como parâmetro acessível e possível de monitoramento deste processo em municípios de pequeno e médio porte.

A metodologia utilizada foi a escolha de diferentes procedimentos durante o processo de decomposição da matéria orgânica a fim de avaliar como tais procedimentos influenciavam no processo em termos de duração, como também, na qualidade final do produto.

O resultado apresentado demonstrou que a temperatura refletiu cada etapa do processo bem como a variação dos principais fatores intervenientes do processo (umidade e aeração). Cabe ressaltar que a chuva foi o único fator externo a influenciar no período de decomposição da matéria orgânica.

Por fim, a pesquisa demonstrou que se pode estabelecer uma relação consistente entre a temperatura do processo e o grau de decomposição. Por ser um parâmetro de fácil determinação e monitoramento, e ainda, pelos resultados alcançados, o acompanhamento da compostagem apenas pela análise da temperatura vem confirmar sua praticidade e importância para os municípios de pequeno e médio porte em todo o território nacional.

Palavras – Chave: Saneamento Ambiental, Saúde Pública, Resíduo Sólido, Tratamento, Compostagem

Abstract

In this dissertation is presented the study of the composting process in a solid waste treatment unit. The objective is to show the temperature as an accessible and possible of monitoring pre-set standard in small and medium size cities.

The methodology used was a choice of different procedures during the decomposing process of the organic matters due to evaluate how this procedures have influenced in terms of duration as well as in the quality of the final product.

The results presented have shown that the temperature reflected in each step of the process as well as the variation of the principal intervenient factors of the process (Moist and oxygenation). It is suitable to put out that the rain was the only external factor to influence in the decomposing period of the organic matters.

As a final conclusion the research has shown that it is possible to establish a consistent relation between the temperature of the process and the level of the decomposition. Because the temperature is a parameter of easy determination and monitoring, and also for the results acquired, the observation of the compost just through its analysis confirms the simplicity and importance for small and medium Brazilian cities nation wide.

Key Words: Environmental Sanitation, Public Health, Solid Waste, Treatment, Composting.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – OBJETIVOS	9
1.1 – OBJETIVO GERAL	9
1.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
CAPÍTULO 2 – GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	10
2.1 – A RELAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS COM A SAÚDE PÚBLICA	10
2.2 – ASPECTOS BÁSICOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	11
2.3 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	15
2.4 – RESPONSÁVEIS PELA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.5 – CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	18
2.6 – FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS	20
2.7 – GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
2.7.1 – ACONDICIONAMENTO	22
2.7.2 – COLETA E TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
2.7.3 – TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	23
CAPÍTULO 3 — COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ...	28
3.1 – DEFINIÇÕES E CONCEITOS	28
3.2 – PRINCIPAIS PARÂMETROS QUE AFETAM A COMPOSTAGEM	30
3.2.1 - TAXA DE AERAÇÃO (OXIGENAÇÃO)	30
3.2.2 - TEOR DE UMIDADE	31
3.2.3 - TEMPERATURA	32
3.2.4 - RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N)	33
3.2.5 - GRANULOMETRIA	34
3.2.6 – POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	35
3.3 – ELIMINAÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS	36
3.4 – METAIS PESADOS	38
3.5 – A UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO NA AGRICULTURA	42
3.5.1 – TESTES DE AVALIAÇÃO DO COMPOSTO	44
CAPÍTULO 4 — A UNIDADE DE TRATAMENTO DE LIXO DE MIRACEMA/RJ	45
4.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO	45
4.1.1 – O MUNICÍPIO DE MIRACEMA	46
4.1.2 – O SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA	49
4.2 – METODOLOGIA OPERACIONAL DA UNIDADE DE TRATAMENTO	51
4.2.1 – RECURSOS HUMANOS	58
CAPÍTULO 5 — MATERIAIS E MÉTODOS	64
5.1 – DESCRIÇÃO DA PESQUISA	64
5.2 – CHUVAS DURANTE A PESQUISA	70
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
6.1 – RESULTADOS DO PRÓPRIO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	72
6.1.1 – VARIAÇÃO PADRÃO DA TEMPERATURA	84
6.1.2 – RESULTADOS APÓS O PENEIRAMENTO	85
6.2 – RESULTADOS DE METAIS PESADOS	86
6.3 – ELIMINAÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS	88
6.4 – QUALIDADE DO COMPOSTO	90

6.4.1 – ESTUDO COMPROBATÓRIO DA QUALIDADE DO COMPOSTO PRODUZIDO PELA UTIL DE MIRACEMA.	96
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	108
ANEXO 1: FICHAS DE CONTROLE DE LEIRA.	108
ANEXO 2: QUADROS DE TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.	115
ANEXO 3: FICHAS DA FAERJ – CONTROLE DE CHUVAS E TEMPERATURA.	121
ANEXO 4: LAUDO TÉCNICO – FÍSICO-QUÍMICO.	127
ANEXO 5: LAUDO TÉCNICO – MICROBIOLÓGICO.	132

FIGURAS

FIGURA 1: POPULAÇÃO POR DISTRITO (CENSO 2000)	48
FIGURA 2: FLUXOGRAMA DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE LIXO DE MIRACEMA	52
FIGURA 3: SEÇÃO TRANSVERSAL ESQUEMÁTICA DAS LEIRAS MONTADAS PARA O ESTUDO	66
FIGURA 4: CHUVAS NO PERÍODO DA PESQUISA.....	71
FIGURA 5: GRÁFICO DE TEMPERATURA DA LEIRA Nº66.....	73
FIGURA 6: Gráfico de temperatura da leira nº55	76
FIGURA 7: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº46.....	78
FIGURA 8: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº35.....	80
FIGURA 9: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº26.....	81
FIGURA 10: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº15.....	83
FIGURA 11: CURVA PADRÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	84

QUADROS

QUADRO 1: COBERTURA COM SISTEMAS DE COLETA PÚBLICA	2
QUADRO 2: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUNS PAÍSES	4
QUADRO 3: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS	5
QUADRO 4: ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS PELA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
QUADRO 5: INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO LIXO NOS SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA.....	18
QUADRO 6: FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS.....	21
QUADRO 7: INATIVAÇÃO DE PARASITAS E MICRORGANISMOS PATOGENICOS	37
QUADRO 8: CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DO COMPOSTO PARA OBTER REGISTRO NO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA	40
QUADRO 9: TEORES PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS (mg/Kg) NO COMPOSTO	40
QUADRO 10: CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO COMPOSTO.....	42
QUADRO 11: UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO.....	54
QUADRO 12: UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO - QUANTITATIVO DE PESSOAL	58
QUADRO 13: PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA CADA LEIRA.....	65
QUADRO 14: DIMENSÕES E PESOS INICIAIS DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM	65
QUADRO 15: DIMENSÕES DAS LEIRAS EM PROCESSO DE COMPOSTAGEM	68
QUADRO 16: COMPOSIÇÃO DAS LEIRAS.....	85
QUADRO 17: COMPARATIVO ENTRE METAIS PESADOS (mg/Kg)	87

LISTA DE FOTOS

Foto 1 e Foto 2: Área de recepção.....	51
Foto 3 e Foto 4: Mesas de catação.....	53
Foto 5: Prensa Hidráulica.....	54
Foto 6: Caminhão carregado com fardos.....	54
Foto 7 e Foto 8: Pátio de compostagem.....	55
Foto 9: Aeração da leira.....	56
Foto 10: Umidificação da leira.....	56
Foto 11 e Foto 12: Peneira rotativa.....	56
Foto 13, Foto 14 e Foto 15: Montagem da leira nº 46.....	67
Foto 16: Termômetro utilizado.....	69
Foto 17: Verificação da temperatura.....	69
Foto 18: Vista geral de todas as leiras da pesquisa.....	70
Foto 19: Vista da Leira nº 66.....	74
Foto 20 e Foto 21: Leira nº 26.....	82
Foto 22, Foto 23 e Foto 24: Teste do índice pH.....	91
Foto 25 e Foto 26: Teste do índice pH.....	92
Foto nº 27: Teste do tomateiro.....	93
Foto nº 28: Teste com sementes de feijão.....	95
Foto 29: Unidade de Observação (eucaliptos).....	97

Introdução

Diversas Regiões do mundo e do Brasil ainda são fortemente afetadas por doenças crônicas e agudas devido à fome ou ingestão de alimentos contaminados, à falta ou má qualidade da água para consumo humano, ao saneamento básico inexistente ou inadequado, à contaminação e poluição ambiental, à insalubridade nos locais de trabalho, à falta ou inadequação de moradias.

A atividade humana gera impacto ambiental que repercute nos meios físicos, biológicos e sócio-econômicos, agredindo os recursos naturais e a saúde humana. Esses impactos são perceptíveis nas águas, ar, solo, e, inclusive, na própria atividade humana. A disposição final de resíduos sólidos sem prévio tratamento tem sido responsável por vários desses impactos.

Os resíduos sólidos são um conjunto heterogêneo dos restos provenientes das atividades humanas, e tem uma relevante importância sanitária, uma vez que, está envolvido na transmissão de várias doenças. Por conter em sua constituição grande quantidade de matéria orgânica, os resíduos sólidos servem de abrigo e alimento para diversos organismos vivos, tais como: vermes, bactérias, moscas, baratas, ratos e mosquitos.

A melhoria da situação da saúde da população está condicionada ao incremento da cobertura e da qualidade dos serviços de saneamento ofertados. Infelizmente, a configuração do setor no país, não tem possibilitado a extensão destes benefícios na velocidade reclamada pela sociedade. Apesar dos esforços para expansão dos serviços, a situação do setor ainda está longe de atingir níveis satisfatórios, demandando uma maior atenção do estado e da sociedade.

De acordo com o Censo 2.000, dentre os municípios com população menor que 30.000 habitantes, somente 50,3% são atendidos por serviços de coleta regular de resíduos sólidos e dentre os outros com população maior que 30.000 habitantes, o atendimento alcança 86,5%.

No intuito de solucionar o grave problema da má disposição dos resíduos sólidos de suas cidades, muitas Prefeituras optam por soluções padronizadas, copiando modelos implantados em Municípios com características completamente distintas, o

que normalmente implica em desperdício de recursos humanos, materiais e financeiros, podendo acarretar também prejuízos ecológicos.

No quadro 1, é apresentada a situação do atendimento domiciliar quanto à coleta dos resíduos sólidos nas áreas urbana e rural, incluídas as áreas especiais, realizada de forma direta ou indireta, quando os resíduos sólidos são depositados em containeres e caçambas e posteriormente recolhidos pelo serviço público.

QUADRO 1: COBERTURA COM SISTEMAS DE COLETA PÚBLICA (EM 1.000.000 DE UNID)

SITUAÇÃO	DOMICÍLIOS (em 1.000.000 de domicílios)		POPULAÇÃO (em 1.000.000 de moradores)	
	ATENDIDOS	NÃO ATENDIDOS	ATENDIDA	NÃO ATENDIDA
URBANA	32,7	2,2	118,1	9,0
RURAL	1,6	6,4	6,2	26,3
TOTAL	34,3	8,6	124,3	35,3

Fonte: Adaptado IBGE – PNAD, 1999

Os dados mostram que 6,3% dos domicílios urbanos (nove milhões de habitantes) não são atendidos por qualquer sistema de coleta. No meio rural, a situação é ainda mais precária, pois 80% dos domicílios, compreendendo 26,3 milhões de habitantes, não são atendidos. Tal situação, leva os moradores destes domicílios a usarem outras alternativas de coleta e destinação, na maioria das vezes, sanitariamente inadequadas, como por exemplo, mais de três milhões de domicílios lançam os resíduos em terrenos baldios (IBGE – PNAD, 1999).

Ainda no que se refere ao destino final dos resíduos sólidos coletados, dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, no ano de 2000 (PNSB, 2000) indicam uma forte tendência de melhora da situação no Brasil nos últimos anos, pois 47,1% são destinados em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e apenas 30,5% são vazados em lixões, ou seja, na época da pesquisa, mais de 69% dos resíduos sólidos coletados tinham um destino final adequado, enquanto que na PNSB do ano de 1989 este percentual era de apenas 10,7%. Porém, a situação ainda é grave e preocupante em termos ambientais e de saúde pública.

Porém, deve-se ressaltar que os percentuais acima se referem aos resíduos efetivamente coletados. Ao se observar o percentual relativo ao número de municípios, verifica-se que a maioria ainda descarta seus resíduos em lixões. As porcentagens indicadas pela PNSB (2000) apontam que: 59% dos municípios descartam seus resíduos em lixões; 13% em aterros sanitários; 17% em aterros controlados; 0,6% em áreas alagadas; 0,3% têm aterros especiais; 2,8% têm programas de reciclagem; 0,4% utilizam a compostagem; e 0,2% dos municípios têm incineração.

A pesquisa (PNSB, 2000), não informa qual o volume de resíduos sólidos é processado sob alguma forma de tratamento, porém disponibiliza o número de distritos municipais, especificando o tratamento dispensado aos resíduos, onde se pode observar que dos 8.831 distritos com serviço de limpeza urbana e/ou coleta, 596 possuem usina de reciclagem, sendo que em 260 delas também há compostagem da fração orgânica, e em 325 distritos existem unidades de incineração.

Há muito tempo que os resíduos sólidos gerados nas cidades se constituem em um dos principais problemas para a população, porém é relativamente recente a conscientização dos agravos que os resíduos sólidos geram à humanidade.

Antigamente a natureza agredida em pequena escala, conseguia se defender dessas ações através dos ciclos naturais característicos do equilíbrio ecológico. Em face do aumento da população, dos hábitos de consumo, da produção industrial e geração de resíduos, o lixo traz à tona importantes questões: O que fazer? Como fazer? Quem irá fazer? São várias as respostas e dependem das características de cada situação. Neste contexto, o município tem importante papel na busca de soluções integradas, adaptadas às condições locais.

Porém, qual a melhor solução para o lixo?

Alguns defendem que a destinação final mais adequada, por questões econômicas e pelo domínio das técnicas, seja o aterro sanitário, mas é sabido que esta solução requer espaços que estão cada vez mais exíguos nas grandes e médias cidades. Então, há os que defendem que o melhor seria uma solução integrada, onde haja coleta seletiva, reciclagem dos materiais inorgânicos e dos orgânicos, através do processo de compostagem. Existem ainda aqueles que apontam a incineração como a melhor solução.

Entretanto, na busca da melhor solução, deve-se, primeiramente, analisar as características dos resíduos sólidos, pois estas podem variar em função dos aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos. No quadro 2 estão relacionadas as composições gravimétricas em alguns países, onde pode-se observar que o percentual de matéria orgânica tende a diminuir nos países mais desenvolvidos; desta forma, o planejamento da solução para o destino dos resíduos sólidos brasileiros deve, em princípio, incluir a segregação dos materiais, visando a compostagem da matéria orgânica, por ser a maior parcela presente na composição dos resíduos sólidos no território brasileiro.

QUADRO 2: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUNS PAÍSES (%)

PAÍS	Papel e papelão	Metal	Vidro	Plástico	Matéria orgânica
BRASIL	25,00	4,00	3,00	3,00	65,00
ALEMANHA	18,80	3,80	10,40	5,80	61,20
HOLANDA	22,50	6,70	14,50	6,00	50,30
EUA	41,00	8,70	8,20	6,50	35,60

Fonte: PENIDO MONTEIRO et al, 2001

Da mesma forma, é apresentada no Quadro 3, a composição gravimétrica em algumas cidades brasileiras, onde se pode observar que o elevado percentual de matéria orgânica indica a necessidade de se planejar com critério a correta destinação final dos resíduos sólidos, evitando-se, as agressões causadas ao meio ambiente decorrente da inadequada disposição, principalmente, da grande fração orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos. Deve-se destacar que mesmo nas grandes capitais, como São Paulo e Rio de Janeiro, a fração orgânica é sempre a maior parcela integrante nos resíduos sólidos.

QUADRO 3: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS (%)

CIDADE	Papel e papelão	Metal	Vidro	Plástico	Matéria orgânica
Belo Horizonte	10,1	2,6	2,5	11,7	73,1⁽²⁾
Brasília	26,2	3,2	2,8	2,4	65,4⁽²⁾
Curitiba	8,6	3,2	1,3	12,4	74,5⁽²⁾
Fortaleza	22,6	7,3	3,3	8,2	58,6⁽²⁾
Miracema/RJ	16,1	2,4	1,4	6,3	73,8⁽¹⁾
Porto Alegre	22,1	4,7	9,2	9,0	55,0⁽²⁾
Rio de Janeiro	22,2	2,8	3,7	16,8	54,5⁽²⁾
Salvador	16,2	3,7	2,9	17,1	60,1⁽²⁾
Saltinho/SP	3,1	1,7	0,2	2,4	92,6⁽²⁾
São Paulo	18,8	3,0	1,5	22,9	53,8⁽²⁾
Vitória	19,1	3,3	2,7	11,8	63,1⁽²⁾

Fonte: adaptado IPT, CEMPRES, 2000 apud NASCIMENTO MONTEIRO, 2001, BRITO, J. C, 2001 e FRITSCH, 2005.

(1) inclui rejeitos;

(2) inclui resíduos têxteis.

A importância do tema baseia-se em fornecer subsídios às estratégias de políticas públicas, para que se reflita sobre os principais aspectos a serem abordados na gestão de um sistema de tratamento de resíduos sólidos, simples e de baixo custo. Assim, será dada ênfase à compostagem, visto ser a matéria orgânica a maior fração da composição do lixo brasileiro.

O problema da grande maioria dos municípios de pequeno e médio porte seja na área urbana ou rural, assim como, em aldeias indígenas, quilombolas, reservas extrativistas e assentamentos rurais, no Estado do Rio de Janeiro e nos demais Estados do Brasil está no tratamento e na destinação dos resíduos sólidos gerados pela sua população, basicamente pela dificuldade de acesso a linhas de financiamento, bem como, pela dificuldade de acesso as tecnologias apropriadas. Estes Municípios têm ainda como destino final, para os resíduos sólidos coletados, os vazadouros a céu aberto (lixões), ou mesmo Usinas operadas inadequadamente, sem nenhum controle ou acompanhamento técnico, muitas das quais sem o devido Licenciamento do Órgão Ambiental.

Para reduzir esse déficit, nos últimos anos, o Ministério da Saúde, através da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, vem implementando um Programa de Cooperação Técnica na área do saneamento ambiental, no sentido de atuar sobre os ambientes mais insalubres, onde as situações de risco à saúde são maiores, inclusive adotando critérios epidemiológicos para a priorização de investimentos; além da análise de outros indicadores mais gerais de qualidade de vida, como é o caso do IDH - Índice de Desenvolvimento Humano, também servindo para orientar a FUNASA, na definição de prioridades.

A Fundação Nacional de Saúde, através da Divisão de Engenharia de Saúde Pública – DIESP/RJ, da Coordenação Regional do Rio de Janeiro, vem cooperando tecnicamente com mais de 50% dos municípios do interior do Estado. A DIESP/RJ coopera tecnicamente com o Município de Miracema desde 1996, quando foram iniciados os estudos e levantamento de dados para a implantação da destinação final dos resíduos sólidos mais adequada às características do Município. Foi uma experiência muito rica em termos de planejamento e otimização de um sistema de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos coletados na Sede Municipal e no Distrito de Venda das Flores. Portanto, este trabalho é fruto da experiência do mestrando, em projeto, construção, operação e assessoria de Unidades de Tratamento de Resíduos Sólidos (Usinas de Reciclagem e Compostagem de Lixo).

Este estudo visa analisar o método empregado em todas as fases de um processo de compostagem, descrevendo ainda, a operação de uma Unidade de Tratamento de Lixo em todas as suas frentes de trabalho: recepção dos resíduos sólidos, segregação dos diversos materiais, enfardamento do inorgânico comercializável, aterramento do rejeito e, principalmente, o processo de compostagem. Para tanto, serão estudadas as rotinas diárias empregadas na Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo – UTIL, do Município de Miracema, no Estado do Rio de Janeiro.

Na Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo do Município de Miracema, optou-se pela combinação de soluções, tendo como operação básica a separação com vistas à reciclagem, a compostagem e o aterramento dos rejeitos, sendo aterrado em separado, com tratamento especial, o lixo das Unidades de Saúde. Não foi considerada a incineração, primeiramente, devido ao seu alto custo de implantação e operação, e ainda, por ser considerada como uma solução adequada somente para determinados tipos de resíduos industriais e hospitalares.

A metodologia operacional da Unidade de Tratamento de Lixo em questão está focada em sua simplicidade, com a mínima utilização de equipamentos. Este tipo de solução para o destino adequado dos resíduos sólidos, pode ser estendido a praticamente todos os Municípios brasileiros com população inferior a 30 mil habitantes, atenuando os impactos ambientais causados pelo incorreto destino do lixo urbano. Esta metodologia é utilizada atualmente pela Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro – COMLURB na Usina do Caju, atendendo a um conjunto de bairros totalizando 150 mil habitantes. Nesta Usina, entretanto, a estrutura operacional inclui muita mecanização para a segregação dos materiais e para a compostagem.

A determinação da concentração de metais pesados, possivelmente presentes no composto orgânico, também foi objeto da pesquisa, no intuito de buscar comparativos com as concentrações aceitas para a utilização na agricultura.

Deve-se relevar também que, devido ao baixo custo de implantação de uma Unidade de Tratamento, esta solução estaria viável economicamente a muitas Prefeituras que, atualmente, administram seus problemas com poucos recursos, sejam humanos ou financeiros, oferecendo aos seus munícipes o direito constitucional ao atendimento de suas necessidades básicas nas questões da saúde e meio ambiente.

Através dos resultados alcançados neste estudo, espera-se disponibilizar ao meio acadêmico (pesquisadores e educadores), assim como, ao poder público, um conjunto de informações que possibilitem a construção de indicadores que orientem a formulação de políticas públicas no Setor de Saúde Ambiental, direcionando ações estratégicas com relação aos resíduos sólidos, como também, utilizar os parâmetros estudados como critérios de análise de projetos que visem a implantação de usinas de lixo.

Por fim, enfatiza-se que o objeto de pesquisa está plenamente em conformidade com a missão institucional da Fundação Nacional de Saúde, que trata da inclusão social por meio de ações de saneamento ambiental.

Esta dissertação será desenvolvida em sete capítulos. No primeiro capítulo serão apresentados os objetivos da dissertação. No segundo capítulo contextualizar-se-á a gestão dos resíduos sólidos em termos de saúde pública, sendo consideradas as características dos resíduos sólidos urbanos e os fatores que influenciam nestas características, além das etapas do gerenciamento.

No capítulo 3 será descrito mais detalhadamente a compostagem, com todos os parâmetros que influem no processo, além da discussão sobre eliminação de organismos patogênicos e a presença de metais pesados no composto. Será também comentada a utilização do composto orgânico na agricultura.

No quarto capítulo, além da caracterização do município de Miracema e de seu serviço de Limpeza Urbana, se fará a descrição da metodologia operacional de toda a Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo – UTIL. No capítulo 5 serão detalhados os materiais e métodos empregados na montagem dos experimentos e na pesquisa sobre o controle do processo de compostagem, com base no que foi apresentado nos capítulos anteriores.

No sexto capítulo, será realizada uma discussão a respeito da verificação das temperaturas na massa orgânica em decomposição e de sua utilização como parâmetro balizador do processo de compostagem.

Em seguida, no capítulo 7, serão abordadas as conclusões e as recomendações da pesquisa.

Capítulo 1 –Objetivos

1.1 – Objetivo Geral

Analisar a temperatura como parâmetro acessível e possível de ser utilizado no controle do processo de compostagem em municípios de pequeno e médio porte.

1.2 – Objetivos específicos

Avaliar a composição dos resíduos sólidos urbanos do município de Miracema;

avaliar a quantidade de matéria inorgânica que está sendo reaproveitada;

avaliar a quantidade de matéria orgânica que está sendo reaproveitada, demonstrando a viabilidade de implantação de uma Usina de Compostagem;

avaliar o processo de compostagem da Usina de Lixo de um município de pequeno porte;

avaliar a relação entre a temperatura e os principais parâmetros que afetam a compostagem;

avaliar a eliminação de patógenos no processo de compostagem;

avaliar a presença de metais pesados no composto maturado;

avaliar a qualidade do composto produzido;

verificar na legislação Brasileira as restrições para a utilização do composto orgânico.

Capítulo 2 – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

2.1 – A Relação dos Resíduos Sólidos com a Saúde Pública

O reconhecimento da importância do saneamento e de sua associação com a saúde do homem remonta às mais antigas culturas. O próprio Velho Testamento apresenta diversas abordagens vinculadas às práticas sanitárias do povo judeu (HELLER, 1997). Alguns autores chegam a afirmar que a saúde pública iniciou quando o homem se apercebeu que da vida em comunidade resultavam perigos especiais para a saúde dos indivíduos e foi descobrindo, consciente e inconscientemente, meios de reduzir e evitar esses perigos. Assim, a experiência prática evoluiu para medidas e hábitos; estes para regras e leis e, finalmente, para a construção de um esboço, mesmo incipiente, de uma ação coletiva, constituindo a saúde pública (FERREIRA, 1982 apud HELLER, 1997).

No século XIX, na trajetória da saúde pública, Snow comprovava cientificamente a associação entre a fonte de água consumida pela população de Londres e a incidência de cólera. Apesar dessa demonstração, influentes sanitaristas, como Chadwick, já defendiam a importância do saneamento, fundamentados na teoria miasmática (ROSEN, 1994 apud HELLER, 1997).

Alguns modelos têm sido propostos para explicar a relação entre ações de saneamento e a saúde. As formulações têm privilegiado a compreensão sanitária do abastecimento de água e do esgotamento sanitário, em detrimento das outras ações de saneamento. Nessa perspectiva, Cairncross (1989), apud Heller (1997), reconhece a importância da drenagem pluvial e da disposição dos resíduos sólidos na prevenção da saúde.

Chenna (2001), comenta que a coleta e o transporte de resíduos são atividades cuja importância está diretamente associada à preservação da saúde pública. O oportuno afastamento dos resíduos dos locais em que ocorre sua geração faz-se necessário para impedir o aparecimento e a reprodução de vetores transmissores de doenças ao homem, que buscam abrigo e alimento nesses resíduos. A composição dos resíduos sólidos urbanos em nosso país, com mais de 55% de seu peso representado por matéria orgânica, potencializa esse risco. Na literatura técnica nacional e internacional existem registros de estudos que relacionam doenças com o manuseio incorreto dos resíduos. Em um desses estudos Heller (1997) cita Tchobanoglous e colaboradores

(1977) que consideram bastante clara a relação entre a saúde pública e o acondicionamento, a coleta e a disposição dos resíduos sólidos. As autoridades sanitárias dos Estados Unidos estabeleceram uma relação entre 22 doenças e o inadequado manuseio dos resíduos sólidos.

2.2 – Aspectos Básicos dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo definição da Organização Mundial de Saúde – OMS, “saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico que o homem habita, que exercem ou podem exercer efeito prejudicial ao seu bem estar físico, mental ou social.” Dentro deste enfoque, Mansur (2001), alinha as três funções básicas da administração pública no campo da engenharia sanitária: Abastecimento e distribuição de água; Eliminação das águas servidas (esgoto); e Coleta e destinação final de lixo.

De acordo com o Dicionário Aurélio Buarque de Holanda, lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define o lixo como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.

A Environmental Protection Agency – EPA, dos Estados Unidos define textualmente: “se entende como resíduo sólido qualquer lixo, desperdício, lodo e outros materiais sólidos de restos resultantes das atividades industriais, comerciais e da comunidade”.

O lixo é um conjunto heterogêneo de resíduos provenientes das atividades humanas, tem importância sanitária, uma vez que, está envolvido na transmissão de várias doenças. Por conter em sua distribuição grande quantidade de matéria orgânica, o lixo serve de abrigo e alimento para diversos organismos vivos, tais como: vermes, bactérias, moscas, baratas, ratos e mosquitos (FRITSCH, 2001).

Essas definições tornam evidente a diversidade e complexidade do lixo. Os resíduos sólidos de origem urbana compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e

outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas. Dentre os vários resíduos gerados, são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais e os resíduos da limpeza pública (CASTILHOS Jr, 2003).

Há de se destacar, no entanto, a relatividade da característica inservível do lixo, pois aquilo que já não apresenta nenhuma serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria-prima para um novo produto ou processo. Nesse sentido, a idéia do reaproveitamento do lixo é um convite à reflexão do próprio conceito prático de resíduos sólidos. É como se o lixo pudesse ser conceituado como tal, somente quando da inexistência de mais alguém para reivindicar uma nova utilização dos elementos então descartados (PENIDO MONTEIRO e colaboradores, 2001).

Com a assinatura do Decreto nº 3024, em 25 de novembro de 1880, iniciou-se oficialmente um serviço de limpeza urbana no Brasil, aprovando-se o contrato de limpeza e irrigação da cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro sob a responsabilidade de Aleixo Gary e, mais tarde por Luciano Francisco Gary, de cujo sobrenome origina-se a palavra gari, que hoje se denomina os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras (PENIDO MONTEIRO e colaboradores, 2001).

Na Edição Brasileira do Guia de Preparação, Avaliação e Gestão de Projetos de Resíduos Sólidos Residenciais do Curso de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Municipais e Impacto Ambiental (MONTEIRO, 2001), ao analisar os resultados da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, destaca a Agenda 21, mais especificamente no Capítulo 21, que trata do gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos, apresentando um resumo define que o objetivo principal do capítulo é considerar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos não apenas como um problema de coleta e disposição, mas como um conceito integral de gerenciamento do ciclo de vida, que incluía modelos sustentáveis de produção e consumo, baseando-se nas quatro áreas principais de ação:

- minimização de resíduos;
- maximização da reutilização e reciclagem ambientalmente adequada dos resíduos;
- promoção do tratamento e disposição ambientalmente adequada dos resíduos; e

- expansão da cobertura do serviço de coleta.

No mesmo Guia anteriormente referido, é citado que pelos conhecimentos tecnológicos da sociedade atual, somente um número reduzido de bens são irrecuperáveis tanto individual quanto socialmente. Todos os demais bens apresentam uma certa utilidade, seja direta (por exemplo, uma velha peça de vestuário) ou potencialmente como matéria prima de um processo de transformação (papéis e papelões usados, que podem ser reciclados). Por esta razão é que a definição do melhor tipo de tratamento, para os resíduos sólidos, deve ser entendida dentro de um contexto de condições, uma vez que um bem ou parte dele pode significar um resíduo para um grupo de indivíduos e entretanto ser aproveitado por outro grupo social.

Hoje, um dos problemas mais sério enfrentado por toda a humanidade é sem dúvida o lixo. Um dos aspectos altamente marcante do crescimento populacional tem sido o aumento constante da industrialização e conseqüentemente da produção. Tudo isso, concorre para aumentar significativamente e permanentemente o volume dos resíduos sólidos, principalmente na zona urbana, com conseqüências desastrosas para o meio ambiente e para a qualidade de vida das populações (FONSECA, 1999).

Afinal, onde descartar o lixo? São várias correntes de técnicos, estudiosos e pesquisadores, e cada uma defende formas distintas para o tratamento do lixo, desde a coleta até a destinação final. A discussão é antiga e a solução, que em princípio, parece bem simples, se mostra cada vez mais inviável. A idéia de escolher um local isolado, longe de aeroportos, estradas e casas, e lá jogar todo o lixo das cidades não é a melhor de todas. A coleta seletiva e a reciclagem são tidas como a melhor solução, não só para o problema do lixo, mas também como uma opção garantida para a geração de empregos nos municípios. Para alguns, o que falta para a solução desses problemas é a vontade política. Para outros, é mesmo falta de informação. Segundo o ambientalista Sérgio Ricardo, membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, das dez mil toneladas de lixo produzidas na cidade do Rio de Janeiro, 60% são recicláveis “e pouco se faz com elas, quase nada” (CREA-RJ, 2005).

O Professor Fernando Jucá (2003), no prefácio da publicação de Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte (PROSAB 3), aponta que a questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida na sociedade, permeando várias áreas do conhecimento: saneamento básico, meio ambiente, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos

materiais. A busca de soluções para a destinação final dos resíduos tem se constituído em grande desafio, sobretudo no que concerne à poluição dos solos, do ar e dos recursos hídricos, bem como à compreensão dos mecanismos de biodegradação da massa de lixo e sua influência no comportamento dos aterros, Esta abordagem permite o desenvolvimento de técnicas mais eficientes para o tratamento da massa de lixo, dos efluentes líquidos e gasosos, além de promover melhor aproveitamento das áreas disponíveis para destinação final dos resíduos sólidos.

A degradação dos recursos naturais, principalmente o solo e os recursos hídricos, com conseqüente comprometimento da saúde da população, vem, dentre outras causas, também da pouca atenção dada pelo poder público à gestão dos resíduos sólidos, hoje considerada um dos setores do saneamento básico. A interdependência dos conceitos de meio ambiente, saúde e saneamento é hoje bastante evidente, reforçando a integração das ações desses setores em prol da melhoria da qualidade de vida da população brasileira. Mais de 70% dos municípios brasileiros possuem menos de 20 mil habitantes, e a concentração urbana da população ultrapassa a casa dos 80%, reforçando as preocupações com os problemas ambientais urbanos, entre estes, o gerenciamento dos resíduos sólidos, cuja atribuição constitucional pertence à esfera da administração pública local (PENIDO MONTEIRO e colaboradores, 2001).

Segundo dados do Ministério das Cidades, 16 milhões de brasileiros não são atendidos pelo serviço de coleta de lixo. E, nos municípios de grande e médio porte, onde o sistema convencional de coleta poderia atingir toda a produção diária de resíduos sólidos, esse serviço não atende adequadamente os moradores das favelas, das ocupações e dos bairros populares, por conta da precariedade da infra-estrutura viária naquelas localidades. Outros dramas: em 64% dos municípios o lixo coletado é depositado em lixões "a céu aberto". E, em muitos municípios pequenos, sequer há serviço de limpeza pública minimamente organizado.

Penido Monteiro (2001), em Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos sólidos, comenta que o problema da disposição final assume uma magnitude alarmante. Considerando apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais ao longo dos anos em apenas afastar das zonas urbanas o lixo coletado, depositando-o por vezes em locais absolutamente inadequados. Mais de 80% dos municípios vazam seus resíduos em locais a céu aberto, em cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas, a maioria com a presença de

catadores – entre eles crianças, denunciando os problemas sociais que a má gestão do lixo acarreta.

Kligerman (2000), relata “Produzimos cada vez mais lixo, em quantidade e complexidade e não existem locais para sua destinação. Além disso, as tecnologias desenvolvidas ou são muito caras ou insatisfatórias ambientalmente, como o caso dos aterros sanitários – que são muito mais aterros controlados ou lixões com algum controle. Pode-se acrescentar que, devido à complexidade de nosso lixo, mesmo nas usinas de reciclagem e compostagem, onde há separação, o composto originário do lixo orgânico está contaminado por metais pesados.”

Os serviços de limpeza pública, sem o devido acondicionamento do lixo, sem coleta regular e organizada e sem um destino final que atenda aos mínimos parâmetros sanitários, representam um permanente foco transmissor de doenças e degradação ambiental, afetando a qualidade de vida da população. A falta de cuidados com o lixo propicia a existência de criadouros de vetores transmissores de doenças, constituindo-se numa constante ameaça à saúde pública. Dar ao lixo uma solução adequada significa melhorar a qualidade do meio ambiente, do solo, do ar e das águas de superfície e subterrâneas, ampliando, inclusive, a possibilidade de exploração do turismo (SEPURB, 2001).

2.3 – Classificação dos Resíduos Sólidos

São várias as maneiras de se classificar os resíduos sólidos. As mais comumente utilizadas são: quanto ao risco ambiental, quanto à origem e quanto à natureza física.

A NBR10.004 da ABNT classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente em três classes:

1. Classe I ou perigosos – São aqueles que em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
2. Classe II ou não-inertes – São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente.

3. Classe III ou inertes – São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

Basicamente, as diversas bibliografias consultadas (BRITO, 2001; FONSECA, 1999; MANSUR, 1991), apresentam a mesma classificação quanto à origem, sendo agrupadas em cinco classes, a saber:

1. Lixo Doméstico ou Residencial – São os resíduos gerados nas atividades de todas as edificações residenciais.
2. Lixo Comercial – São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida.
3. Lixo Público - São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população.
4. Lixo Domiciliar Especial – Grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os resíduos da construção civil, só estão enquadrados nesta categoria por causa da grande quantidade de sua geração e pela importância que sua recuperação e reciclagem vem assumindo no cenário nacional.
5. Lixo de Fontes Especiais – São resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final e são de responsabilidade de seus geradores. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque o Lixo Industrial, o Radioativo, de Portos, Aeroportos e Terminais Rodoferroviários, o Lixo Agrícola (embalagens com pesticidas e fertilizantes químicos) e Resíduos de Serviços de Saúde.

Nas atividades de limpeza urbana, o tipo “doméstico” e o “comercial” constituem o chamado “Lixo Domiciliar”, que, junto com o lixo público, representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades (MANSUR, 1991).

A classificação quanto à natureza física é muito utilizada quando se trata de reciclagem, compostagem ou coleta seletiva. Sendo agrupados nas duas classes, a saber:

1. Resíduo Úmido ou Lixo Orgânico – constituído pela matéria orgânica presente no lixo, como restos de comida, folhas de árvores e outros.
2. Resíduo Seco ou Lixo Inorgânico – representado pela fração dos demais componentes do lixo, normalmente constituída de materiais recicláveis e rejeitos inertes.

2.4 – Responsáveis pela Gestão dos Resíduos Sólidos

A competência legal para organizar, administrar e prestar os serviços públicos de interesse local, segundo a Constituição Federal, em seu artigo 30, é do Município, porém a própria legislação federal prevê situações em que a responsabilidade fica a cargo do gerador. O Quadro 4, utilizando a classificação quanto à origem dos resíduos, procura dar uma idéia das situações mais comuns encontradas nos municípios brasileiros.

QUADRO 4: ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS PELA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

TIPO DE RESÍDUO	GESTOR / RESPONSÁVEL	ORGÃO FISCALIZADOR
Doméstico	Prefeitura Municipal	Controle Ambiental do Estado.
Comercial	Prefeitura Municipal	Controle Ambiental do Estado.
Público	Prefeitura Municipal	Controle Ambiental do Estado.
Industrial	Gerador	Controle Ambiental do Estado.
Serviços de Saúde	Gerador ⁽¹⁾	Controle Ambiental do Estado.
Radioativos	Gerador	CNEM, com ação complementar do Controle Ambiental do Estado.
Agrícolas	Gerador	IBAMA, com ação complementar do Controle Ambiental do Estado.
Portos e Aeroportos	Gerador	Governo Federal, com ação supletiva do Controle Ambiental Estadual e Prefeitura.
Entulho	Prefeitura Municipal	Prefeitura, com ação supletiva do Controle Ambiental do Estado.

Fonte: Adaptado de BRITO, 2001

(1) : Como a maioria dos estabelecimentos de saúde não sabe, ou não se importa, em gerir adequadamente seus resíduos, é comum a Prefeitura Municipal assumir esta responsabilidade.

2.5 – Características dos Resíduos Sólidos

Segundo Brito (2001), em Análise de Projetos para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (ABES, 2001), ao se examinar o lixo gerado em uma residência, é possível se identificar o status dos seus moradores e suas condições sócio-econômicas, conhecendo seus hábitos, a alimentação preferida, o comércio utilizado e, podendo se chegar ao ponto de identificar o comportamento sexual de seus moradores, daí que a legislação americana proíbe que pessoas, não ligadas ao serviço de limpeza, vasculhem o lixo das casas.

O Quadro 5, dá uma idéia da influência das características do lixo nos diversos serviços de limpeza.

QUADRO 5: INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO LIXO NOS SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA

CARACTERÍSTICAS	IMPORTÂNCIA
Geração <i>per capita</i>	Importante para todo o sistema de gestão, com influência direta no planejamento. Fundamental no dimensionamento de veículos e instalações. Elemento básico para a determinação da taxa de coleta e destinação dos resíduos sólidos.
Composição Gravimétrica	Indica a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis e da matéria orgânica. Quando realizada por regiões da cidade pode influenciar no cálculo da tarifa de coleta e destinação final.
Composição Química	Ajuda a indicar a forma mais adequada de destinação final.
Peso Específico Aparente	Fundamental para o dimensionamento da frota de veículos.
Compressividade	Muito importante para o dimensionamento de veículos coletores e caçambas compactadoras.
Teor de Umidade	Tem influência direta na velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Influencia diretamente o poder calorífico e o peso específico. Diretamente relacionado com a produção de chorume.
Teor de Matéria Orgânica	Indica a possibilidade de aproveitamento do lixo para a produção de composto orgânico.
Poder Calorífico	Influencia o dimensionamento das instalações de incineração.
Relação Carbono : Nitrogênio	Ajuda a indicar a qualidade do composto orgânico produzido.

Fonte: Adaptado de BRITO, 2001

Quando se projeta um sistema de limpeza urbana, é de fundamental importância o conhecimento dos resíduos a serem trabalhados, para possibilitar o dimensionamento adequado de cada um dos subsistemas a serem implementados e lograr êxito na gestão e no gerenciamento dos serviços de limpeza urbana de qualquer cidade. Analisando-se mais detalhadamente o Quadro 5, percebe-se que sem o conhecimento da composição gravimétrica, da composição química, do teor de umidade, do teor de matéria orgânica e da relação C/N, o projetista não poderá indicar, com firmeza, a melhor forma de destinação final dos resíduos sólidos do sistema em estudo.

As características dos resíduos variam em função de diversos fatores: porte da cidade, atividade dominante (industrial, comercial e turística), hábitos e costumes da população (principalmente quanto à alimentação e ao nível educacional) e clima. Pode-se reunir as características dos resíduos em três grupos: físicas, químicas e biológicas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

- geração per capita: relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes da região. É a característica que mais varia com o crescimento das cidades, muitos técnicos consideram de 0,5 a 0,8 Kg/hab./dia como a faixa de variação média para o Brasil. Deve-se correlacionar a geração *per capita* aos resíduos urbanos (doméstico + comercial + público + entulho, podendo até incluir os resíduos de serviços de saúde);
- composição gravimétrica: Traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada, Os componentes mais utilizados são: papel, papelão, plástico rígido, plástico maleável, metal ferroso, metal não ferroso, vidro, matéria orgânica, outros e rejeito;
- peso específico aparente: é o peso dos resíduos em função do volume por eles ocupados, expresso em Kg/m³. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações;
- teor de umidade: medido em porcentagem em peso, esta característica tem influência decisiva, principalmente nos processos de tratamento e destinação final;

- compressividade ou grau de compactação: Indica a redução de volume que uma massa de lixo pode sofrer, quando submetida a uma pressão determinada e situa-se entre 1:3 e 1:4 para uma pressão de 4 Kg/cm².

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

- poder calorífico: Indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima;
- potencial hidrogeniônico (pH): indica o teor de acidez ou alcalinidade;
- composição química: São os teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total e solúvel, e gorduras. Importante conhecer quando se estudam processos de tratamento aplicáveis ao lixo;
- relação carbono/nitrogênio: Indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento e disposição final.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS:

é a pesquisa da população microbiana e dos agentes patogênicos, que junto às características químicas permitem selecionar os métodos de tratamento e disposição final mais adequados.

2.6 – Fatores que Influenciam as Características dos Resíduos

Não é necessário ser nenhum estudioso do assunto para imaginar que em época de chuvas fortes e frequentes o teor de umidade no lixo cresce e que há um aumento do percentual de alumínio no carnaval e no verão, devido ao alto consumo de refrigerantes e cervejas embaladas em latas deste material, ou ainda que no outono aumente o número de folhas a serem recolhidas. Assim, é preciso tomar cuidado com os valores que traduzem as características dos resíduos, principalmente no que concerne às características físicas, pois os mesmos são muito influenciados por fatores sazonais (PENIDO MONTEIRO, 2001). Portanto, a escolha da época certa para a realização da

coleta dos dados e a sua repetitividade ao longo do ano é que dá confiança e reprodutibilidade aos dados obtidos. No Quadro 6 são apresentados os principais fatores que exercem influência sobre as características dos resíduos.

QUADRO 6: FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS

FATORES	INFLUÊNCIA
1 – Climáticos	
- Chuvas	Aumento do Teor de Umidade
- Outono	Aumento do Teor de Folhas
- Verão	Aumento do Teor de embalagens de bebidas
2 – Épocas Especiais	
- Carnaval	Aumento do Teor de embalagens de bebidas
- Natal / Ano Novo / Páscoa	Aumento de embalagens e de matéria orgânica
- Dia das Mães	Aumento do Teor de embalagens
- Férias Escolares	Esvaziamento de locais não turísticos Aumento populacional em locais turísticos
3 – Demográficos	
- População Urbana	Quanto maior a população urbana, maior a geração <i>per capita</i>
4 – Sócio-Econômicos	
- Nível Cultural	Quanto maior o nível cultural, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a de matéria orgânica
- Nível Educacional	Quanto maior o nível educacional, menor a incidência de matéria orgânica
- Poder Aquisitivo	Quanto maior o poder aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a de matéria orgânica
- Poder Aquisitivo (no mês)	Maior consumo de supérfluos perto do recebimento do salário (fim e início do mês)
- Poder Aquisitivo (na semana)	Maior consumo de supérfluos no fim de semana
- Lançamento de Novos Produtos	Aumento de embalagens
- Promoções no Comércio	Aumento de embalagens
- Campanhas Ambientais	Redução de materiais não biodegradáveis e aumento de materiais biodegradáveis

Fonte: Adaptado de MONTEIRO, 2001

Com relação à compostagem, dos diversos fatores que influem nas características dos resíduos sólidos, o que merece maior cuidado é a chuva, pois quando ocorre com muita frequência e grande intensidade, aumenta demasiadamente a umidade da massa orgânica, podendo levar o processo à anaerobiose, com temperaturas muito baixas. O período para a completa maturação do composto, em épocas de chuva, tende a aumentar consideravelmente.

2.7 – Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

2.7.1 – Acondicionamento

Alguns autores não consideram esta atividade como parte integrante da limpeza urbana, por ela ser própria do domicílio. Ocorre que um dos sérios problemas de limpeza pública é o acondicionamento, que começa dentro de casa e se não merecer a atenção devida irá desorganizar todo o sistema, começando pela coleta (FONSECA, 1999).

Portanto, o acondicionamento e o armazenamento dos resíduos sólidos são de responsabilidade dos geradores, assim como, sua apresentação para a coleta, nos dias e horários estabelecidos pelo órgão responsável pela limpeza urbana, ao qual, cabe conscientizar a população para que procure acondicionar, da melhor maneira possível, o lixo gerado em cada domicílio. O recipiente apropriado para o lixo (MANSUR, 1991) deverá:

- atender às condições sanitárias;
- não ser feio, repulsivo ou desagradável;
- ter capacidade para conter o lixo gerado durante o intervalo entre uma coleta e outra;
- possibilitar uma manipulação segura por parte da equipe de coleta; e
- permitir uma coleta rápida.

Cabe ressaltar que o acondicionamento em sacos plásticos é o ideal do ponto de vista sanitário e de agilização da coleta, uma vez que os sacos são recipientes sem retorno, ou seja, são colocados no veículo coletor juntamente com o lixo que contém, porém apresentam dois aspectos desfavoráveis: fragilidade em relação a materiais perfurocortantes e preço elevado, dificultando sua adoção pela população de baixa renda.

2.7.2 – Coleta e Transporte dos Resíduos Sólidos Urbanos

A coleta e o transporte do lixo domiciliar produzido em imóveis residenciais, em estabelecimentos públicos e no pequeno comércio são, em geral, efetuados pelo órgão municipal encarregado da limpeza urbana. Para esses serviços podem ser usados recursos próprios da prefeitura, de empresas sob contrato de terceirização ou sistemas mistos, como o aluguel de viaturas e a utilização de mão de obra da prefeitura. O lixo

dos estabelecimentos que produzem mais de 120 litros de lixo por dia (grandes geradores) deve ser coletado por empresas particulares, cadastradas e autorizadas pela prefeitura. Objetivando a criação do hábito na população, a coleta deve ser efetuada regularmente em cada imóvel, sempre nos mesmos dias e horários, com isso a exposição do lixo adequadamente acondicionado será do tempo necessário à execução da coleta, evitando o espalhamento dos resíduos por animais ou pessoas. Por razões climáticas, no Brasil, o tempo decorrido entre a geração do lixo domiciliar e seu destino final não deve exceder uma semana para evitar proliferação de moscas, aumento do mau cheiro e a atratividade que o lixo exerce sobre roedores, insetos e outros animais (PENIDO MONTEIRO et al, 2001).

Em países como o Brasil, recomenda-se a frequência alternada (três vezes por semana), para a coleta dos resíduos domiciliares e comerciais, admitindo-se frequência diária em locais com intensa geração de resíduos e onde os espaços para sua estocagem sejam, de um modo geral, reduzidos. É recomendada ainda, a realização de campanhas educativas e de informação aos municípios estabelecendo, a forma de acondicionamento dos resíduos, os dias e os horários de coleta (CHENNA, 2001).

2.7.3 – Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

O manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do IBAM (2001), define tratamento como uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos, seja impedindo descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

O Manual traz uma interessante abordagem quando comenta: “O tratamento mais eficaz é o prestado pela própria população quando está empenhada em reduzir a quantidade de lixo”, pois ao evitar o desperdício, reaproveitar os materiais, separar os recicláveis em casa e se desfazer do lixo que produz de maneira correta, a população estaria minimizando o trabalho da administração pública.

Penido Monteiro e colaboradores (2001), complementam esta abordagem quando comentam que a reciclagem ideal é aquela proporcionada pela população que separa os resíduos recicláveis em casa, jogando no lixo apenas o material orgânico. Entre os processos que envolvem a reciclagem com segregação na fonte geradora, podem ser destacados:

- coleta seletiva porta a porta;

- pontos de entrega voluntária – PEV;
- cooperativa de catadores.

E continua citando que, além desses procedimentos realizados pela população, existem processos físicos e biológicos que objetivam estimular a atividade dos microorganismos que atacam o lixo, decompondo a matéria orgânica e causando poluição. As usinas de incineração ou de reciclagem e compostagem interferem sobre essa atividade biológica até que ela cesse, tornando o resíduo inerte e não mais poluidor.

Outra forma de tratamento eficaz é a incineração do lixo, pois em pouco tempo torna o resíduo absolutamente inerte reduzindo o seu volume. Mas sua instalação e funcionamento são geralmente dispendiosos, principalmente em razão da necessidade de filtros e implementos tecnológicos sofisticados para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima do lixo (MANSUR, 2001).

Pela própria conceituação de tratamento do Manual de Gerenciamento do IBAM (2001), é incluído como forma de tratamento a disposição dos resíduos em aterros sanitários ou controlados, desde que obedecidos os objetivos indicados e os princípios construtivos do aterro, conforme definição de autoria da American Society of Civil Engineers, adotada pela ABNT e pelas entidades ambientais brasileiras, que diz “Aterro sanitário é uma técnica para disposição de lixo no solo sem causar prejuízo ao meio ambiente e sem causar moléstia ou perigo para a saúde e segurança pública, técnica esta que utiliza princípios de engenharia para confinar o lixo na menor área possível, reduzindo o seu volume ao mínimo praticável, e para cobrir o lixo assim depositado com uma capa de terra com a frequência necessária, mas pelo menos ao fim de cada jornada”. O aterro controlado tem a mesma definição excetuando-se a redução de volume ao mínimo praticável e a cobertura na frequência necessária.

As usinas de reciclagem e compostagem geram emprego e renda e podem reduzir a quantidade de resíduos que deverão ser dispostos no solo, em aterros sanitários. A economia da energia que seria gasta na transformação da matéria-prima, já contida no reciclado, e a transformação do material orgânico do lixo em composto orgânico adequado para nutrir o solo destinado à agricultura representam vantagens ambientais e econômicas importantes proporcionadas pelas usinas de reciclagem e compostagem.

A disposição final de resíduos sólidos orgânicos, sem prévio tratamento, tem sido responsável por vários impactos, em termos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, devido ao transporte de poluentes através de zonas insaturadas e saturadas subjacentes aos aterros sanitários (MARQUES, 2002).

O tratamento biológico de resíduos sólidos orgânicos constitui-se, portanto, em prática de grande importância numa sociedade que tem como objetivo o desenvolvimento sustentável (GAIDOS, 1997; WALLACE, 1994 apud MARQUES, 2002).

Estudos de Nimermmark e Hogland (1998) citados por Marques (2002), demonstram que mais de 75% dos resíduos sólidos domiciliares são biologicamente degradáveis e podem ser utilizados para a produção de composto orgânico, estando incluídos neste percentual a fração de papel descartada pela população.

Ainda com relação ao tratamento, Penido Monteiro (2001) relata que algumas grandes unidades de tratamento de resíduos sólidos, teoricamente incorporando tecnologia sofisticada de compostagem acelerada, foram instaladas no Rio de Janeiro e encontram-se desativadas, seja por inadequação do processo às condições locais, seja pelo alto custo de operação e manutenção exigidos, conceituando tratamento como uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

Dados da Pesquisa de Azevedo e colaboradores (2000), intitulada Panorama das Usinas de Beneficiamento de Resíduos Sólidos Urbanos do Estado do Rio de Janeiro, mostram que foram investidos a partir de 1970, aproximadamente, US\$ 50 milhões na construção de usinas de reciclagem e compostagem. Sendo que das 29 usinas de beneficiamento de lixo implantadas e/ou em implantação no Estado, apenas 13 encontravam-se em operação citando como as razões mais comuns para o não funcionamento, de modo geral: as questões operacionais, os aspectos econômicos e legais, além do interesse político dos governantes. Destacando ainda, a ausência de informações técnicas compatíveis com as dimensões e características das localidades interessadas em empreender uma ação concreta de beneficiamento e destinação final.

Cabe ressaltar que das 13 usinas, citadas na pesquisa, que estavam em operação, 4, ou seja 30%, foram implantadas através de estudos e projetos desenvolvidos pela

Divisão de Engenharia de Saúde Pública da Coordenação Regional da FUNASA no Rio de Janeiro, sendo, inclusive, alocados os recursos, através de convênios, para a construção das mesmas nos municípios de Quissamã, Bom Jesus do Itabapoana, Casimiro de Abreu e Miracema.

Por fim, com base nas informações levantadas, Azevedo et al (2000), apresentam suas conclusões, das quais, em virtude do presente tema, destaca-se:

- as usinas em funcionamento apresentam vida útil elevada;
- a maioria das usinas não dispõe de sistema de tratamento para o chorume produzido no beneficiamento dos resíduos;
- embora os materiais recicláveis do lixo, estejam na faixa de 35%, somente de 2 a 3 % são reaproveitados nas unidades de reciclagem;
- os altos custos operacionais e a baixa qualidade do material produzido, são um dos fatores responsáveis pelo fracasso das usinas de reciclagem;
- as unidades de compostagem deveriam implementar programa de coleta seletiva de resíduos sólidos, pois teriam menos problemas operacionais no beneficiamento do composto orgânico;
- algumas usinas de compostagem, foram implantadas com processos de beneficiamento inadequado ao nosso clima e às características do lixo;
- as unidades de reciclagem e compostagem não investem em programas de adaptação tecnológica dos equipamentos e no treinamento dos recursos humanos; e
- as usinas de beneficiamento de lixo agregam valor econômico: na recuperação dos materiais recicláveis que possam ser comercializados; na produção de composto orgânico para a agricultura; e, na diminuição dos resíduos sólidos no meio ambiente.

Pelas conclusões apresentadas e pelo conhecimento das operações realizadas nas 4 usinas implantadas em parceria com a FUNASA no Estado do Rio de Janeiro, percebe-se que a pesquisa não se aprofundou na metodologia operacional destas quatro usinas, visto que todas possuem sistema de tratamento do líquido percolado das leiras de compostagem na ocorrência de chuvas e que, pela forma de segregação dos resíduos, consegue-se um reaproveitamento de inorgânicos superior a 25%. Se ao mencionar a baixa qualidade do material produzido, os autores da pesquisa estavam se referindo à

qualidade do composto, pode-se questionar tal afirmativa, em virtude dos resultados favoráveis das análises realizadas no composto orgânico produzido na Unidade de Miracema. Devido à rotineira assistência técnica da FUNASA no Estado do Rio de Janeiro, constantemente são realizados treinamentos dos recursos humanos.

Dado todo o anteriormente exposto, pode-se observar que a compostagem é um tratamento adequado para municípios de pequeno e médio porte, pois além de minimizar o quantitativo de resíduos sólidos urbanos destinados aos aterros, o descarte dos resíduos orgânicos sem um tratamento prévio causa vários impactos ambientais. No próximo capítulo será abordado mais detalhadamente este processo.

Capítulo 3 — Compostagem dos resíduos sólidos urbanos

Este capítulo dá ênfase ao processo de compostagem como uma solução de tratamento de baixo custo para os municípios brasileiros de pequeno e médio porte. Inicialmente, este capítulo trará as definições e conceitos de vários autores e pesquisadores sobre o processo de compostagem, seguido dos principais parâmetros que afetam o processo. Visa, por fim, situar o leitor quanto a este processo de tratamento, identificando, também, suas principais interferências.

3.1 – Definições e Conceitos

Segundo literatura especializada (PEREIRA NETO et al, 1985, COSTA et al, 1989 e NÓBREGA, 1991, apud REIS, 1996), a compostagem é um costume que existe há longo tempo. Acredita-se ser o sistema biológico mais antigo que o homem utiliza.

O vocábulo compost, da língua inglesa, deu origem à palavra composto, para indicar o fertilizante orgânico preparado a partir de restos vegetais e animais através de um processo denominado compostagem (KIEHL, 2004).

Nóbrega (1991) e Carvalho (s.d.) a definem como um processo biológico de transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem (REIS, 1996).

A compostagem é a decomposição biológica da matéria orgânica pela qual se converte em húmus relativamente estáveis, adequado para a fertilização agrícola (GOTAAS, 1956 apud REIS, 1996).

Antigamente a compostagem ocorria sem controle, e levava longos períodos de tempo para estabilização do composto. Howard, em 1921, propõe o Processo Indore, que consistia no empilhamento e reviramento periódico da massa de compostagem até a sua estabilização, dando origem ao processo de compostagem aberto “windrow” e leiras estáticas aeradas atualmente praticados, sem a utilização de bioestabilizadores. A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de se obter mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica (KIEHL, 2004).

Pereira Neto, (1989) define a compostagem moderna como um processo controlado, desenvolvido por uma colônia mista de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: primeiro a fase ativa, quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas predominantemente termofílicas, a segunda, ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação do material previamente estabilizado. Por ser um processo biológico, a compostagem depende dos mesmos fatores que afetam a atividade dos microrganismos, destacando-se entre elas a aeração, a umidade e a temperatura.

Dentro do mesmo raciocínio, no site Escolas Verdes define-se a compostagem como uma decomposição aeróbia controlada de substratos orgânicos em condições que permitem atingir temperaturas suficientemente elevadas para o crescimento de microorganismos termofílicos. O aumento de temperatura surge como resultado da liberação de calor da degradação microbiológica dos substratos. O resultado deste processo é um produto, a que se dá o nome de composto, suficientemente estabilizado, maturado e humificado, para ser aplicado no solo com relativas vantagens a fertilizantes de síntese.

Segundo José Edmar Kiehl (2004), a compostagem pode ser definida como sendo um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, passando rapidamente por uma fase inicial de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida da fase de semicura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a cura, maturação ou mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando se pode dar por encerrada a compostagem.

Como resultado da compostagem são gerados dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. É por esta última razão que determinados autores se referem à matéria orgânica humificada apenas como condicionadora do solo, relegando seu importante valor como fornecedora de elementos essenciais à vida vegetal, pois as plantas só subsistem se alimentadas por sais minerais solúveis, como os produzidos pelo processo de compostagem (KIEHL, 2002).

A decomposição de resíduos pode também ser conseguida na ausência de oxigênio, sendo por vezes incorretamente denominada de compostagem anaeróbia. O produto resultante deste processo de digestão anaeróbia apresenta características muito diferentes do composto produzido na compostagem. A estabilização da matéria orgânica dá-se de forma lenta, não sendo atingidas temperaturas muito elevadas. O resíduo obtido necessita de um tratamento posterior antes de ser considerado um aditivo orgânico de qualidade aceitável (ESCOLAS VERDES, 2005).

3.2 – Principais Parâmetros que afetam a Compostagem

Os principais parâmetros que afetam a compostagem são: taxa de aeração, teor de umidade, temperatura, nutrientes, tamanho da partícula e pH.

3.2.1 - Taxa de Aeração (Oxigenação)

O oxigênio é de vital importância para a oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos, para que ocorra produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a decomposição. Parte dessa energia é utilizada no metabolismo dos microrganismos e o restante é liberado na forma de calor (CARVALHO, s.d.).

A aeração é, na prática da compostagem, o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, pois evita altos valores de temperatura, aumenta a velocidade de oxidação da matéria orgânica e diminui a emissão de odores (PEREIRA NETO, 1989). O revolvimento do composto no pátio, ao mesmo tempo em que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos. Essa renovação é importante, pois o teor de gás carbônico existente no interior da leira pode chegar a concentrações cem vezes maiores que seu conteúdo normal no ar atmosférico. Faltando oxigênio na leira, haverá formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano, componentes característicos da fermentação anaeróbia (KIEHL, 2004).

A compostagem é um processo necessariamente aeróbio e por isso a manutenção de níveis adequados de oxigênio no interior dos materiais a compostar é uma condição essencial para o sucesso do processo. No início da atividade dos microrganismos a concentração de oxigênio nos poros é aproximadamente de 15 a 20 % (semelhante à composição do ar). Concentrações de oxigênio inferiores a 5% dão origem a zonas anaeróbicas. Para que o processo se mantenha aeróbico o ideal é um mínimo de 10% de oxigênio. Se o nível de oxigênio não for suficiente, a comunidade

anaeróbica vai dominar o processo com conseqüente atraso na decomposição, e com produção de gases voláteis que são responsáveis pelos maus odores usualmente associados a estes sistemas. (ESCOLAS VERDES, 2005).

3.2.2 - Teor de Umidade

A decomposição da matéria orgânica depende, sobretudo, da umidade, para garantir a atividade microbológica. Isso porque, dentre outros fatores, a própria estrutura dos microorganismos consiste de, aproximadamente, 90% de água. Para a produção de novas células, a água precisa ser obtida do meio, no caso, da massa de compostagem. Além disso, todo o nutriente necessário ao metabolismo celular precisa ser dissolvido em água, antes de sua assimilação (PEREIRA NETO, 1989).

Uma determinada quantidade de umidade é necessária no processo uma vez que os microorganismos só são capazes de absorver os nutrientes que se encontrem na fase dissolvida. Além disso, a água é necessária aos processos metabólicos e à construção de biomassa, que é constituída por mais de 70% de água. A estrutura física e a capacidade de retenção da água variam muito com o material a compostar, sendo por isso impossível apontar um valor adequado de umidade da massa orgânica. Contudo, os valores usualmente encontrados na literatura estão na faixa de 40 a 70%. Se a massa em decomposição começar a cheirar mal, há grandes probabilidades de estar demasiadamente molhada. O excesso de água enche os poros, impedindo a difusão de oxigênio no material, levando, conseqüentemente, o processo a condições anaeróbicas (ESCOLAS VERDES, 2005).

Kiehl (2004) limita em 60% o valor máximo de umidade da massa orgânica para um melhor desempenho do processo, considerando o valor ótimo de 55%. Saturando-se uma massa orgânica todos os espaços vazios serão tomados pela água, não restando lugar para o ar. Inversamente, secando-se em estufa uma amostra de fertilizante orgânico, todos os espaços vazios serão tomados pelo ar. Como os microorganismos aeróbios necessitam de ar e água, na compostagem é importantíssimo saber dosar esses dois componentes de maneira que estejam em seus valores ótimos.

Na operação de controle da umidade na massa orgânica, é importante que todas as camadas do material em compostagem tenham igual teor de água, portanto, ao revolvê-lo deve-se misturar as camadas externas mais secas, com as internas mais úmidas (CARVALHO, s.d.).

3.2.3 - Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43°C). Entretanto, embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de microrganismos patogênicos, alguns pesquisadores observaram que a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura, o ideal é controlar a temperatura entre 55°C e 65°C, pois esta é a faixa que permite a máxima intensidade de atividade microbiológica e que acima deste intervalo o calor limita as populações aptas, havendo um decréscimo da atividade biológica e o ciclo de compostagem fica mais longo. (FERNANDES, 1999).

A decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos, devido ao seu metabolismo exotérmico, gera calor. A temperatura do sistema depende do equilíbrio entre o calor produzido e o calor perdido para o exterior. O calor produzido depende do tamanho da leira, do teor de umidade, da taxa de aeração e da razão carbono/nitrogênio.

A temperatura é um fator determinante no processo, uma vez que diferentes temperaturas promovem o desenvolvimento de diferentes comunidades microbianas. Além disso, a maioria dos microorganismos não sobrevive a temperaturas superiores a 70°C o que faz com que a decomposição seja muito lenta a partir desse valor. A taxa de decomposição é máxima a temperaturas entre 45°C e 55°C, no entanto, é necessário que durante o processo se atinjam temperaturas superiores para assegurar a higienização (destruição de microrganismos patogênicos e sementes de ervas daninhas) (ESCOLAS VERDES, 2005).

A pilha de compostagem deve registrar temperaturas de 40°C a 60°C dentro do segundo ao quarto dia, como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema (PEREIRA NETO, 1989), ou seja, alcançando-se temperaturas termofílicas logo no início do processo, a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida.

Montada a leira de compostagem, o primeiro indício de que a decomposição se iniciou é a presença de calor no substrato. Kiehl (2004) justifica que, se dentro de dias não se notar elevação de temperatura, provavelmente é devido ao excesso de água na massa. A seqüência dos “estágios” da temperatura na leira em compostagem é inicialmente partindo de um material na temperatura ambiente, entrar na fase mesófila,

passando para a termófila, voltar para a mesófila. No final da degradação da matéria orgânica, quando a temperatura se iguala com a do ambiente, a fase é de humificação.

Pereira Neto (1989), relata que a compostagem moderna está mais associada ao desenvolvimento de temperaturas termofílicas, onde se utiliza apenas os artifícios da engenharia para manter temperaturas controladas na faixa de 40°C a 65°C, em toda a massa de compostagem, pelo período mais longo possível, a fim de se obter a maior eficiência do processo, garantindo uma série de vantagens, tais como:

- desenvolvimento de uma população microbiótica diversificada;
- aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica;
- ação, como mecanismo mais importante, para a eliminação de microorganismos patogênicos;
- eliminação de sementes de ervas daninhas, ovos de parasitas e larvas de insetos.

Tão logo a fonte de carbono mais disponível seja exaurida, a temperatura cai para valores baixos (35°C a 38°C), indicando o fim da primeira fase do processo.

3.2.4 - Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

O crescimento e a diversificação da colônia microbiológica na massa de compostagem relacionam-se diretamente com a concentração de nutrientes, os quais fornecem material para a síntese protoplasmática e suprem a energia necessária para o crescimento celular. Quanto mais diversificado for o material a ser compostado, tanto mais diversificado serão os nutrientes disponíveis para a população microbiológica, conseqüentemente, mais eficiente será o processo de oxidação. Devido a sua heterogeneidade, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é fonte satisfatória de aminoácidos, vitaminas, proteínas, sais minerais e macro e micronutrientes essenciais à boa atividade de oxidação no processo de compostagem (PEREIRA NETO, 1989).

Em termos práticos, quanto à concentração de nutrientes, a atenção é centralizada nos importantes macronutrientes Carbono e Nitrogênio, cuja concentração torna-se importante fator na compostagem (relação C/N).

A compostagem é um processo biológico sendo por isso necessário criar as condições corretas para o crescimento de seres vivos, em particular, satisfazendo os seus requisitos nutricionais. Dos muitos elementos necessários à decomposição microbiológica o Carbono e o Nitrogênio são os mais importantes. O Carbono fornece energia e constitui 50% da massa celular dos microorganismos. O Nitrogênio é um

componente essencial nas proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas necessárias ao crescimento e funcionamento celular (ESCOLAS VERDES, 2005).

Os microorganismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30 partes do primeiro para uma parte do segundo (C/N=30/1), essa também será a proporção ideal nos resíduos (CARVALHO, s.d.), sendo este valor freqüentemente encontrado na literatura como o recomendado para início do processo. Na prática, considera-se os valores entre 26/1 e 35/1 como os iniciais mais favoráveis para uma mais rápida e eficiente compostagem. (KIEHL, 2004). No caso desta relação ser muito superior a 30:1 o crescimento dos microorganismos é atrasado pela falta de nitrogênio e conseqüentemente a degradação dos compostos torna-se mais demorada, enquanto se a relação for muito baixa, o excesso de nitrogênio acelera o processo de decomposição mas faz com que o oxigênio seja gasto muito rapidamente, podendo levar à criação de zonas anaeróbias no sistema. O excesso de nitrogênio é liberado na forma de amônia, o que, além dos maus odores que provoca, corresponde a uma perda de nitrogênio, gerando um composto mais pobre neste nutriente (ESCOLAS VERDES, 2005).

Iniciando-se o processo de degradação com uma relação C/N dentro da faixa ideal, o nitrogênio não se perderá se a compostagem for bem conduzida. Havendo só perda de carbono, a relação C/N vai diminuindo, até alcançar 18/1, onde o composto é considerado bioestabilizado, já podendo ser utilizado como fertilizante orgânico sem risco de causar danos às plantas. Continuando a compostagem, a relação termina entre 8/1 e 12/1, considerado ponto final, onde a matéria orgânica está humificada, curada, maturada (KIEHL, 2005).

3.2.5 - Granulometria

O tamanho das partículas tem grande importância no processo de compostagem, governando o movimento de líquidos e gases na leira. Quanto menor a partícula, maior é a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microorganismos. Teoricamente, partículas diminutas têm um somatório de área imenso e receberiam um ataque intenso, em condições de arejamento corretas, mas na prática da compostagem, granulometria muito fina traz sérios problemas de aeração, compactação e encharcamento. Quanto maior a granulometria, mais intensas serão as trocas de ar saturado de gás carbônico dos vazios, pelo ar atmosférico, trocas essas efetuadas pelos fenômenos de difusão e

convecção. A tendência do ar aquecido é ganhar as partes mais altas da leira sendo os espaços vazios ocupados pelo ar atmosférico (KIEHL, 2004).

O movimento do ar no interior da leira facilita ainda a remoção da umidade. Se encharcado, o composto de granulometria muito fina, pela alta capacidade de retenção de água, compacta-se, permitindo que o processo entre em anaerobiose, putrefação, despreendendo gás sulfídrico e outros gases de igual odor desagradável. Com maior granulometria o material resseca-se mais facilmente, em contrapartida, a aeração é facilitada, não havendo tendência à compactação, sendo a decomposição aeróbia teoricamente garantida (KIEHL, 2004).

Portanto, pode-se resumir: partículas muito pequenas podem acarretar a compactação da leira, comprometendo a aeração. Por outro lado, resíduos grandes retardam a decomposição por terem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microorganismos (CARVALHO, s.d.).

Por fim, Pereira Neto (1989), comenta que, em termos práticos, o tamanho da partícula também é limitado por fatores de ordem operacional, sendo o aspecto econômico o principal, relacionado ao alto custo dos equipamentos de trituração.

3.2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é também um parâmetro importante para o desenvolvimento de uma comunidade biológica e torna-se difícil de controlar num processo como a compostagem. Felizmente, diferentes microorganismos têm capacidade de se adaptar a diferentes pH. Um pH inicial entre 5,5 e 8,5 é o mais adequado aos microorganismos presentes na compostagem, mas o processo pode ocorrer com sucesso fora desta gama de valores (ESCOLAS VERDES, 2005).

Para a maioria das bactérias, a faixa ótima de pH fica entre 6,0 e 7,5, já para os fungos, situa-se na faixa de 5,5 a 8,0. De modo geral, durante a compostagem, o pH tende a ficar na faixa alcalina, variando de 7,5 a 9,0.

A literatura especializada cita que a concentração de íons afeta os processos biológicos. Entretanto, em mais de 40 experimentos de compostagem com lixo urbano e lodo de esgotos, nos quais foi variado o pH inicial da massa de compostagem, verificou-se a existência de um fenômeno de auto-regulação do pH, efetuado pelos microorganismos no decorrer do processo. Assim, ficou concluído que o pH da massa

de compostagem não é, usualmente, um fator crítico no processo, mesmo porque se torna uma tarefa difícil tentar corrigir o pH durante a compostagem (PEREIRA NETO, 1989).

3.3 – Eliminação de Organismos Patogênicos

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, que serve de matéria prima para a compostagem, pode conter microrganismos patogênicos, danosos às plantas, aos animais e ao homem, constituindo-se em um grave problema sanitário.

A eficiência da inativação térmica dos possíveis patógenos presentes nos resíduos orgânicos, depende da conjugação de dois componentes, temperatura e tempo, pois altas temperaturas por curto espaço de tempo ou baixas temperaturas, desde que na faixa termofílica, por longo período, são igualmente eficientes para o sucesso da higienização (FERNANDES, 1999 e KIEHL, 2004).

As leiras apresentam diferentes temperaturas nas suas diversas regiões, devendo merecer maior atenção as partes mais externas, expostas ao sol e ao vento, que são mais frias e ressecadas, e a da base, mais úmida, mais fria, pobre em oxigênio com atividade microbiana menos intensa. Portanto, o revolvimento da leira é um fator importante para a eliminação dos patógenos, misturando as diferentes camadas e expondo porções mais frias ao efeito das altas temperaturas.

A maioria dos parâmetros de controle da contaminação biológica na compostagem baseiam-se nos valores apresentados no quadro 7, porém, pelo acima exposto, Pereira Neto (2001) em suas pesquisas, prova que constitui-se um grande erro assumir que a eliminação dos patógenos possa se dar com a manutenção de temperaturas termofílicas, próximas a 60°C por apenas uma hora.

QUADRO 7: INATIVAÇÃO DE PARASITAS E MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS

MICRORGANISMO/PARASITA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MINUTOS)
NECATOR AMERICANUS	45	50
ENTAMOEBA HISTOLÍSTICA	55	3
ENTAMOEBA HISTOLÍSTICA (cistos)	45 a 55	1 a 3
MICROCOCCUS PYOGENES	50	10
STREPTOCOCCUS PYOGENES	54	10
ASCARIS LUMBRICOIDES (ovos)⁽¹⁾	50 a 55	7 a 60
TAENIA SAGINATA	55	3
CORYNEBACTERIUM DIPHTERIAE	55	45 a 50
SALMONELLA Sp.	55 a 60	15 a 60
SALMONELLA TYPHOSA	55 a 60	20 a 30
SHIGELLA Sp.	55	60
ESCHERICHIA COLI	55 a 60	15 a 60
ESCHERICHIA COLI (cistos)	60	20
TRICHINELLA SPIRALIS (larvas)	55 a 60	1 a 3
TRICHINELLA SPIRALIS (cistos)	60	1
BRICELLA ABORTUS	55 a 63	5 a 60
MICROBACTERIUM TUBERCULOSIS	67	20

Fonte: Adaptado de Kiehl, 2004 – Pereira Neto, 2001 – Fernandes, 1999

(1) Pereira Neto (2001) informa ter encontrado diferentes valores por diversos autores (temperaturas entre 50 e 70°C e tempos que vão de uma a 43 horas)

Mesmo se o patógeno estiver em uma região de temperatura mais fria, sua inativação se dará pelo tempo de permanência na faixa de temperatura termofílica, como no caso da bactéria Shigella, causadora de desintéria bacilar (FERNANDES, 1999) que tanto pode ser eliminada em uma hora a 55°C, como em cinco dias a 45 °C.

Durante a compostagem, determinados microrganismos que realizam a digestão da matéria orgânica, eliminam antibióticos, contribuindo no combate aos patogênicos, assim como a competição microbiana e o antagonismo, pois organismos patogênicos, em geral, sobrevivem em hospedeiros, o homem, o animal ou a planta, não tendo função específica no processo de compostagem. Apesar de certos patógenos poderem sobreviver por algum tempo no material a ser compostado, eles não podem se multiplicar a não ser no interior de seus hospedeiros. Como são organismos ricos em proteínas, constituem alimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, sendo digeridos por estes últimos. Esta competição microbiana e o antagonismo são dois fatores importantes no controle dos patogênicos. A comunidade

de microrganismo natural, indígena ou nativa, existente nos resíduos sólidos urbanos em compostagem, é muitas vezes superior à dos patogênicos, resultando uma relação de alto antagonismo e de intensa competição por nutrientes, sendo os patogênicos, em minoria, perdedores nesta disputa (KIEHL, 2004).

Por fim, alguns autores (BERTOLDI et al., 1991 apud KIEHL, 2004), são de opinião que uma completa esterilização pode não ser praticável. Contudo, afirmam não ser necessária, pelo fato do solo já abrigar, naturalmente, certos patogênicos, concluindo ser uma tentativa supérflua e perda de dinheiro procurar destruir completamente os patogênicos do composto, se muitos deles já se encontram no solo.

3.4 – Metais Pesados

Muitos materiais, geralmente os coloridos, presentes nos resíduos sólidos urbanos, vem recebendo tratamentos especiais para produção de bens de consumo, nos quais são empregados produtos químicos considerados tóxicos, dentre eles os metais pesados, causando preocupações quanto ao seu uso agrícola na fertilização das terras de cultura, pois as plantas absorvem estes componentes, os quais se deslocam das raízes para as partes comestíveis do vegetal (KIEHL, 2004).

Os metais pesados são elementos químicos que ocorrem na água presente no solo, em associação com moléculas orgânicas em várias formas, mas somente quando sua concentração se eleva até um ponto considerado crítico, é que pode se tornar danoso para as plantas. Entre os elementos químicos encontram-se os classificados como nutrientes essenciais, imprescindíveis para as plantas, ou os classificados como benéficos, que mesmo não sendo essenciais, contribuem para o crescimento da planta.

Os elementos químicos metálicos são classificados, de acordo com suas densidades, em metais leves ($< 5,0 \text{ g/cm}^3$) e metais pesados ($> 5,0 \text{ g/cm}^3$). Ocorre que os metais leves, os metais pesados, assim como, os elementos químicos não metálicos têm representantes capazes de gerar toxicidade. Nutrientes essenciais como potássio, cálcio e magnésio (todos com densidade menor que $5,0 \text{ g/cm}^3$) e os micronutrientes cobre, ferro, zinco, manganês e níquel (com densidade acima de $5,0 \text{ g/cm}^3$) são indispensáveis para a vida vegetal e no entanto podem ser considerados potencialmente tóxicos se absorvidos em doses elevadas (KIEHL, 2004).

A fração inorgânica do solo é complexa tanto mineralogicamente como na sua composição química. Das três principais frações granulométricas do solo, areia, silte e

argila, é esta última a que possui a maior área de atividade. Muitos dos minerais de argila do solo retêm eletrostaticamente metais pesados solúveis, contidos em restos orgânicos incorporados ao solo; esta capacidade da argila aumenta com a alcalinidade, diminuindo com a acidez do solo. A fração orgânica do solo também adsorve fortemente os metais pesados, reduzindo a mobilidade desses elementos (KIEHL, 2004).

O comportamento dos elementos químicos no solo é complexo, por interagirem resultando novos compostos ou por serem encontrados em variadas formas. Assim, Kiehl, (2004) cita como exemplos: o zinco compete com o cádmio por sítios de adsorção do solo, reduzindo a concentração deste último; o crômio hexavalente solúvel, no solo é facilmente convertido a crômio trivalente insolúvel; o níquel inibe a absorção e translocação do ferro; óxidos de ferro e de alumínio reduzem a disponibilidade do zinco. No solo, resíduos com alto teor de cádmio baixam o nível de zinco disponível; e o chumbo solúvel contido em resíduos orgânicos, adicionado ao solo reage com argilas, carbonatos, sulfatos e fosfatos, reduzindo a disponibilidade para as raízes que o absorvem na forma iônica.

Em um composto imaturo, além da possível presença de substâncias fitotóxicas, haverá matéria orgânica que não foi totalmente digerida. Um excesso de matéria orgânica de degradação rápida no composto aplicado ao solo, pode levar à uma deficiência de oxigênio na zona radicular das plantas e conseqüentemente, a uma deficiência nutricional das mesmas (MARQUES, 2002).

No Brasil, ainda não existe uma legislação específica que controle a aplicação do composto de resíduos sólidos orgânicos na agricultura. A única legislação brasileira, que trata de fertilizantes orgânicos, de uma maneira geral, é a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, posteriormente complementada pela Portaria nº 1 de 04/03/83, também do MAPA, onde o composto, considerado um fertilizante orgânico, deve ter as características apresentadas no quadro 8, para poder ser registrado e comercializado.

QUADRO 8: CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DO COMPOSTO PARA OBTER REGISTRO NO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

ITEM	VALOR	TOLERÂNCIA
Matéria orgânica total	mínimo de 40%	Menos de 10%
Nitrogênio total	mínimo de 1%	Menos de 10%
Umidade	máximo de 40%	Mais de 10%
Relação C/N	máximo de 18/1	Até 21/1
pH em água	mínimo de 6	Menos de 10%

Fonte: Lei nº 6.894, 1980 apud Silva et al, 2002

A legislação em vigor em outros países regulamenta a presença de metais pesados no composto de lixo. No quadro 9 apresentam-se os limites máximos estabelecidos desses elementos para que o adubo orgânico possa ser empregado na agricultura daqueles países. Entretanto, mesmo nos Estados Unidos, fora a obrigação de temperaturas termofílicas para a eliminação de patógenos e a legislação sobre metais pesados, ainda não há leis federais específicas para o controle da produção, comercialização e aplicação dos compostos orgânicos (COOPERBAND, 2002).

QUADRO 9: TEORES PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS (mg/Kg) NO COMPOSTO

País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Alemanha	150	100	400	100	50	15	1
Estados Unidos	500	500	1000	1000	100	10	5
França	800	-	-	-	200	8	8
Áustria	900	1000	1500	300	200	6	4
Itália	500	600	2500	500	200	10	10
Suíça	150	150	500	-	-	3	3
Holanda	20	300	900	50	50	2	2

Fonte: Grossi, 1993, adaptada por Silva et al, 2002.

É importante observar que no Brasil, na única legislação que trata da comercialização do composto (Lei nº 6.894/80 do MAPA), não há explicitação dos

teores permissíveis de metais pesados, apenas cita que no composto deverão estar ausentes as seguintes substâncias: agentes fitotóxicos, agentes patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados, agentes poluentes, pragas e ervas daninhas. Silva et al. (2002) concluem que de acordo com essa Lei, nenhum material orgânico, composto de lixo ou esterco de curral, por exemplo, podem obter registro no MAPA, por conterem uma quantidade detectável de metais pesados em sua composição, porém, cabe lembrar que esta Lei não é específica para a aplicação de composto.

Porém, é um engano imaginar que ao se adubar o solo com fertilizante orgânico, ou mesmo com fertilizante mineral contendo metais pesados, dentro dos limites aceitáveis, toda a quantidade aplicada será assimilada pela cultura, pois somente uma pequena porção estará biodisponível às raízes e por elas bioassimiladas. Não é só a quantidade total no solo que causa fitotoxicidade, mas também a forma e a disponibilidade de absorção do elemento pela planta (KIEHL, 2004).

A Circular Técnica 3, de novembro de 2002, da EMBRAPA/MAPA, estabelecem os seguintes limites máximos para metais pesados no composto de resíduos sólidos no Estado de São Paulo, baseados nos valores de pesquisas em São Paulo e nos parâmetros internacionais:

- Chumbo (Pb) 500 mg/kg
- Cobre (Cu) 500 mg/kg
- Zinco (Zn) 1.500 mg/kg
- Crômio (Cr) 300 mg/kg
- Níquel (Ni) 100 mg/kg
- Cádmio (Cd) 5 mg/kg
- Mercúrio (Hg) 2 mg/kg

No quadro 10, é apresentada uma interessante classificação quanto à qualidade do composto, de seus conteúdos de metais pesados e dos limites a serem aplicados no solo. Os autores analisaram trinta compostos produzidos com diferentes matérias-primas e organizaram uma classificação de acordo com as leis estipuladas por países europeus.

QUADRO 10: CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO COMPOSTO

Qualidade do composto	Limites para metais pesados (mg/Kg)					
	Cádmio	Crômio	Níquel	Chumbo	Cobre	Zinco
Muito Alta	< 1	< 70	< 30	< 100	< 100	< 200
Alta	1 – 2,5	70 - 150	30 - 60	100 - 150	100 - 200	200 - 400
Presença de contaminantes	2,6 - 4	151 - 200	61 - 100	151 - 500	201 - 400	401 - 1000
Baixa	> 4	> 200	> 100	>500	> 400	> 1000

Fonte: Genevini et al., 1997 apud Kiehl, 2004

Como se pode observar nos valores do quadro 10, o composto de boa qualidade tem baixíssimos teores de metais pesados. Por outro lado, sabe-se que os metais pesados são acumulativos, portanto, na aplicação do composto na agricultura, deve-se pesquisar também a presença de metais pesados no solo e recomenda-se que os teores não devem ultrapassar os valores recomendados pela Circular Técnica 3, da EMBRAPA/MAPA, estabelecidos para o Estado de São Paulo.

3.5 – A utilização do composto orgânico na agricultura

A utilização adequada dos fertilizantes químicos e/ou orgânicos na agricultura brasileira é importante para elevar o nível de produtividade dos solos, geralmente pobres em nutrientes essenciais às plantas. A intensificação da adubação mineral no Brasil passou a ser uma das inovações tecnológicas nas décadas de 1950 a 1970, conseqüentemente, a adubação orgânica neste período foi quase totalmente esquecida. No entanto, o setor produtivo, especialmente as pequenas e médias propriedades, possui condições limitadas de utilizar insumos industrializados com recursos próprios, o que leva a um decréscimo da sua produtividade. Por outro lado, tanto a agropecuária, como o lixo urbano, são fontes de grande quantidade de resíduos orgânicos, os quais, quando manipulados adequadamente através da compostagem, podem suprir, com vantagens, boa parte da demanda de insumos industrializados sem afetar adversamente os recursos do solo e do ambiente. No Brasil, após um período de estagnação, alguns agricultores vêm praticando uma agricultura diferenciada, orgânica, mais viável econômica e

socialmente, produzindo alimentos mais saudáveis, chamadas orgânicos, de grande procura pelos consumidores (adaptado de Carvalho, s.d.).

Os solos na Região Sudeste, por serem originários de sedimentos mineralógicos pobres, e por também estarem associados a uma condição climática tropical, apresentam, em sua maioria, teores baixos de matéria orgânica e de nutrientes para suprir as necessidades das plantas. Deste modo, a reposição da matéria orgânica é importante para melhorar a fertilidade e a retenção de água no solo, assim como, promover a adição de nutrientes no agrossistema (SILVA et al., 2002).

A adição de fertilizantes orgânicos nas terras de cultura, aumenta a quantidade de água de chuva absorvida por infiltração e a distribuição por drenagem (movimentação da água no perfil do solo) (KIEHL, 2005). A avaliação do efeito da aplicação crescente do composto de lixo urbano na retenção de água feito por Berton (1995) citado por Silva et al. (2002), revelou que a quantidade de água facilmente disponível aumentou em cerca de 26 l/m³.

Na agricultura, há uma queda de produtividade, devido à compactação do solo, seja pelo uso de máquinas agrícolas pesadas ou pelo manejo incorreto do solo. Os adubos orgânicos tornam as terras mais soltas (friáveis - ao serem aradas os torrões se desfazem muito mais facilmente), mais porosas (arejadas - as raízes caminham com muito mais facilidade, insinuando-se na alta porosidade do solo, encontrando mais ar à sua disposição) e mais leve (menos densa). Uma terra rica de matéria orgânica é menos dura quando seca e menos plástica ou pegajosa quando molhada. (KIEHL, 2005).

Não há restrição ou intolerância para as plantas quanto à adubação orgânica nas terras de cultura, sendo recomendada para culturas intensivas (hortaliças, flores ou mudas em geral) e as culturas extensivas (café, cana-de-açúcar, algodão, milho, pomares e pastagens) (KIEHL, 2005). Mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica, a adição de composto orgânico rompe o equilíbrio existente, ocorrendo mudanças nas propriedades biológicas do solo devido à continuidade no processo de decomposição, em função da existência de substâncias orgânicas parcialmente decompostas e de células mortas de microrganismos. Assim sendo, é de se esperar que a adição de compostos de lixo aumente a população de microrganismos presentes no solo, por oferecer um substrato carbônico, uma disponibilidade de água e também intensificando as atividades enzimáticas envolvidas nos ciclos de alguns nutrientes (KIEHL, 2005, SILVA et al., 2002).

Nem todos os compostos são produzidos da mesma forma. O resultado final depende do processo usado, da atividade biológica e, o mais importante, qual a intenção de uso do composto (COOPERBAND, 2002). Para uma aplicação segura e técnica do composto orgânico no solo agrícola, se recomenda uma compostagem completa, ou seja, que esse material orgânico tenha um pH acima de 6,5 e a relação C/N abaixo de 18.

3.5.1 – Testes de avaliação do composto

O grau de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem pode ser verificado por vários testes simples, rápidos e, o mais importante, de baixo custo. Naturalmente que estes testes não devem substituir as análises de laboratório, mas são importantes ferramentas para a realidade prática na rotina diária dos processos de compostagem (KIEHL, 2004).

Outra importante vantagem destes métodos, está relacionada ao baixo grau de complexidade de alguns testes, podendo ser realizados pelos próprios funcionários da Unidade de Tratamento. A seguir, relacionam-se alguns dos métodos rápidos para o acompanhamento da maturação do composto:

- pelo índice pH;
- pela presença de suspensão coloidal;
- pelo teste da mão e da bolota;
- pela determinação da granulometria;
- pela determinação da densidade;
- pelo volume de poros totais e espaço livre de aeração;
- pela capacidade de retenção de água;
- pela determinação rápida da umidade; e
- pelos testes para nitrogênio amoniacal e nítrico.

Capítulo 4 — A Unidade de Tratamento de Lixo de Miracema/RJ

4.1 –Contextualização

O crescimento populacional, com a conseqüente necessidade de aumento da produção, aliado ao avanço tecnológico que estimula o consumo, implica em um dos maiores desafios a ser enfrentado pelas autoridades municipais: a gestão e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos.

O precário tratamento e a destinação final inadequada desses resíduos, gerados nas inúmeras atividades humanas e industriais, são responsáveis por danos ambientais e pela degradação da saúde pública. Os grandes centros urbanos geram diariamente milhares de toneladas de lixo, porém, devido a um melhor acesso aos recursos financeiros e às tecnologias, vêm se estruturando para soluções adequadas de destinação e tratamento.

Muitos municípios de pequeno e médio porte não percebem, que mesmo em pequena escala, vêm degradando o ambiente ao descartarem seus resíduos a céu aberto. Além de propiciar a proliferação de vetores biológicos de doenças, a fração orgânica é a que representa a maior parcela e o maior problema dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, abrigando microrganismos patogênicos e liberando gases mal cheirosos e chorume, de alta carga poluidora, em seu processo de biodegradação.

Acredita-se que o modelo das Unidades de Tratamento de Lixo apresentado neste trabalho mostra-se como uma alternativa viável para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos dos pequenos e médios municípios, pois utiliza tecnologias de baixo custo, mais compatíveis com a realidade local, dando-lhes um destino adequado e ambientalmente seguro, com as seguintes vantagens: melhoria das condições ambientais e de saúde pública; redução do volume de lixo que necessita de disposição final, e conseqüentemente o aumento da vida útil dos aterros; economia de energia; economia de matéria-prima; benefícios sociais com a geração de empregos diretos e indiretos; geração de renda com a venda de materiais recicláveis e de composto orgânico.

O aproveitamento da expressiva quantidade de matéria orgânica, contida no lixo brasileiro, aliado às características agrícolas do país, em particular dos pequenos municípios do interior, implicam na necessidade de transformação dessa massa

orgânica em fertilizantes orgânicos e condicionador, e também, em melhorador das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, ou simplesmente, como já consagrado, em composto orgânico.

4.1.1 – O Município de Miracema

Miracema, desde os seus primórdios até o fim do século XIX, contou com intensa vida econômica e social, verificando-se enorme surto progressista na época em que suas lavouras de café, arroz, milho e feijão abarrotavam os mercados, aos quais chegavam em lombos de burros, via São Fidélis e, a partir de 1883, pelo ramal da Estrada de Ferro Santo Antônio de Pádua.

Em 1891, o governo atribuiu-lhe a categoria de distrito de Santo Antônio de Pádua. Em 1921, surge o Instituto Afrânio Peixoto, originando o Ginásio de Miracema e a Escola Normal (a terceira no Estado). Com o progresso da localidade, a população passou a pleitear junto às autoridades estaduais a criação do município. Conseguiu-se que, em 1935, fosse criado o município de Miracema, sendo elevado, em 1943, à categoria de comarca.

Com a emancipação dada pelo Decreto nº 3.401, de 7 de novembro de 1935, Miracema recuperou-se da derrocada do café e iniciou a cultura do algodão para abastecer a fábrica de tecidos São Martini e, concomitantemente, desenvolveu a cultura da cana-de-açúcar em ação conjunta com a Usina Santa Rosa. Foi crescendo a cultura do arroz irrigado, juntamente com a pecuária leiteira, que hoje é a principal atividade rural do município.

O núcleo urbano estruturou-se pela ocupação de áreas na margem direita do Ribeirão Santo Antônio, permanecendo como direção principal de ocupação a orientação do curso do ribeirão, com a qual coincidiu o traçado da RJ-116.

O município de Miracema possui uma área total de 302,5 Km², correspondentes a 5,6% da área da Região Noroeste Fluminense à qual pertence.

A rede de ensino, em 2003, era formada por 73 estabelecimentos escolares, com um total de matrículas, na classe de alfabetização e nos ensinos infantil, fundamental e médio de Miracema, de 8.870 alunos.

Com relação à área da saúde, Miracema dispõe de 2 hospitais conveniados ao SUS, 1 filantrópico e 1 contratado. Oferece um total de 193 leitos hospitalares, numa proporção de 7 leitos por 1000 munícipes, enquanto que a média estadual é de 2,9 leitos por mil habitantes. Suas áreas ambulatoriais estão distribuídas da seguinte forma: 8 Centros de Saúde; 1 Pronto Socorro Geral; 2 Consultórios, 1 Núcleo de atenção psicossocial; e 2 Unidades do Programa Saúde da Família.

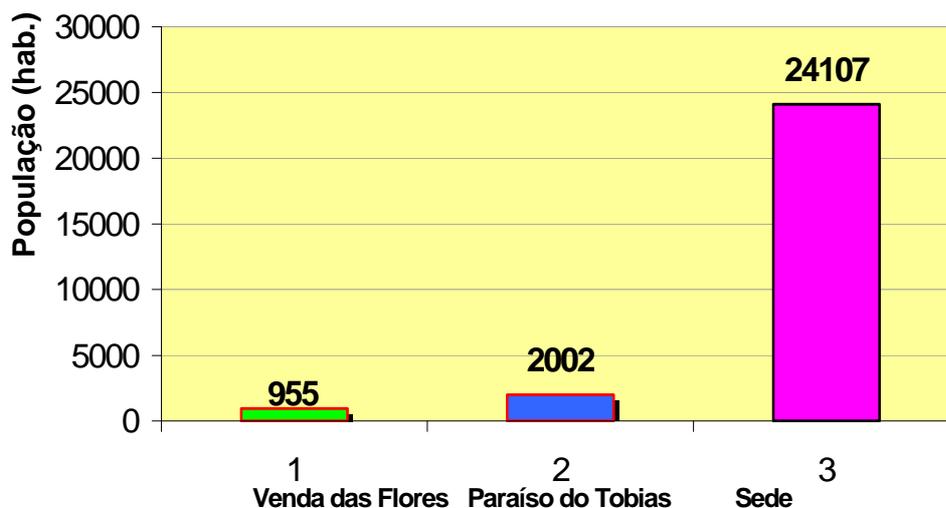
Miracema possui uma agência de correios, 2 agências bancárias e 3 estabelecimentos hoteleiros, não dispõe de cinema, teatro e museu, mas tem 7 bibliotecas.

De acordo com dados da EMATER, a área agrícola do Município, em 1996, correspondia a 28.305 hectares, plantando-se principalmente milho e arroz. Havia uma grande atividade da pecuária leiteira. O setor de serviços e comércio e o industrial, respondem, respectivamente por 57,5% e 24,8% do PIB municipal, sobressaindo-se a indústria de extração de granito e a de beneficiamento de alimentos. Dados de 1996 informam a existência de 65 indústrias no Município, além de 284 estabelecimentos comerciais e 53 de serviços.

De acordo com o censo do IBGE (2000), Miracema tinha uma população de 27.064 habitantes, com uma proporção de 94,9 homens para cada 100 mulheres. A densidade demográfica era de 91 hab./Km², contra 56 hab./Km² de sua região, sua população estimada, segundo o IBGE (2003) é de 27.672 hab. O município tem um número total de 8.601 domicílios, com uma taxa de ocupação de 85%, dos 1.269 domicílios não ocupados, 18% tem uso ocasional. Sua taxa de urbanização corresponde a 88,8% da população

O Município possui 3 Distritos (Figura 1): A sede municipal (3) e os distritos de Venda das Flores (1) e Paraíso do Tobias (2), sendo que este último não seria atendido pela Unidade de Tratamento, devido não só à baixa densidade demográfica, como à grande distância e precariedade da estrada de acesso. Portanto, foi previsto o atendimento de uma população em torno de 20.000 habitantes, os quais geravam um volume de lixo de 40 m³/dia, que na época era descartado em um vazadouro a céu aberto, sendo comercializados por catadores os diversos materiais inorgânicos.

FIGURA 1: POPULAÇÃO POR DISTRITO (CENSO 2000)



Nos primeiros levantamentos para o diagnóstico do sistema de limpeza pública, foram encontrados, segundo dados da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA (1990/91) os seguintes problemas ambientais:

- *semicríticos* – erosão do solo, vetores, inundações e enchentes;
- *em estado de alerta* – deficiência de sistema de esgotamento sanitário, degradação de áreas de preservação, deficiência de cobertura arbórea, processo de desmatamento, poluição das águas, resíduos sólidos e deslizamentos.

O ano de 2003 foi marcado por um dos piores acidentes ambientais do país. Rejeitos químicos vazaram de um reservatório da indústria Cataguazes de Papel, em Minas Gerais, para o Rio Pomba, afluente do Rio Paraíba do Sul. O reservatório rompeu-se, lançando 1,2 bilhão de litros de água contaminada com alta toxicidade de produtos, como cloro ativo e soda cáustica. Miracema e outros sete municípios foram severamente prejudicados em seu abastecimento.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, do IBGE (2000) apresentam o seguinte panorama para o saneamento básico do município.

No tocante ao abastecimento d'água, Miracema tem 87,7% dos domicílios com acesso à rede de distribuição, 11,6% com acesso à água através de poço ou nascente. Os mais de 7 mil m³ distribuídos diariamente, passam por tratamento convencional.

A rede coletora de esgotamento sanitário chega a 81,4% dos domicílios do município, outros 4,5% têm fossa séptica, 2,6% utilizam fossa rudimentar, 7,4% estão ligados a uma vala, e 3,6% são lançados diretamente em um corpo receptor. Excetuando-se por pequenos sistemas de tratamento através de conjuntos fossa-filtro, a grande maioria dos esgotos coletados não passa por tratamento.

Miracema tem 89,9% do total de domicílios (áreas urbana e rural), com coleta regular de lixo, outros 1,3% têm seu lixo jogado em terreno baldio e 8,3% dos domicílios queimam seus resíduos. O total coletado destina-se a Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo.

4.1.2 – O Serviço de Limpeza Urbana

A Prefeitura de Miracema, assim como a grande maioria dos municípios do interior do Estado, administrava diretamente seu serviço de limpeza urbana, que constava das seguintes atividades: coleta regular de lixo; varrição de logradouros; limpeza e manutenção de praças e jardins; destinação final (lixão); capina; desobstrução de ramais e galerias; podas; e remoções especiais.

Com relação à coleta regular de lixo, bastaram algumas modificações quanto à frequência e após a elaboração de novos roteiros e a aquisição de mais um caminhão baú tipo prefeitura, foi possível o atendimento de toda a população da área em estudo. Atualmente está sendo implantada coleta seletiva em algumas ruas do Distrito Sede.

No lixão trabalhavam, em condições insalubres cinco catadores, pai e quatro filhos, sendo dois casados; portanto, deste “serviço” dependiam financeiramente três famílias.

O primeiro grande desafio consistia em eliminar o lixão, localizado logo à entrada da cidade. Um dos primeiros passos foi a assinatura do Termo de Ajustamento de Conduta – TAC, com o Ministério Público, onde a Prefeitura, com o aval da FUNASA, se comprometia a executar a destinação final sanitariamente adequada para os resíduos sólidos coletados.

Como primeiro passo buscou-se, dentre as tecnologias disponíveis, aquela que mais se adequava às características da cidade, atenuando os impactos ambientais causados pelo incorreto destino final dos resíduos sólidos urbanos e visava a obtenção

de parâmetros que alcançassem uma otimização do processo de tratamento da fração orgânica do lixo coletado nos municípios de pequeno e médio porte.

Em seguida efetuou-se o cálculo da quantidade de lixo efetivamente coletada, partindo-se posteriormente para a caracterização e quantificação das diversas frações dos resíduos sólidos e após pesquisa de mercado na região, inclusive no Estado de Minas Gerais, ficou evidente que a separação dos inorgânicos com vistas à reciclagem traria um grande retorno financeiro ao município. Pelas características agrícolas da região Noroeste Fluminense, a produção de composto orgânico através da decomposição da matéria orgânica presente no lixo, a qual em Miracema era superior a 50%, seria facilmente absorvida pelos produtores locais.

Aliado aos fatos descritos, outro fator também foi determinante para a escolha da forma de destino final do lixo de Miracema: a geração de postos de trabalho, inclusive com a utilização dos cinco catadores que trabalhavam no lixão. Como produto da Cooperação Técnica, ficou definido que a gestão do Sistema de Resíduos Sólidos seria realizada por uma Autarquia Municipal.

Útil, segundo o “Aurélio” é um adjetivo que significa que pode ter algum uso ou serventia, proveitoso, vantajoso. Em Miracema, útil é muito mais que um adjetivo, com a criação da Autarquia Municipal, passou a ser a Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo – UTIL, que pode processar diariamente 20 toneladas de resíduos sólidos, e é considerada pelo Ministério da Saúde, uma referência neste setor em todo o Estado do Rio de Janeiro.

O método operacional deste tipo de Usina foi desenvolvido primeiramente pelos técnicos da Coordenação Regional da Paraíba da extinta Fundação Serviços de Saúde Pública – FSESP (atual FUNASA), na década de 80. Após visitas as duas primeiras Usinas construídas (Esperança e Guarabira/PB) e adaptações para a realidade do Estado do Rio de Janeiro, implantou-se as Unidades de Tratamento de Lixo nos Municípios Fluminense de Quissamã, Casimiro de Abreu (uma na Sede e outra no Distrito de Rio Dourado), Bom Jesus do Itabapoana, até se chegar ao modelo implantado em Miracema.

4.2 – Metodologia Operacional da Unidade de Tratamento

Como já mencionado, neste tipo de Unidade de Tratamento de lixo, tem-se como operação básica a segregação dos diversos materiais presentes nos resíduos sólidos gerados pela população e coletado pela municipalidade, objetivando a reciclagem dos inorgânicos, a compostagem dos orgânicos e o aterramento dos rejeitos.

A Unidade foi inicialmente projetada para processar dezesseis toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, em uma jornada de oito horas de trabalho. Posteriormente, houve a implantação de uma terceira mesa de catação, possibilitando o processamento de até 24 T/dia, tendo portanto, uma capacidade mensal superior a 500 toneladas.

O lixo coletado ao chegar na Unidade é descarregado na câmara de recepção (fotos 1 e 2), a qual tem capacidade de receber, aproximadamente, 50,00 m³, porém, o lixo deve chegar em intervalos programados, evitando o acúmulo de grandes volumes. Tal procedimento permite que o lixo, ao ser descarregado, fique próximo das mesas de separação, sendo de imediato colocado manualmente, com auxílio de enxada, no início das referidas mesas.



Foto 1: Vista da área de recepção

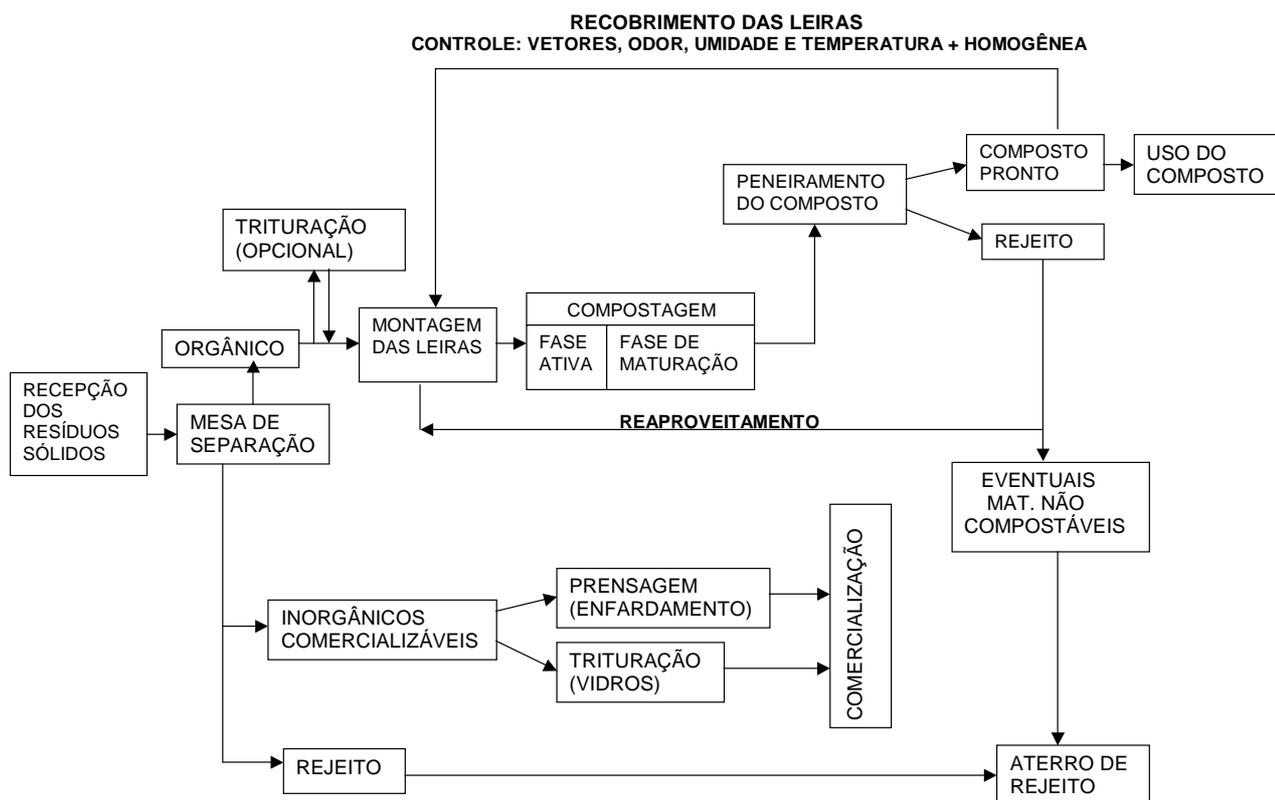


Foto 2: Área de recepção

Eventualmente pode ocorrer a chegada de um ou mais veículos coletores em intervalos de tempo insuficientes para o processamento de todo o lixo já depositado na área de recepção; neste caso, recorre-se à retroescavadeira para empurrar os resíduos sólidos para perto das mesas. O lixo deve ser totalmente processado em uma jornada diária de trabalho, ou seja, não deverá ficar na área de recepção de um dia para outro.

Objetivando uma visualização imediata das operações básicas realizadas na rotina diária da Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo, foi desenvolvido o fluxograma, apresentado na figura 2, onde cabe ressaltar que o recobrimento das leiras pode ser da forma como está descrito e/ou com a utilização da serragem proveniente da trituração de galhos, conforme explicitado mais à frente.

FIGURA 2: FLUXOGRAMA DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE LIXO DE MIRACEMA



Fonte: Fritsch, 2005

Nas mesas de catação (fotos 3 e 4) inicia-se a triagem dos resíduos sólidos urbanos. Os operadores uniformizados e com seus Equipamentos de Proteção Individual, munidos de ferramentas simples, tais como, pequenos ganchos, facas ou um esquadro de madeira que tanto serve para puxar, como para empurrar os materiais ou rasgar sacos e tirar rótulos de garrafas, separam os diversos resíduos inorgânicos comercializáveis, depositando-os em tambores de 200 litros que ficam posicionados ao lado dos operadores. No fim da mesa só restam os rejeitos, que são transportados ao aterro e os materiais orgânicos destinados ao pátio de compostagem. Todos os tambores, sejam com inorgânicos, orgânicos e rejeito são levados à balança e seus pesos anotados em ficha.



Foto 3: Vista das mesas de catação



Foto 4: Vista das mesas de catação

Conforme observado no quadro 5 – Influência das Características do Lixo nos Serviços de Limpeza Urbana, à página 25, exceto pela sazonalidade, onde fatores climáticos ou épocas especiais, tais como, Natal, Páscoa, e o Carnaval, influenciam as características, principalmente, físicas dos resíduos, não há variação significativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos no município de Miracema; portanto, o quadro 11, retirado do que sobrou dos arquivos da Unidade, representa a composição média do lixo em uma semana de trabalho na UTIL, onde se pode destacar a pequena quantidade de rejeito destinada ao aterro (22,51%) e os trinta e cinco mil quilos de matéria orgânica destinados ao pátio de compostagem. Este valor corresponde a mais de 50% de todo o lixo que chega na Unidade.

No quadro 11, é apresentada a composição do lixo em uma semana normal de trabalho na Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo da cidade de Miracema, no interior do Estado do Rio de Janeiro.

**QUADRO 11: UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO
COMPOSIÇÃO DIÁRIA DO LIXO (1)**

LIXO RECEBIDO	DATA (Dia/Mês/Ano)						TOTAL	
	18/08/03	19/08/03	20/08/03	21/08/03	22/08/03	23/08/03	Kg	%
REJEITO	3.357	2.034	2.148	2.640	3.181	2.019	15.379	22,51
FERRO	171	59	44	79	47	0	400	0,59
LATA	287	210	249	216	198	0	1.160	1,70
ALUMÍNIO	11	10	9	0	12	8	50	0,07
PAPEL	1.125	1.042	935	1.216	985	790	6.093	8,92
PAPELÃO	849	871	942	866	827	555	4.910	7,19
PLÁSTICO	906	822	710	791	630	479	4.338	6,35
VIDRO	189	106	175	207	176	93	946	1,38
MAT. ORGÂNICA	5.864	6.794	6.174	5.643	6.254	4.316	35.045	51,29
TOTAL	12.759	11.948	11.386	11.658	12.310	8.260	68.321	100,00

Fonte: Fritsch, 2004

Obs.: (1) - Cabe ressaltar que a UTIL não mais possui em seus arquivos as fichas de controle, pois, conforme informações de seu Diretor, este material foi perdido quando da mudança para o novo escritório. Atualmente, por falta de balança, não mais se executa o controle dos resíduos que chegam e são separados na Unidade. Através do Programa “pró-Lixo” do governo do Estado do Rio de Janeiro, já foram encomendadas duas balanças digitais, com capacidade de 500 Kg, para retomada do controle dos pesos das diversas frações dos resíduos sólidos.

Os materiais inorgânicos, já separados, são depositados em baias em um galpão onde também se encontram as prensas (foto 5). Os papéis, os papelões, as latas, os plásticos selecionados por tipo, são enfardados separadamente e levados para a área de estocagem, onde ficarão aguardando completar, ao menos, uma carga completa do caminhão dos compradores (foto 6). Os vidros separados por cor (âmbar, verde e branco) são armazenados em baias sem coberturas e passam por trituração. Algumas garrafas e garrafões são comercializados intactos. As sucatas de ferro também são comercializadas, porém não sofrem nenhum processo de prensagem ou de separação mais profunda. Na UTIL a venda desses materiais é feita sob a forma de leilão.



Foto 5: Prensa Hidráulica



Foto 6: Caminhão carregado com fardos

As pilhas e baterias são criteriosamente separadas e armazenadas em tambores metálicos, porém não são comercializadas.

Os rejeitos dos tambores são colocados na caçamba da retroescavadeira, que os coloca em um caminhão basculante, sendo então transportados ao aterro, que dista aproximadamente 300,00 metros do ponto de carregamento à trincheira mais distante.

O pátio de compostagem (fotos 7 e 8) não possui cobertura e tem capacidade para 150 leiras de dimensões: 3,00m. de comprimento x 2,00m de largura. Foi construído em concreto armado, para suportar o trânsito de máquinas pesadas que executam o transporte da matéria orgânica.



Foto 7: Vista do pátio de compostagem



Foto 8: Vista do pátio de compostagem

Atualmente é utilizada uma retroescavadeira, que recolhe a fração orgânica separada na mesa de catação e leva ao local do pátio onde ficará a nova leira. Sua montagem é executada por um funcionário, com o auxílio de pá e enxada, que vai moldando seu formato piramidal, porém, com uma inclinação que varia de 75° a 80° . A leira deverá ter uma altura aproximada de 1,80m e seu peso não superior a 3 toneladas.

Alguns fatores climáticos são considerados na montagem das leiras; por exemplo: no outono, devido a grande quantidade de folhas, o peso da leira fica em torno de 2500 Kg, mesmo com altura superior a 1,80m, e em épocas de poucas chuvas deixa-se o topo da leira sem o vértice da pirâmide para, em caso de chuva, ter uma maior área de absorção.

Toda leira é identificada através de uma numeração. Após sua montagem é colocada uma placa numerada em seu topo e é aberta uma ficha onde é anotada a quantidade em peso de matéria orgânica, a data de início da compostagem, o registro da temperatura, o dia de reviramento (foto 9) e o dia de aguação, sendo que o melhor momento para umidificar a leira é na revirada (foto 10).



Foto 9: Aeração da leira



Foto 10: Umidificação da leira

A observação da umidade é feita visualmente, a partir da experiência do gerente responsável pelo processo no pátio de compostagem. A revirada é feita de 3 em 3 dias no primeiro mês e de 7 em 7 dias no segundo, ficando estática por mais 30 dias para a maturação do composto.

Decorridos, teoricamente, 90 dias desde o início do processo de compostagem, o composto orgânico é transportado, pela retroescavadeira, para o peneiramento (fotos 11 e 12). É feita uma análise visual do material que não passou pela peneira. Caso o teor de matéria orgânica presente seja alto, esta matéria retornará ao pátio, servindo de cobertura para as leiras novas. Este procedimento, além de diminuir o volume de material descartado no aterro, auxilia no controle de vetores e mantém a temperatura da leira mais homogênea.



Foto 11: Vista geral da peneira rotativa



Foto 12: Vista interna da peneira rotativa

No caso de haver um elevado percentual de materiais não degradáveis, será classificado como rejeito, sendo então destinado ao aterro. O composto peneirado fica estocado em área coberta aguardando sua comercialização.

Recentemente foi adquirido um triturador de galhos de grande potência, eliminando um sério problema, pois como a cidade é bastante arborizada, o volume de galhos gerado, principalmente em épocas de poda das árvores da área urbana, inviabilizava seu descarte no aterro.

Atualmente, os galhos triturados são colocados nas leiras de compostagem em pequenas porcentagens sobre a matéria orgânica proveniente das mesas de catação. Tal procedimento minimizou a atração de vetores para estas leiras novas, e ainda, devido ao tamanho mais reduzido das partículas, auxilia na retenção do calor no interior da leira. Naturalmente que, logo ao primeiro reviramento os galhos triturados se incorporam à massa em compostagem, porém, devido à oxigenação e à elevada temperatura, já não há atração de vetores.

Ao final do expediente, a câmara de recepção de lixo e toda a área do galpão de triagem são lavadas, assim como todos os tambores utilizados, os quais, após lavagem e desinfecção com água sanitária, são guardados com sua abertura voltada para baixo.

4.2.1 – Recursos Humanos

Visando, ao leitor, uma definitiva compreensão de todo o processo operacional desenvolvido na UTIL, é apresentado no quadro 12, o quantitativo de recursos humanos e as atribuições de cada funcionário.

O número de funcionários da Unidade foi dimensionado para tratar todo o lixo produzido e coletado diariamente na cidade, em regime operacional de um turno diário.

Com exceção do Gerente Geral e do Gerente do Pátio de Compostagem, que possuem o Ensino Fundamental completo, todos os operadores são mão de obra não especializada, tendo recebido treinamento prático específico no local, ministrado por técnicos da Fundação Nacional de Saúde. No quadro 12, a seguir, é apresentado o número de funcionários divididos por suas funções. Em seqüência estão detalhadas as atribuições de cada função.

QUADRO 12: UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO - QUANTITATIVO DE PESSOAL

ATRIBUIÇÃO / ÁREA DE TRABALHO	QUANTIDADE DE FUNCIONÁRIOS
Gerente Geral	01
Gerente do Pátio de Compostagem	01
Área de recepção	02
Mesas de Segregação	18
Apoio às Mesas	03
Transporte de Matéria Orgânica	01
Transporte de Rejeito	01
Montagem das Leiras	01
Reviramento das Leiras	06
Peneiramento do Composto Orgânico	02
Enfardamento / Prensagem do material Inorgânico	04
Transporte interno e Arrumação dos Fardos	02
Limpeza e manutenção da Área da Unidade	01
Tratorista / Motorista de caminhão	01
Vigia	02
Total	46

ATRIBUIÇÕES DOS FUNCIONÁRIOS DA UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO

GERENTE GERAL:

- participar de reuniões com Prefeito, Secretários Municipais e outros segmentos governamentais e não governamentais, em assuntos relacionados ao funcionamento da Unidade;
- receber visitantes, registrando as visitas em livro apropriado;
- manter atualizadas todas as informações sobre o funcionamento da Unidade;
- prestar informações técnicas, administrativas e operacionais da Unidade, às Secretarias de Obras e de Agricultura, FUNASA, Órgãos de Saúde e Meio Ambiente nas esferas Federal, Estadual e Municipal;
- preparar escala de trabalho do pessoal;
- definir tarefas e remanejar pessoal;
- definir e garantir os horários de chegada dos caminhões coletores à Unidade;
- definir horário de funcionamento da Unidade;
- não permitir que funcionários iniciem o trabalho sem os equipamentos de proteção individual e devidamente uniformizados;
- determinar, quando necessário, o prolongamento do turno de trabalho;
- providenciar compensação aos funcionários que, por necessidade de serviço, tiveram sua carga horária alterada;
- controlar horários, faltas, atestados médico, etc.;
- garantir a higiene e limpeza de todas as áreas da Unidade, inclusive pintura;
- garantir perfeitas condições de funcionamento das instalações hidrosanitárias;
- registrar na ficha de composição diária todo o lixo processado na Unidade;
- realizar pesquisa de mercado para comercialização do material reciclado;
- comercializar o material reciclado e o composto orgânico;
- supervisionar o trabalho do Gerente do Pátio de Compostagem; e
- elaborar relatório mensal das atividades da Unidade.

GERENTE DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM:

- definir tarefas e remanejar pessoal;
- garantir a higiene e limpeza das áreas do pátio de compostagem e áreas adjacentes;
- determinar, quando necessário, o prolongamento do turno de trabalho;

- verificar a temperatura das leiras e fazer as anotações nos formulários de controle;
- limpeza e conservação dos termômetros;
- atualizar todos os formulários de controle;
- identificar as leiras para reviramento;
- identificar as leiras para aguação;
- identificar as leiras para peneiramento; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

Obs.: Na eventual ausência do Gerente Geral, o Gerente responsável pelos serviços no pátio de compostagem deverá assumir suas funções.

ÁREA DE RECEPÇÃO:

- conduzir o lixo ao início da mesa de catação, mantendo em funcionamento constante e ininterrupto;
- realizar limpeza diária de sua área de trabalho e ferramentas utilizadas; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

MESAS DE CATAÇÃO:

- separar o lixo colocado na mesa;
- realizar limpeza diária de sua área de trabalho e ferramentas utilizadas; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

APOIO ÀS MESAS DE CATAÇÃO:

- substituir os tambores cheios de material inorgânico;
- pesar o material separado;
- transportar o material separado para a área de prensagem;
- auxiliar na limpeza da área em torno das mesas de catação; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

TRANSPORTE DE MATÉRIA ORGÂNICA:

- transportar a matéria orgânica para o local de carregamento;
- auxiliar no enchimento do tambor junto à mesa de catação;
- realizar limpeza do trecho utilizado no transporte, assim como das ferramentas utilizadas;

- pesar a matéria orgânica; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

TRANSPORTE DE REJEITO:

- substituir os tambores cheios de rejeito;
- pesar o rejeito;
- transportar o rejeito para o local de carregamento;
- manter limpo o trecho utilizado no transporte; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

MONTAGEM DAS LEIRAS:

- montar as leiras com a matéria orgânica;
- identificar as leiras com plaquetas numeradas;
- realizar a limpeza e varrição diária do pátio de compostagem e das ferramentas utilizadas;
- auxiliar, sempre que possível, nas outras operações no pátio de compostagem; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

REVIRAMENTO DAS LEIRAS:

- fazer o reviramento das leiras;
- remontar as leiras, dentro da marcação, no pátio de compostagem;
- quando necessário, fazer aguação da matéria em compostagem;
- realizar limpeza e varrição diária do pátio de compostagem e das ferramentas utilizadas; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

PENEIRAMENTO DO COMPOSTO ORGÂNICO:

- introduzir o composto maturado na peneira rotativa;
- pesar o rejeito do peneiramento;
- pesar o composto peneirado;
- colocar o composto peneirado na área de estocagem;
- realizar limpeza da área de trabalho, da peneira e das ferramentas utilizadas; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

PRENSAGEM / ENFARDAMENTO DO INORGÂNICO SEPARADO:

- transportar o material das baias para as prensas;
- realizar o enfardamento do material separado;
- Arrumar os fardos para transporte;
- Realizar manutenção e limpeza diária das prensas;
- Realizar limpeza da área de trabalho, inclusive baias; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

TRANSPORTE E ARRUMAÇÃO DOS FARDOS:

- transportar os fardos para as baias de estocagem de material prensado;
- Arrumar os fardos nas baias;
- Auxiliar na prensagem do material;
- Realizar limpeza das baias; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

LIMPEZA E MANUTENÇÃO DA ÁREA DA UNIDADE:

- manter a grama aparada e limpa;
- podar plantas e arbustos;
- preparar mudas;
- plantio das novas mudas;
- recolher plásticos finos, que eventualmente sejam levados pelo vento, da área da Unidade e circunvizinhança;
- realizar limpeza e varrição diária dos acessos e estacionamento da Unidade;
- cuidar da horta e das áreas arborizadas; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

TRATORISTA / MOTORISTA DE CAMINHÃO:

- transportar a matéria orgânica segregada nas mesas para o pátio de compostagem;
- carregar o caminhão com o rejeito das mesas de catação e do peneiramento;
- fazer cobertura diária dos rejeitos descartados no aterro;
- auxiliar na condução do lixo descarregado na área de recepção para o início das mesas de catação;

- auxiliar no transporte dos fardos de material inorgânico, da área de prensagem às baias de estocagem, assim como, na arrumação dos mesmos;
- auxiliar no reviramento das leiras;
- transportar a matéria orgânica maturada para a área de peneiramento;
- auxiliar no carregamento dos caminhões dos compradores de material para reciclagem;
- carregar os caminhões dos compradores de composto orgânico;
- realizar limpeza diária e manutenção preventiva da retroescavadeira;
- como motorista, sua única tarefa é conduzir o caminhão com rejeito para ser descarregado no aterro – média de cinco vezes ao dia; e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

VIGIA:

- manter sempre fechado o portão de acesso à Unidade;
- proibir o acesso de pessoas e animais na área da Unidade;
- registrar em livro apropriado qualquer anormalidade ocorrida em seu turno de trabalho;
- registrar em formulário específico o eventual descarregamento de lixo de coleta noturna, de fim de semana e feriados sem expediente, e
- outras tarefas correlatas que lhe sejam delegadas.

No capítulo a seguir, será apresentada a pesquisa na UTIL em Miracema, onde foram realizados vários testes e serão apresentados seus resultados.

Capítulo 5 — Materiais e Métodos

Desde 1994, ano de implantação da Unidade de Tratamento de Lixo do município de Quissamã / RJ, a Divisão de Engenharia de Saúde Pública da Fundação Nacional de Saúde no Rio de Janeiro vem prestando assistência técnica às Prefeituras do Estado no desenvolvimento de projetos de tratamento de resíduos sólidos e operacionalização de usinas simplificadas de lixo, desde a segregação dos materiais, ao processo de compostagem pelo método de reviramento.

5.1 – Descrição da Pesquisa

Para a execução desta pesquisa foram montados e monitorados seis experimentos na forma de leiras de compostagem, sendo adotados procedimentos distintos para as montagens e/ou intervenções nas leiras.

Como substrato, utilizou-se a matéria orgânica segregada nas mesas de catação do galpão de triagem, que é o mesmo material orgânico com que são montadas todas as leiras da UTIL.

Foi definido o número de seis leiras para a pesquisa, objetivando o estudo comparativo entre as mesmas, sendo que em três delas adotou-se o procedimento normal dispensado a todas as leiras em decomposição no pátio de compostagem da Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo do município de Miracema. Na pesquisa, convencionou-se chamar de procedimento padrão a metodologia de monitoramento do procedimento normal.

Todas as seis leiras foram montadas no período de 19 a 21 de outubro de 2005 (duas por dia), e receberam as numerações obedecendo ao seu posicionamento no pátio de compostagem.

No quadro 13, é apresentado um resumo dos procedimentos definidos para cada experimento:

QUADRO 13: PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA CADA LEIRA

Leira (nº)	Procedimento	Condições climáticas
66	Manter umidade elevada e revirar acima de 68°C	Chuvas e ventos intensos
55	Padrão – umidade adequada e revirar aos 65°C	Chuvas e ventos intensos
46	Padrão – umidade adequada e revirar aos 65°C	Chuva fraca e vento forte
35	Padrão – umidade adequada e revirar aos 65°C	Chuva fraca e vento forte
26	Só revirar acima de 68°C e nunca aguar	Tempo bom - ensolarado
15	Nunca revirar e nunca aguar	Tempo bom - ensolarado

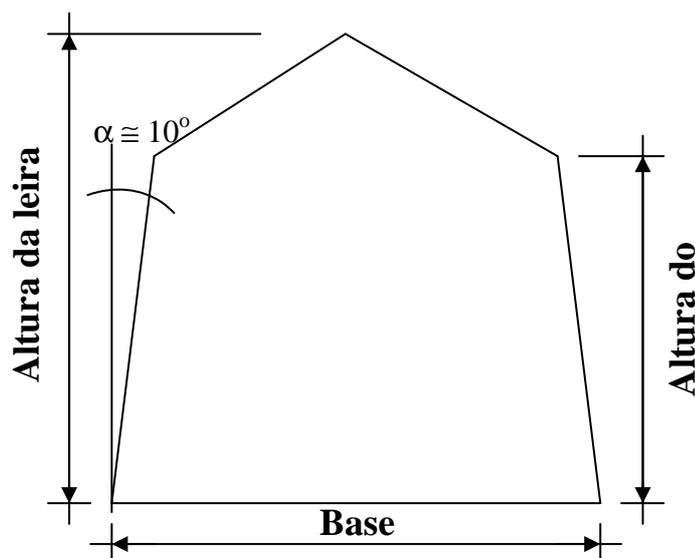
As leiras receberam influências normais e naturais do ambiente, pois foram montadas em pátio a céu aberto. A seção transversal das leiras teve sua forma próxima a trapezoidal, cuja base está indicada no quadro 14 como largura e a dimensão longitudinal está indicada como comprimento. Estas dimensões são relativas à montagem para o início de cada experimento. O quadro 14 caracteriza as leiras construídas para este trabalho.

QUADRO 14: DIMENSÕES E PESOS INICIAIS DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

LEIRA (nº)	DIMENSÕES (m)			PESO (Kg)	DATA DE MONTAGEM
	Altura	Comprimento	Largura		
66	1,70	2,50	1,80	2.736,00	19/10/2005
55	1,80	2,50	1,80	2.756,00	19/10/2005
46	1,90	2,50	1,80	2.743,00	20/10/2005
35	1,85	2,50	1,80	2.716,00	20/10/2005
26	1,80	2,50	1,80	2.741,00	21/10/2005
15	1,70	2,50	1,80	2.740,00	21/10/2005

A seção transversal apresentada na figura 3 representa a forma de montagem de todas as leiras na UTIL, inclusive as dos experimentos aqui apresentados. Portanto, observando-se as dimensões e características das leiras, pretende-se deixar claro que estes estudos foram conduzidos em escala real, e a metodologia de tratamento dos experimentos é quase a mesma dispensada às demais leiras, não fugindo da rotina diária do processo de compostagem utilizado na UTIL.

FIGURA 3: SEÇÃO TRANSVERSAL ESQUEMÁTICA DAS LEIRAS MONTADAS PARA O ESTUDO



Porém, conforme apresentado no quadro 13 e descrito a seguir, alguns procedimentos foram proposadamente alterados para servir de parâmetro comparativo entre os experimentos.

Na manhã do dia 19/10/2005, ocorreram precipitações pluviométricas de grande intensidade, tendo ocorrido ventos fortes nos dias anteriores, acarretando uma quantidade de folhas acima do normal. Nesta data foram montadas duas leiras, sendo solicitado ao funcionário responsável pelas atividades no pátio de compostagem que o reviramento da Leira nº 66 só ocorresse quando a temperatura ultrapassasse os 68°C e a molhasse demasiadamente, mantendo-a encharcada, enquanto que para a Leira nº 55 foi solicitado o procedimento padrão, ou seja, que se fizesse o reviramento sempre que a temperatura estivesse próxima dos 65°C e fazendo a águação de modo a manter a umidade adequada ao processo.

No dia 20/10/2005, com ocorrência de chuva fraca pela madrugada e o dia permanecendo nublado com temperatura ambiente em torno de 26°C, foram montadas as leiras nº 46 (fotos 13, 14 e 15) e nº 35, nas quais, ainda devido aos fortes ventos dos dias anteriores, com uma quantidade de folhas acima do normal. Para essas Leiras também foi solicitado o procedimento padrão, sendo que foi anexado, além da quantidade normalmente presente, um volume de aproximadamente 1,00 m³ de galhos triturados na leira nº 35.



Foto 13: descarregando a matéria orgânica



Foto 14: Montagem da leira nº 46



Foto 15: Concluída a montagem da leira nº 46

No dia 21/10/2005, foi ensolarado, sem ocorrência de chuva, com temperatura em elevação, foram montadas as leiras nº 26 e nº 15, sendo solicitado que, para a leira nº 26, além de nunca ser realizada a aguação, na suspeita de ocorrência de chuvas ela deveria ser recoberta com lona plástica, deixando-a ressecada, e só proceder ao seu reviramento quando a temperatura ultrapassasse os 68°C. Para a leira nº 15 solicitou-se que nunca fosse realizado o seu reviramento, assim como não a molhasse, deixando sua temperatura elevar-se demasiadamente.

No dia 25 de outubro de 2005, retirou-se das leiras várias amostras de diferentes pontos, totalizando, aproximadamente 1 Kg de matéria orgânica. Este material foi encaminhado ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, para análise dos parâmetros físico-químicos, inclusive metais pesados.

Até o dia 27 de outubro, com exceção da leira nº 15, todas as demais já haviam sido reviradas duas vezes. No quadro 15 observa-se que, transcorridos poucos dias da montagem das leiras, houve uma expressiva redução em suas alturas, tendo sido mantidas, quando do reviramento, suas larguras e seus comprimentos. Foi recomendado ao pessoal do pátio de compostagem, que para os próximos reviramentos, os comprimentos das leiras seriam reduzidos, aumentando suas alturas, conseqüentemente, reduzindo a troca de calor com o ambiente.

QUADRO 15: DIMENSÕES DAS LEIRAS EM PROCESSO DE COMPOSTAGEM

LEIRA (nº)	DIMENSÕES (m)			DATA	DIAS EM COMPOSTAGEM
	Altura	Comprimento	Largura		
66	1,00	2,50	1,80	27/10/2005	8
55	1,10	2,50	1,80	27/10/2005	8
46	1,00	2,50	1,80	27/10/2005	7
35	1,00	2,50	1,80	27/10/2005	7
26	1,10	2,50	1,80	27/10/2005	6
15	1,40	2,50	1,80	27/10/2005	6

Ao se comparar com as alturas iniciais, observa-se que houve um abatimento médio das leiras de aproximadamente 77 centímetros, exceção à leira nº 15, que nunca foi revirada, a qual abaixou somente 30 centímetros. Pesquisadores afirmam que partículas muito pequenas podem acarretar a compactação da leira, mas no caso da UTIL, não se pode creditar esta compactação somente ao tamanho das partículas, pois não há trituração da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos; portanto, pode-se supor que, apesar do pouco tempo, já havia ocorrido uma acentuada decomposição da matéria orgânica.

Para a verificação das temperaturas das leiras, foi utilizado um termômetro digital (fotos 16 e 17), da marca FMB, modelo FMBterm180, com faixa de medição de -30 a 180°C e haste de 1 metro, buscando-se introduzir a haste sempre a 50 centímetros em relação ao topo da leira, onde, teoricamente, se encontram as temperaturas mais elevadas.



Foto 16: Termômetro utilizado



Foto 17: Verificação da temperatura

Na rotina operacional da UTIL, o reviramento das leiras é feito manualmente, sendo, conseqüentemente, utilizado o mesmo sistema para a aeração dos seis experimentos, tomando-se o cuidado de se proceder a reversão das camadas, ou seja, colocar as camadas externas e a da base no interior da leira remontada, onde ocorrem as temperaturas mais elevadas, buscando-se uma melhor e mais rápida inativação dos microrganismos patogênicos.

O período médio de compostagem foi de 111 dias, do final do mês de outubro de 2005 até o início do mês de fevereiro de 2006. Durante este período o monitoramento dos experimentos foi feito, principalmente, através da verificação diária da temperatura da massa orgânica em compostagem e ainda, visando à obtenção de parâmetros comparativos do grau de decomposição, higienização e a completa maturação do composto. As leiras foram também monitoradas através de determinações físico-químicas, químicas e bacteriológicas, sendo realizadas três análises, uma no início do processo, outra aos 45 dias e a terceira ao final do período que as leiras ficaram em decomposição, com o material já peneirado.

Além do monitoramento, foi observado, ao longo do período de compostagem, o comportamento das leiras (foto 18) quanto à atração de vetores, emissão de odores, geração de chorume e mudança de coloração do material.



Foto 18: Vista geral de todas as leiras da pesquisa. Leira 66 em reviramento

5.2 – Chuvas durante a Pesquisa

Como em quase todas as regiões brasileiras, na Região Noroeste Fluminense as precipitações pluviométricas não ocorrem com distribuição uniforme ao longo do ano. O período chuvoso inicia-se geralmente no mês de novembro e estende-se até março, porém em dezembro de 2005 as chuvas ocorreram com grande intensidade e frequência acima do normal, chegando a chover quase ininterruptamente durante a primeira quinzena do mês, conforme pode ser observado na figura 4. Nestes primeiros quinze dias do mês de dezembro foram registrados um total de 398mm de chuvas. As maiores ocorrências foram nos dias 3 e 10 de dezembro, com precipitações de 85 e 117mm, respectivamente. As chuvas perduraram, com menor intensidade até o início do mês de janeiro de 2006.

A fim de permitir uma correta comparação com os gráficos das temperaturas, é apresentada a figura 4 que relaciona a intensidade de chuva com o período da pesquisa (dias em compostagem), sendo:

1^o ao 13^o dia da pesquisa => 19 a 31 de outubro de 2005;

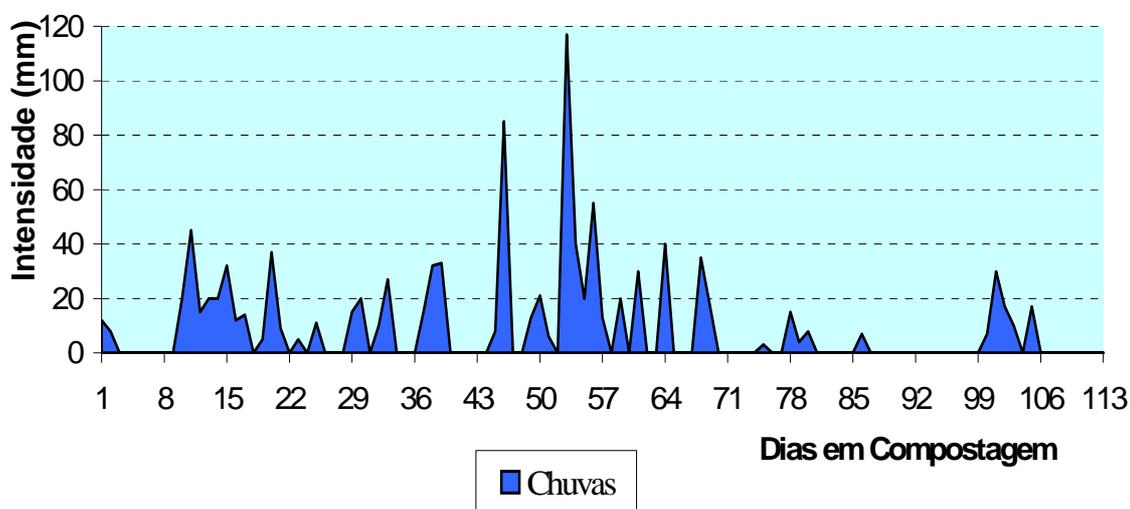
14^o ao 43^o dia da pesquisa => novembro de 2005;

44^o ao 74^o dia da pesquisa => dezembro de 2005;

75^o ao 105^o dia da pesquisa => janeiro de 2006;

106^o ao 113^o dia da pesquisa => 1^o a 8 de fevereiro de 2006

FIGURA 4: CHUVAS NO PERÍODO DA PESQUISA



Os dados relativos às precipitações pluviométricas foram obtidos na Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ e na Fazenda São Pedro, de propriedade do produtor rural Sr. Aluísio Machado Jr., além das observações locais dos funcionários responsáveis pelas operações no pátio de compostagem da UTIL.

CAPÍTULO 6 – Resultados e Discussão

6.1 – Resultados do próprio processo de compostagem

Todas as leiras registraram temperaturas termofílicas a partir do segundo dia, indicando, como citado por Pereira Neto (1989), a existência de condições satisfatórias de equilíbrio em seus ecossistemas, ou como comentado por Kiehl (2004), o aumento da temperatura indicou o início da decomposição e “a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida”.

Mesmo as leiras nº 15 e nº 26, com orientação de nunca receberem água, registraram temperaturas termófilas já nas primeiras 24 horas. A elevação do calor no substrato é devido à umidade natural presente na massa orgânica.

Devido aos dias sem expediente na UTIL, mesmo as leiras com procedimento padrão, registraram temperaturas acima de 65°C, porém tais temperaturas por curto período não acarretaram prejuízos ao processo.

Com exceção à Leira nº 15, que nunca foi revirada, as fortes e freqüentes chuvas que ocorreram, principalmente, no mês de dezembro, tiveram fundamental influência no processo de compostagem, pois ao manter a umidade muito acima do limite recomendado provocou a desaceleração das atividades microbianas, acarretando um expressivo atraso no processo. Acredita-se que, em alguns poucos dias do mês de janeiro de 2006, possa ter havido a paralisação do processo, devido às baixíssimas temperaturas verificadas na matéria orgânica em compostagem, ainda em função das fortes chuvas.

A UTIL de Miracema não tritura os resíduos orgânicos provenientes da mesa de catação, desta forma a granulometria do material em compostagem é grosseira, ou seja, possui menos superfície a ser atacada e digerida pelos microrganismos, mas em contrapartida, quanto mais grosseira a granulometria, mais intensas serão as trocas de ar saturado de gás carbônico dos vazios, pelo ar atmosférico (KIEHL, 2004).

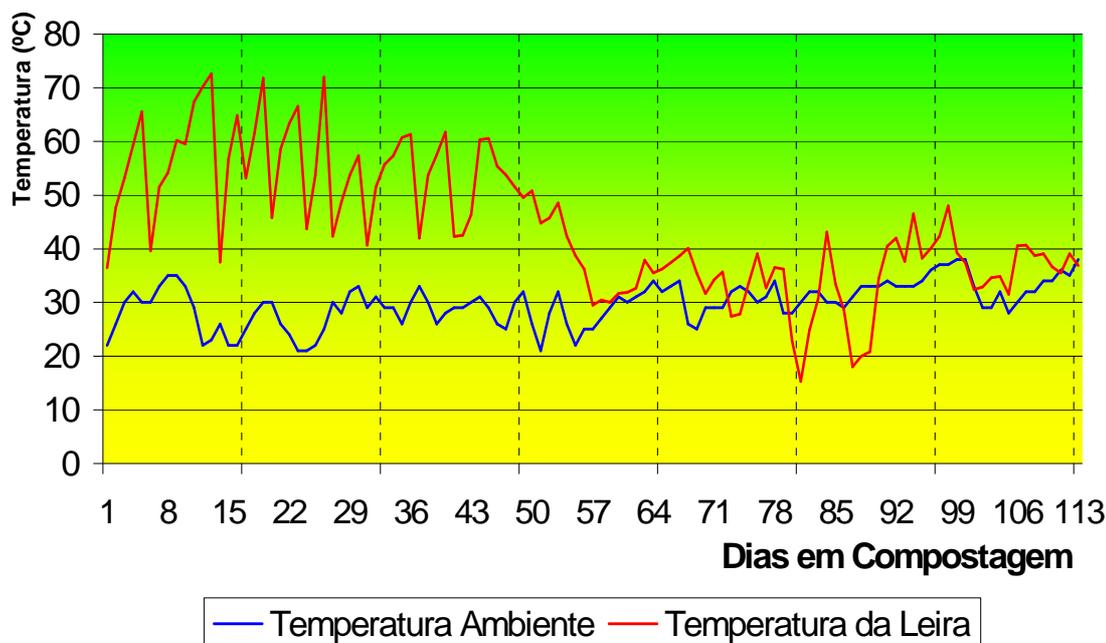
No presente estudo, utilizou-se oficialmente, as temperaturas máximas diárias registradas pela Federação dos Agricultores do Estado de Rio de Janeiro – FAERJ, as quais, durante o período da pesquisa, variaram de 21°C a 38°C, porém no pátio de compostagem, através de um termômetro caseiro, marca Incoterm, verificou-se

temperaturas acima dos 40°C, à sombra, no fim do mês de janeiro e alguns dias de fevereiro.

A seguir é apresentado o desenvolvimento das temperaturas em todos os experimentos. Nos gráficos apresentados, foi colocada a curva de variação da temperatura ambiente para comparação com a temperatura das leiras, principalmente na fase final do processo ou fase de humificação, quando, de acordo com a literatura especializada, as temperaturas da massa orgânica em compostagem decaem para valores menores que 40°C ou 3 a 5°C acima da temperatura ambiente.

A figura 5 mostra as temperaturas registradas durante os 113 dias do processo de compostagem da Leira nº 66.

FIGURA 5: GRÁFICO DE TEMPERATURA DA LEIRA Nº66



A Leira nº 66 tinha como característica a manutenção da umidade elevada durante todo o período da pesquisa, porém, o resultado da análise da amostra retirada aos 45 dias de decomposição, registrou uma umidade de apenas 53,05%, a qual está abaixo do limite máximo de 60% estabelecido por Kiehl (2004) para um melhor desempenho do processo de compostagem e muito próximo do valor de 55% considerado ótimo. Portanto, mesmo sendo a leira com o maior teor de umidade, não foi alcançado o objetivo de mantê-la encharcada, desde o início do processo, no intuito de provocar uma anaerobiose, para verificação do seu desempenho sob as condições mais adversas.

A leira, nestas condições, apresentou um desenvolvimento de temperaturas satisfatório até a ocorrência das chuvas mais intensas, a partir do quadragésimo sexto dia, quando a temperatura da leira entrou em declínio até alcançar a mais baixa entre as temperaturas de todos os seis experimentos (15,3°C).

Portanto, na fase termofílica a temperatura ambiente não influenciou nas temperaturas desenvolvidas na massa em compostagem, registrando temperaturas ideais para a decomposição e sanitização do composto.

No início do processo o pH médio de todos os experimentos foi registrado na análise com o valor de 5,87. Com o desenvolvimento do processo verificou-se o fenômeno da *auto-regulação* (PEREIRA NETO, 1989), pois, aos quarenta e cinco dias o pH da Leira nº 66 encontrava-se na faixa alcalina com o valor de 8,12. Ao final do processo o pH manteve-se alcalino, sendo apontado o valor de 8,29, comprovando que mesmo com altos teores de umidade, o pH não é um fator crítico no processo, tendendo a permanecer na faixa alcalina.

Dentre todos os experimentos, a Leira nº 66, foi a única a produzir pequenas quantidades de chorume em tempo seco, ou seja, mesmo nos 46 dias iniciais, antes da ocorrência das chuvas intensas, apresentou um relativo odor desagradável, o qual só era sentido do ao se aproximar muito da leira (menos de meio metro).



Foto 19: Vista da Leira nº 66

Devido a estes fatos, produção de chorume e mau cheiro, os funcionários não a mantiveram permanentemente encharcada, deixando, sem intenção, a umidade dentro da faixa ótima preconizada pela literatura especializada

Ressalta-se que o chorume só ocorria logo após a aguação e remontagem da leira. Apesar da produção de chorume e do mau cheiro na leira, não se constatou atração de vetores.

No período inicial, sem chuvas intensas, o reviramento da leira ocorreu normalmente, porém não foi seguida a instrução de só revira-la acima dos 68°C. Nas

três vezes em que a temperatura ultrapassou os 70°C foi devido ao fim de semana sem expediente. A leira foi revirada 12 vezes durante todo o processo, sendo que nove reviramentos foram realizados nos primeiros 40 dias, contrariando a recomendação do Professor Gabriel José de Carvalho, que indica somente três reviramentos durante todo o processo, mesmo para leiras com alturas entre 1,5 e 1,8 metros.

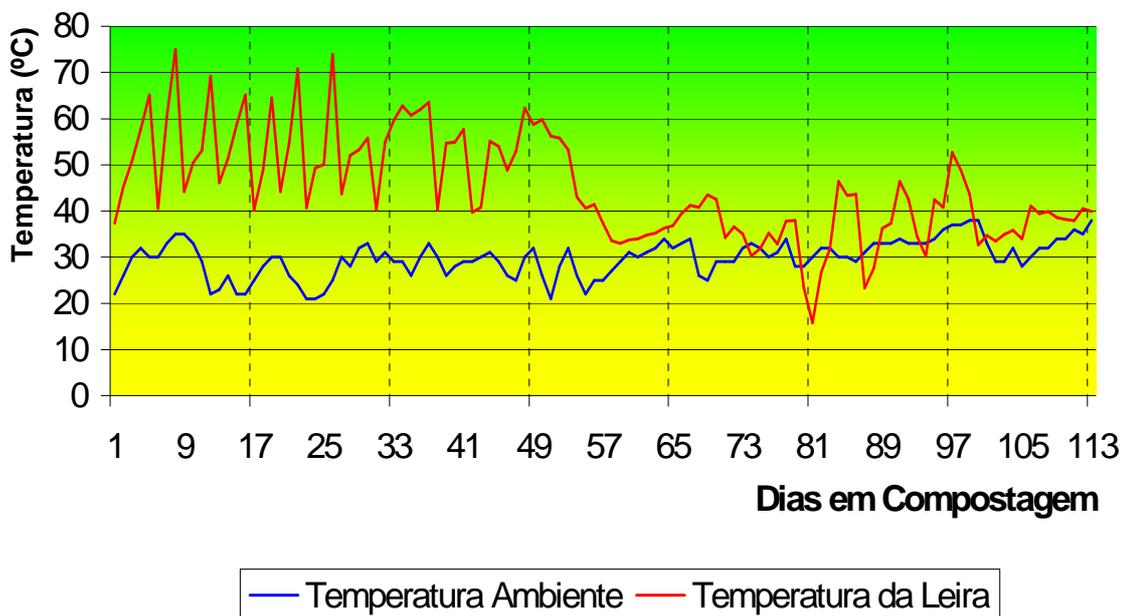
Em dezembro só houve um reviramento devido à baixa temperatura da massa em compostagem. Cabe ressaltar que a necessidade de aeração não decorre somente das altas temperaturas. Quando as temperaturas das leiras entraram em declínio devido às chuvas, seria extremamente necessário o seu reviramento, tanto para oxigenação da massa, liberando o gás carbônico retido, como, principalmente, para a eliminação do excesso de umidade. Entretanto, o reviramento de leiras sob chuva só agrava a situação, por conseguinte, no mês de dezembro só foi possível aerar a leira 66 uma única vez.

Já com cinco dias, em média, da montagem das leiras, coletou-se as amostras para análise. O resultado indicou uma relação C/N inicial da ordem de 20/1, ou seja, um pouco abaixo da faixa considerada ideal para início da compostagem. Porém, acredita-se que nos cinco dias decorridos para a realização da coleta, houve acentuada decomposição, onde, os microrganismos que sempre absorvem carbono e nitrogênio na proporção de 30/1, já tinham eliminado na atmosfera, na forma de dióxido de carbono, parte do carbono assimilado.

Ao fim do processo, a Leira nº 66, apresentou uma relação C/N de 17/1, indicando que o composto encontrava-se bioestabilizado, podendo ser empregado como fertilizante sem risco de causar danos às plantas. Entretanto, não se pode definir o composto produzido como um produto acabado, pois o composto humificado deve ter uma relação C/N em uma média de 10/1.

É apresentada, na figura 6, o desenvolvimento das temperaturas registradas diariamente na Leira nº 55.

FIGURA 6: Gráfico de temperatura da leira nº55



A Leira nº 55 foi montada no dia 19/10/05, e adotou-se o procedimento padrão para conduzir o processo de degradação da matéria orgânica, mantendo-se uma umidade adequada e realizando o reviramento sempre que a temperatura esteve próxima aos 65°C.

Portanto, o reviramento foi determinado pela temperatura, aerando-se a massa em compostagem quando alcançava o limite máximo adotado. Desta forma, nos primeiros vinte e cinco dias do processo a Leira nº 55 foi revirada, em média, a cada 3 dias e meio.

Este ciclo de reviramento foi suficiente para a oxigenação da leira, comprovado pelo desenvolvimento das temperaturas termofílicas até a ocorrência das chuvas intensas.

Na leira de compostagem a umidade deve variar entre um mínimo de 40% e um máximo de 60% (KIEHL, 2005). O resultado da análise laboratorial comprovou que a umidade da leira encontrava-se dentro da faixa ideal, apresentando o valor de 52,28% para a amostra retirada aos 45 dias do processo. Após o peneiramento, o resultado da análise em laboratório apontou uma umidade de 34,65%, ou seja, dentro da característica recomendada pelo Ministério da Agricultura.

Os valores da relação C/N considerados mais favoráveis para o início do processo situam-se na faixa entre 26/1 e 35/1 (KIEHL, 2004). Na pesquisa, encontrou-se no tempo zero (coleta da amostra com 6 dias) uma relação C/N de 20/1. Mesmo não sendo muito elevado o teor de Nitrogênio, o monitoramento das temperaturas e o reviramento das leiras, eliminaram o risco da criação de zonas anaeróbias, pois o nitrogênio em excesso faz com que o oxigênio seja gasto rapidamente (ESCOLAS VERDES, 2005).

Kiehl, (2005) explica que com uma relação C/N de 18/1 o composto já é considerado bioestabilizado e com a continuação da compostagem a relação deve terminar entre 8/1 e 12/1, estando a matéria orgânica já humificada. A compostagem da Leira nº 55 foi bem conduzida até o período das chuvas intensas, tanto que na análise laboratorial aos 45 dias, encontrou-se uma ótima relação C/N de 12/1, porém, ao final do processo registrou-se uma relação de 16/1, comprovando a bioestabilização do composto orgânico, mas seriam necessários mais alguns dias para a sua completa maturação.

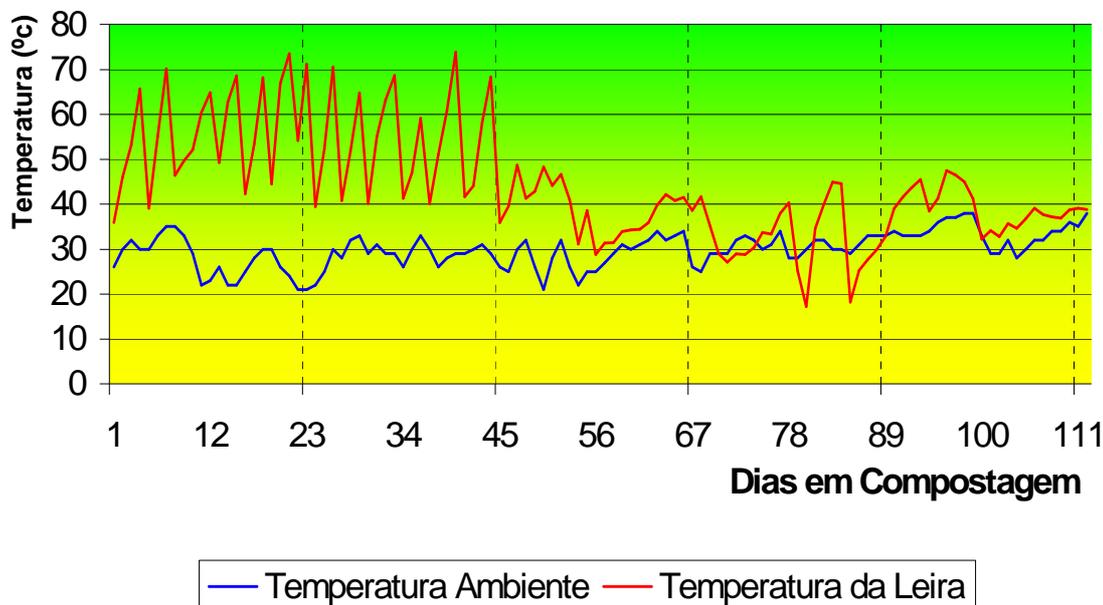
Partindo, como já visto, de um pH inicial de 5,87, o composto apresentou pH de 8,68 aos 45 dias e pH de 8,42 após o peneiramento, demonstrando que o composto, sob este aspecto, já estava curado, podendo ser empregado na agricultura.

A Leira nº 55 nos primeiros quarenta e cinco dias, não produziu chorume. Com a ocorrência das fortes chuvas certamente houve liberação de líquido percolado da massa em compostagem, porém impossível de ser notado, devido a alta taxa de diluição provocada pela grande intensidade das chuvas. Destaca-se que logo que o pátio secava, também não se verificava a produção de chorume.

Em todo o período do processo não houve emissão de odores desagradáveis e nem atração de vetores.

A figura 7, apresenta o desenvolvimento das temperaturas registradas diariamente na Leira nº 46. Em seqüência procede-se a análise do gráfico e dos resultados encontrados em laboratório.

FIGURA 7: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº46



Tendo sido montada em 20/10/2005 e sendo acompanhada com o que se convencionou chamar de “procedimento padrão”, tinha-se a expectativa da obtenção de um composto pronto, totalmente humificado, na primeira quinzena de janeiro ou no máximo até o dia 20/01/2006.

O desenvolvimento de temperaturas termofílicas já a partir do segundo dia, a oxigenação da massa a cada três dias, em média, no primeiro mês e a umidade dentro da faixa ideal, indicava uma decomposição acelerada.

Observando-se o gráfico acima, verifica-se que o reviramento da leira no quadragésimo quinto dia fez a temperatura decair de 68°C para aproximadamente 36°C devido a troca de calor com o ambiente durante o tempo que a leira permaneceu aberta e pela aspersão de água. Coincidentemente, a primeira chuva mais intensa (85mm) ocorreu no dia seguinte, mesmo assim a temperatura na leira se elevou para 48°C, demonstrando que os microrganismos, que possuem metabolismo exotérmico (KIEHL, 2004), ainda se encontravam em atividade.

Com a continuidade das chuvas e após a maior precipitação pluviométrica (117mm), ocorrida no 53º dia do processo de compostagem, as temperaturas da leira

foram decaindo, mesmo sem reviramento, para valores próximos à temperatura ambiente, o que poderia levar, aos menos experientes, a concluir que o processo havia entrado na fase mesófila. Com uma pequena paralisação das chuvas, o processo retomou as temperaturas termófilas, voltando a decair com novas ocorrências de chuva.

A temperatura da Leira nº 46 só decaiu para valores próximos aos do ambiente a partir do centésimo dia, permanecendo nesta faixa até o peneiramento do composto.

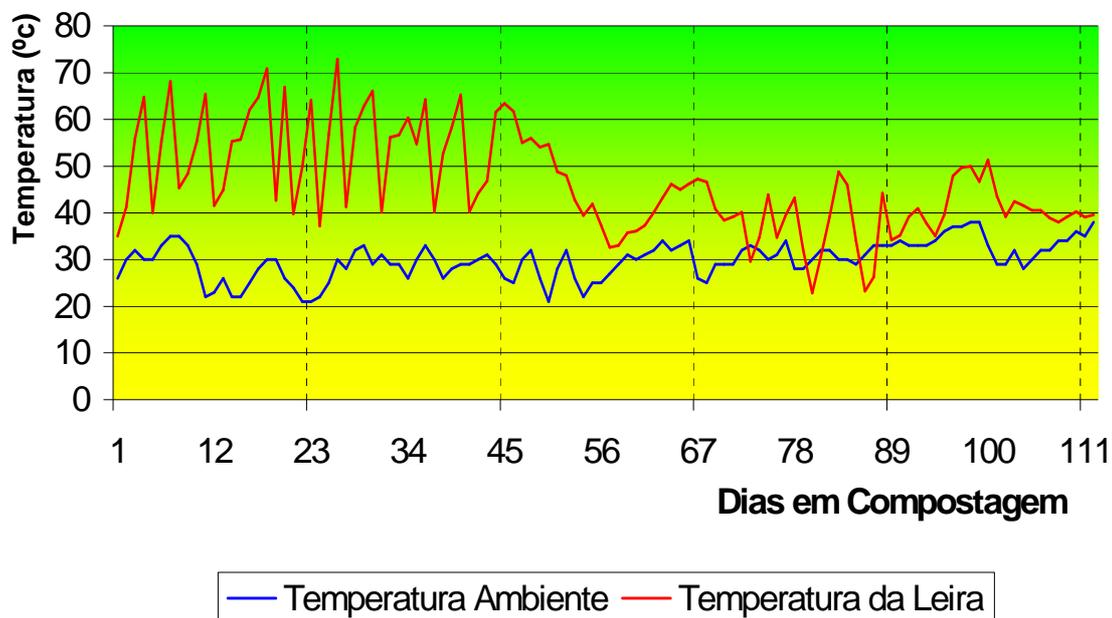
Nas três análises realizadas foram encontrados valores de umidade dentro da faixa recomendada. Ressalta-se que não houve retirada de amostras no período chuvoso.

O composto final apresentou uma relação C/N de 14/1, muito próxima ao limite superior da faixa onde a matéria orgânica é considerada totalmente humificada e dentro da característica recomendada pelo MAPA, através da Lei nº 6.894, onde o valor máximo permitido é de 18/1, com tolerância até 21/1. Pelo pH, o composto também poderia ser aplicado na agricultura, pois foi apontado na análise o valor final de 8,32.

Não houve atração de vetores ou exalação de odores desagradáveis durante o período de acompanhamento do processo. Tal qual as demais leiras, acredita-se que nos dias de chuvas intensas houve liberação de chorume altamente diluído.

A figura 8 mostra as temperaturas registradas durante os 112 dias do processo de compostagem da Leira nº 35.

FIGURA 8: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº35



Basicamente, o comportamento da Leira nº 35 foi idêntico ao da Leira nº 46, apresentando temperaturas termofílicas logo no início do processo de decomposição da matéria orgânica e permanecendo nesta faixa de temperaturas até o início das chuvas.

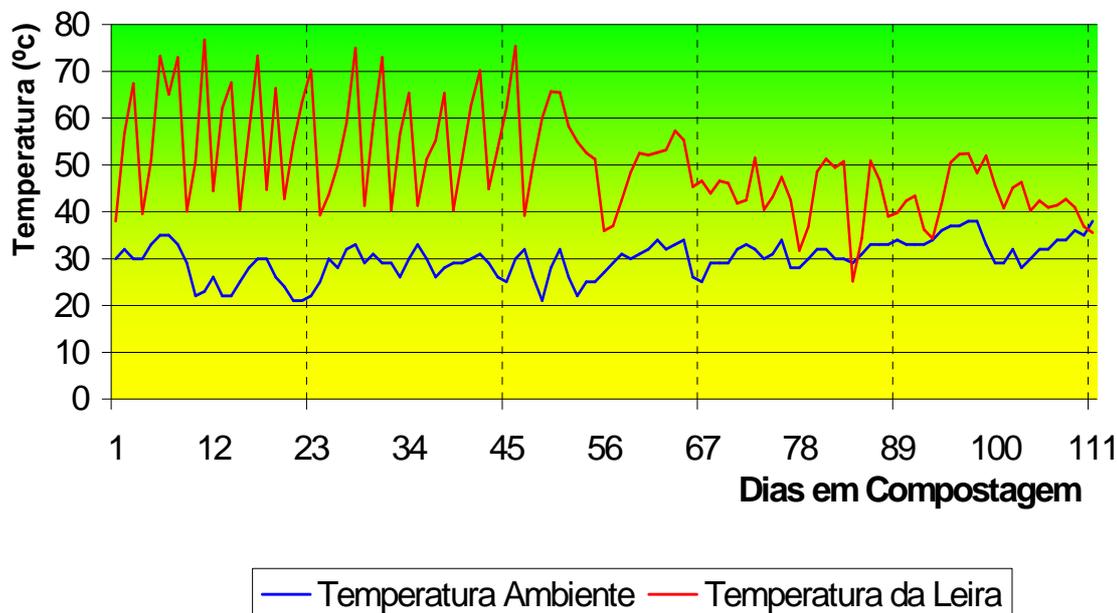
A Leira nº 35 demorou mais para entrar na fase final de humificação, entretanto, apresentou ao final do processo temperaturas de 3°C a 5°C acima da temperatura ambiente.

Foram realizados 13 reviramentos durante a fase de degradação da matéria orgânica e seriam necessários alguns reviramentos no período chuvoso, visando diminuir a umidade da massa em compostagem.

A relação C/N, apesar da colocação de galhos triturados na montagem da leira, atingiu o mesmo valor da Leira nº 46, ou seja, 14/1.

A figura 9 apresenta o desenvolvimento das temperaturas registradas diariamente na Leira nº 26. Em seqüência procede-se a análise do gráfico e dos resultados encontrados em laboratório.

FIGURA 9: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº26



A Leira nº 26 tinha como característica a manutenção de uma baixa umidade durante todo o período da pesquisa, o resultado da análise da amostra retirada aos 45 dias da montagem do experimento, registrou uma umidade de apenas 36,19%, estando abaixo da faixa considerada ideal para a decomposição da matéria orgânica.

Outra característica no trato com a Leira nº 26 era de revirá-la após a temperatura ultrapassar 68°C. Mesmo assim, foi a que mais vezes precisou ser aerada, 17 vezes em todo o período.

Com umidade abaixo de 40% a decomposição é lenta (KIEHL, 2004), conforme pode ser comprovado na análise do gráfico, onde, mesmo após as chuvas intensas, as temperaturas permaneceram acima dos 50°C, só decaindo abaixo deste valor com reviramento aos 57 dias de decomposição, para logo em seguida voltar aos valores anteriores (61 dias).

A umidade do produto final foi de 30,65%, porém, deveria ter sido bem menor se não fossem as chuvas. Como esperado, em função da baixa umidade, não houve produção de chorume, emanção de odores desagradáveis e nem atração de vetores.

A relação C/N desta leira foi a que apresentou o maior valor para o produto final, sendo apontado pela análise em laboratório uma relação de 19/1, indicando um produto impróprio para a aplicação no solo agrícola.

Tal relação apresentada está mais em função da baixa concentração de Nitrogênio, determinada pela análise com um valor de 0,70%, portanto, abaixo do valor mínimo de 1% determinado pelo MAPA para o composto obter registro.

Ao se observar o valor pH de 8,40, registrado pela análise ao final da pesquisa, poder-se-ia dizer que se obteve como produto final um composto humificado ou caminhando para a maturação. Porém, além da relação C/N não indicar tal fato, não houve registro de temperaturas próximas as do ambiente.

Excetuando-se uma temperatura de 25,2°C, creditada a erro de leitura, registrada aos 84 dias do processo, tempo normalmente suficiente para mudança da fase termofílica para mesofílica, a Leira nº 26 nunca registrou temperaturas abaixo da temperatura ambiente, mesmo quando revirada, comprovando o aumento do período de compostagem. Entretanto, com o leve e contínuo declínio das temperaturas nos dias subsequentes, pode-se afirmar que, apesar de lenta, não houve “paralisação” da decomposição da matéria orgânica

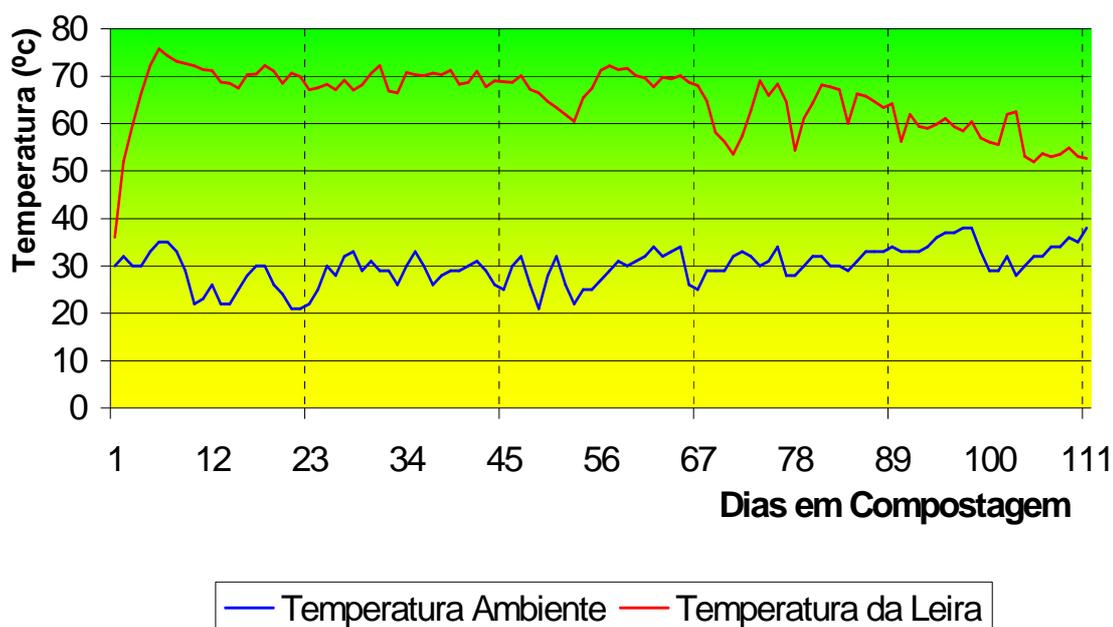


Foto 20: Leira nº 26, Leira nº 15 ao fundo



Foto 21: Leira nº 26

FIGURA 10: GRÁFICO DE TEMPERATURAS DA LEIRA Nº15



Não revirar e não aguar, estes foram os principais procedimentos adotados para a Leira nº 15, visando gerar uma baixa umidade e pouco oxigênio no interior da leira.

A umidade média das leiras no início do processo foi de 70,70%, aos 45 dias a Leira nº 15 apresentou uma umidade de 50,70%, demonstrando que apesar da alta temperatura da massa em compostagem, o calor produzido não foi suficiente para ressecar a matéria orgânica. Porém, a análise final do produto peneirado, indicou uma umidade de 29,02%, sendo a mais baixa registrada entre todos os experimentos.

Conforme pode ser observado no gráfico, a leira nestas condições, apresentou temperaturas elevadas durante todos os 111 dias em que se acompanhou o experimento. Demonstrando que a decomposição da matéria orgânica decorreu de forma muito lenta.

Se a umidade na leira não foi tão baixa quanto se esperava, somente a falta de oxigênio, devido ao não reviramento da leira, provocou a decomposição lenta da matéria orgânica.

Tal qual a umidade final, o pH final do material produzido após o peneiramento, registrou o índice mais baixo entre todos os experimentos, no valor de 7,70, o que, por si só, poderia induzir os menos experientes a acreditar que o composto estava, ao menos, bioestabilizado.

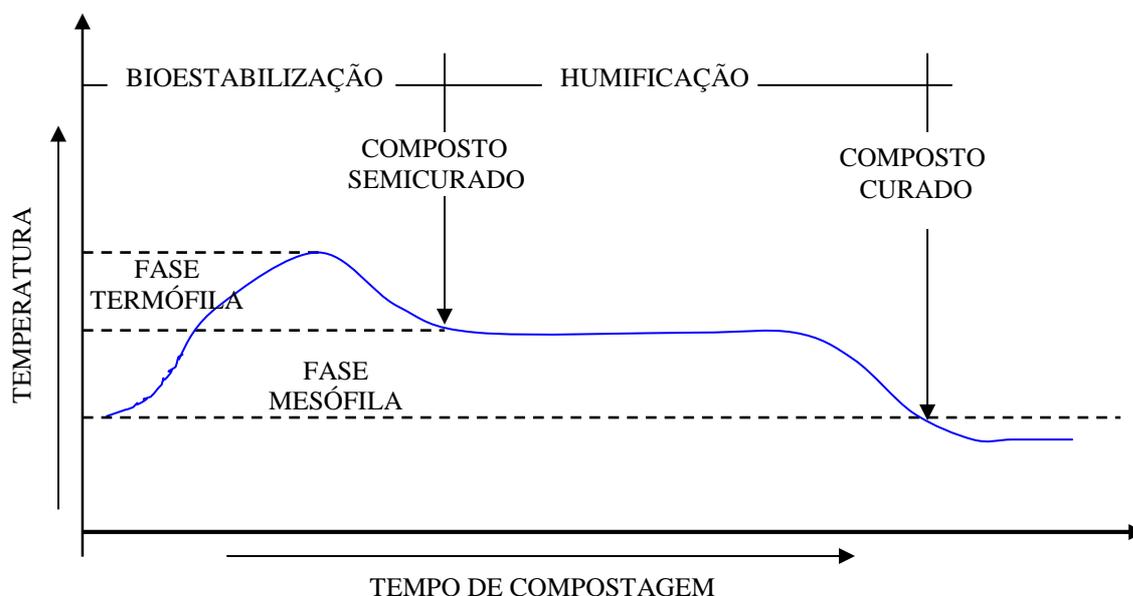
Pela elevada temperatura de 52,7°C registrada no dia do peneiramento, entende-se que ainda havia muita atividade microbiana no interior da leira.

Não houve atração de vetores ou exalação de odores desagradáveis durante o processo. Por não ter sido revirada em nenhum momento, naturalmente ocorreu uma grande compactação da massa em compostagem. Acredita-se que devido a esta grande compactação e ao formato piramidal da leira, mesmo no período chuvoso, não houve infiltração de água de chuva na leira, conseqüentemente, não houve geração de percolados.

6.1.1 – Variação padrão da temperatura

Montada a leira, a massa em decomposição se aquece entrando na fase mesófila. Se as condições apresentadas pela leira forem favoráveis, a temperatura vai se elevar com o passar dos dias e entrar na fase termófila, mantendo-se então constante por período variável. Prosseguindo a decomposição, se não faltar umidade nem oxigênio, a temperatura vai baixar e o composto vai entrar na fase mesófila novamente, como mostrado na Figura 11. Se as condições favoráveis durante a compostagem forem atendidas, pode-se estabelecer uma relação entre as temperaturas observadas, o tempo de compostagem e o grau de decomposição (Kiehl, 2004).

FIGURA 11: CURVA PADRÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



Portanto, a temperatura é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico, o que reflete a eficiência do processo.

6.1.2 – Resultados após o peneiramento

Decorridos, em média, 111 dias da montagem dos seis experimentos efetuou-se o peneiramento de todos em 8 de fevereiro de 2006. O material de cada leira foi transportado pela retroescavadeira para o setor de peneiramento, onde foi colocado manualmente em uma peneira rotativa. As leiras foram peneiradas separadamente, anotando-se os pesos do composto produzido e do rejeito. O quadro 16, apresenta a composição de cada leira estudada na pesquisa.

QUADRO 16: COMPOSIÇÃO DAS LEIRAS

LEIRA (nº)	Matéria Orgânica Inicial (Kg)	Composto Orgânico (Kg)	Rejeito do Composto (Kg)	Redução Final (Kg)
66	2.736	752	326	1.658
55	2.756	1.482	480	794
46	2.743	1.054	299	1.390
35	2.716	1.158	382	1.176
26	2.741	1.134	334	1.273
15	2.740	1.041	962	737

A quantidade de composto produzido pela Leira nº 66 foi muito reduzida, ficando aquém da quantidade normalmente produzida por uma leira bem conduzida, que gera de 1/3 a 1/2 de composto em relação à matéria orgânica inicial. A maior umidade foi o diferencial desta leira, portanto, credita-se a este fato a baixa produção de composto.

A Leira nº 55 produziu 1.482 Kg de composto, aproximadamente 54% em relação ao peso inicial da matéria orgânica que formou a leira. Pela análise laboratorial, foi registrado o maior percentual de umidade entre todos os produtos, o que, certamente, ajudou a elevar o peso do produto acabado.

Devido aos procedimentos adotados para o acompanhamento, as Leiras de nºs 46 e 35, apresentaram resultados muito parecidos em relação ao composto peneirado e ao rejeito do peneiramento

A leira nº 15 além de registrar o maior percentual de rejeito, apresentou um produto com muita matéria orgânica ainda a degradar, onde era possível identificar

pedaços de folhas e pequenos gravetos que passaram pela malha da peneira, com diâmetro de 10mm.

6.2 – Resultados de Metais Pesados

Durante o desenvolvimento da pesquisa, o município de Miracema iniciou uma coleta seletiva em toda a área onde há coleta regular de lixo, pretendendo principalmente minimizar o trabalho de segregação dos materiais na Unidade de Tratamento Intensivo de Lixo, além de obter um material inorgânico mais limpo, com uma melhor qualidade para a comercialização.

Esta iniciativa também trará um outro grande benefício: a produção de um composto orgânico com teores de metais pesados ainda mais reduzidos, ao não permitir que o material inorgânico entre em contato com o orgânico.

As análises das amostras, retiradas em três fases de todos os experimentos, demonstrou que independentemente dos procedimentos adotados, a presença de metais pesados no composto está relacionada à contaminação pelos produtos industrializados presentes nos resíduos sólidos.

Apesar da inexistência no Brasil de legislação específica que regulamente a presença de metais pesados no composto orgânico proveniente dos resíduos sólidos urbanos, os teores encontrados no composto gerado nos experimentos desta pesquisa ficaram muito abaixo dos limites máximos estabelecidos pela EMBRAPA no Estado de São Paulo.

A fim de oferecer ao leitor, uma clara visualização dos teores de metais pesados presentes no composto da UTIL de Miracema em comparação aos limites adotados por alguns países, é apresentado o quadro 17, onde incluiu-se no quadro 9 do item 3.4, a média dos metais pesados presentes em todos os seis experimentos da pesquisa e os valores estabelecidos pela EMBRAPA em São Paulo.

QUADRO 17: COMPARATIVO ENTRE METAIS PESADOS (mg/Kg)

Cidade / País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Miracema	25,7	84,3	248,4	32,9	12,8	(1)	(2)
Alemanha	150	100	400	100	50	15	1
Estados Unidos	500	500	1000	1000	100	10	5
França	800	-	-	-	200	8	8
Áustria	900	1000	1500	300	200	6	4
Itália	500	600	2500	500	200	10	10
Suíça	150	150	500	-	-	3	3
Holanda	20	300	900	50	50	2	2
Norma EMBRAPA	500	500	1500	300	100	5	2

Notas: ⁽¹⁾ Não detectado

⁽²⁾ Não determinado

A média de todos os teores de metais pesados presentes no composto orgânico produzido pelas leiras da pesquisa, encontra-se abaixo dos valores permissíveis nos países relacionados, com exceção apenas do teor de chumbo nos fertilizantes na Holanda, que por ser um país com pequena área territorial e luta constantemente com o mar para não ter suas terras invadidas, possui uma das mais rígidas legislações para o uso do solo.

6.3 – Eliminação de microrganismos patogênicos

A compostagem é realizada através de uma população mista de microorganismos, que degradam a matéria orgânica (REIS, 1996). No ambiente ocorre a degradação natural da matéria orgânica, porém a temperatura permanece na faixa mesofílica. Logo que se forma a leira, a continuidade do processo degradativo causa a liberação de energia sob a forma de calor, que permanece parcialmente retido na leira devido às características térmicas da matéria orgânica. Em consequência, há um aumento da temperatura, que ao atingir a faixa termofílica ($>40^{\circ}\text{C}$), toda a atividade microbiana mesofílica é substituída pela termofílica.

É possível encontrar uma grande variedade de microorganismos aeróbicos, mesofílicos e termofílicos num sistema de compostagem, consoante à fase do processo. Estes microorganismos incluem bactérias, actinomicetos, leveduras, bolores e outros fungos. Mantendo-se as condições aeróbicas, a temperatura é o fator determinante da população microbiana durante a compostagem (ESCOLAS VERDES, 2005)

Golueke (1977) relata que quando a temperatura da leira atinge valores na faixa de 50° a 60°C , as bactérias, fungos e actinomicetos termófilos iniciam o ataque aos polisacarídeos. Segundo Pereira Neto (1989) apud Nóbrega (1991), neste estágio ocorrerá a maior eliminação de microorganismos patogênicos. Acima de 60°C , a população de fungos é bastante reduzida e as reações são realizadas pelos actinomicetos e pelas bactérias formadoras de esporos (SKITT, 1972).

Ainda segundo Skitt (1972) e Pereira Neto (1989), quando as fontes de carbono se esgotam, a temperatura da pilha de compostagem começa a cair e, os microorganismos, principalmente fungos e actinomicetos, situados nas zonas periféricas da leira, reinvadem o centro de massa, recomeçando o ataque aos compostos mais resistentes. Nesta fase de resfriamento, os organismos mesófilos tornam-se predominantes e a temperatura continua a decrescer até, praticamente, igualar-se à temperatura ambiente.

Decorridos, em média, cinco dias da montagem das leiras, retirou-se pequenas amostras dos seis experimentos totalizando aproximadamente 1 Kg, para ser analisado pelo Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa.

O resultado obtido na análise laboratorial indicou que aos cinco dias do processo, já com temperaturas na fase termofílica em todos os experimentos, a amostra

composta das seis leiras apresentava um valor de $1,6 \times 10^6$ UFC/g (Unidades Formadoras de Colônias/grama) de *Streptococcus* e $1,1 \times 10^3$ NMP/g (Número Mais Provável/grama) de Coliformes Fecais.

Até o dia da coleta da amostra todas as leiras já tinham sofrido reviramento (exceto a Leira nº 15) e atingido temperaturas superiores a 64°C , sendo possível já ter ocorrido alguma inativação de patógenos.

Com 45 dias do processo de decomposição, retirou-se uma amostra de cada leira separadamente, enviando-as à mesma Universidade para análise.

Os resultados da segunda análise para *Streptococcus* demonstraram que todas as leiras com procedimento padrão tiveram uma excelente sanitização, apresentando valores $< 10^2$, ou seja, 99,99% de remoção de *Streptococcus*.

Já as leiras com baixa umidade (nº 26) e sem reviramento (nº 15), apresentaram valores muito elevados para *Streptococcus*, $1,8 \times 10^4$ e $1,1 \times 10^4$ respectivamente. A Leira nº 66, com umidade mais elevada apresentou o valor de $1,5 \times 10^2$, indicando riscos no manuseio dos compostos produzidos.

Os resultados para Coliformes Fecais foram semelhantes, indicando que as leiras com procedimento padrão sofreram uma ótima higienização, exceção à Leira nº 55, que aos 45 dias apresentou um valor ainda elevado, de $2,4 \times 10^2$, porém cabe ressaltar que o período normal para a eliminação de patogênicos seria o mesmo de toda a fase termofílica.

Desprezou-se a análise final do composto, pois erradamente enviou-se amostra composta com porções de cada leira. Entretanto, deve-se notar que, apesar de não ter sido analisado nas duas primeiras amostras, não permitindo comparações, nesta última análise foi registrada a ausência de *Salmonella*.

6.4 – Qualidade do composto

O tempo de compostagem pode variar em função do processo utilizado, dos ingredientes e do cuidado (ESCOLAS VERDES,2005), mas, o mais importante, é a finalidade que se pretende dar ao composto. Se for para adubação em fundo de cova com mudas de plantas arbóreas, pode ser compostado por cerca de trinta dias, com vários revolvimentos. A muda posta na cova levará algum tempo para suas raízes “acordarem” e crescerem, atingindo o adubo que, a esta altura já estará com muitos dias de cura, não danoso para as raízes, pois o solo é considerado um bom meio para decomposição da matéria orgânica. Em culturas de cereais, por exemplo, após 45 dias de compostagem em leiras bem conduzidas e reviradas, o composto semicurado pode ser usado. Por fim, para as culturas em geral, para se utilizar um produto de qualidade segura, curado e humificado é necessário compostar pelo menos por 90 a 120 dias. (Kiehl, 2005).

Dentre os vários testes simples e rápidos para o acompanhamento da maturação do composto orgânico, relacionados no item 2.5.1, na presente pesquisa foi realizado o teste do índice pH, conforme descrito:

O acompanhamento da maturação do composto pode ser feito no campo através da medição do índice pH, empregando-se soluções indicadoras ou aparelhos portáteis. O indicador azul de bromotimol (dibromotimol sulfoftaleína) presta-se muito bem para este teste rápido de campo.

Realiza-se o teste colocando-se em um copo uma medida de composto e três medidas de água, agita-se durante cinco minutos e filtra-se. Recolhe-se três gotas do filtrado para um prato branco e adiciona-se uma gota do indicador. O líquido resultante tomará uma das seguintes colorações:

1. amarela, indicando meio ácido, com pH inferior a 6,0 – composto cru ou em fase inicial de decomposição, apresentando fitotoxicidade;
2. verde, a reação é neutra ou levemente alcalina, com pH entre 6,0 e 7,6 e o composto deve estar semicurado;
3. azul, reação alcalina, com pH superior a 7,6 indicando que o composto desenvolve-se para a maturação ou já está humificado.

Realizou-se o teste, no dia 03/12/2005, colocando-se em um vidro com tampa uma medida de aproximadamente 50 gramas de composto e três medidas de água (foto 22).

A amostra de composto foi retirada da leira nº 46, que se encontrava, na data do teste, com quarenta e cinco dias em decomposição.

Agitou-se a mistura durante cinco minutos, obtendo-se um líquido homogêneo (foto 23).



Foto 22: Três partes de água e uma de composto



Foto 23: Líquido após agitação

Para a filtração do líquido, cortou-se ao meio uma garrafa plástica, lavou-se em água corrente e foi colocado no gargalo um chumaço de algodão (foto 24).



Foto 24: Filtragem do líquido

Em um prato, foram colocadas três gotas do líquido filtrado e uma gota do indicador Azul de bromotimol (foto 25). Após mistura das quatro gotas foi obtido um líquido de coloração verde escuro, tendendo ao azul (foto 26), indicando, desta forma, que o composto já estava evoluindo para a humificação



Foto 25: Gotas do líquido e do Indicador



Foto 26: Homogeneizando as gotas

Portanto, pelo resultado do teste, em relação à cura do composto analisado, o mesmo já se encontra em condições de ser aplicado na agricultura

Uma outra forma muito simples e barata, porém não tão rápida, para a verificação da maturidade do composto, é o teste da germinação de sementes. No caso, foram verificados o comportamento com sementes de tomate e de feijão, conforme descrito a seguir:

TESTE DO TOMATEIRO

No presente estudo foram adquiridos 6 pequenos vasos de plástico e 3 pequenos envelopes de sementes de tomates, ambos os produtos facilmente encontrados no comércio. Nos vasilhinhos foram colocados terra e composto com 50 dias de decomposição, na seguinte proporção:

- Vaso 1 → somente terra, sem composto (vaso testemunha);
- Vaso 2 → 20% de terra + 80% de composto
- Vaso 3 → 40% de terra + 60% de composto
- Vaso 4 → 60% de terra + 40% de composto
- Vaso 5 → 80% de terra + 20% de composto
- Vaso 6 → 90% de terra + 10% de composto



Foto nº 27: Teste do tomateiro

Porções iguais de sementes foram distribuídas nos seis vasos, ou seja, metade de cada um dos três envelopes foi colocada em cada vaso. As sementes foram cobertas com um pouco de areia e os vasos irrigados. A germinação ocorreu primeiramente nos vasos 4, 5 e 6 praticamente em todas as sementes. Decorridos 15 dias do início do experimento as mudinhas mais desenvolvidas encontravam-se com alturas variando de 8 a 12 cm, onde é possível observar, na foto nº 27, que: no vaso 1, sem nenhum percentual de composto, só ocorreu a germinação de uma única semente e a plantinha encontrava-se pouco desenvolvida. Os vasos 4, 5 e 6 (40, 20 e 10% de composto, respectivamente), apresentavam as mudas mais desenvolvidas

Pelo exposto, pode-se concluir que a terra utilizada não era de boa qualidade, porém, cabe ressaltar que a mesma foi utilizada em todos os vasos; o vaso 2, com a maior proporção de adubo, não apresentou as plantinhas mais vigorosas, indicando que o fertilizante ainda não estava totalmente curado, porém, em menores proporções de composto (até 40%), demonstrou excelente resultado.

TESTE DO FEIJÃO

Utilizou-se para esta experiência a mesma metodologia e as mesmas proporções de terra e composto do teste do tomateiro. Sendo que o adubo utilizado estava com 58 dias em processo de compostagem e a terra foi extraída de outro local.

Foram colocadas 6 sementes de feijão em cada um dos seis vasos. A germinação ocorreu praticamente por igual no terceiro dia, sendo que, somente no vaso 2, com 80% de composto e 20% de terra todas as seis sementes germinaram; nos outros cinco vasos a germinação foi de 80% das sementes.

Decorridos oito dias da sementeira, as plantas mais vigorosas, com mais de quinze centímetros de altura, eram as dos vasos 3 4 e 5, com 60, 40 e 20% de composto, respectivamente.

A germinação total das sementes do vaso com 80% de composto, indica que o adubo utilizado já estava semicurado ou curado e não apresentava poluentes tóxicos, porém, conforme observa-se na foto nº 28, para o desenvolvimento das plantas, acredita-se que a melhor proporção de terra e de fertilizante seja a do vaso 4, com 40% de composto e 60% de terra.



Foto nº 28: Teste com sementes de feijão

6.4.1 – Estudo comprobatório da qualidade do composto produzido pela UTIL de Miracema.

A Prefeitura Municipal de Miracema, solicitou à Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro – EMATER-RIO, um estudo de viabilidade de produção de adubo orgânico através do aproveitamento do composto produzido na UTIL utilizando-se a vermicompostagem. O supervisor local da EMATER-RIO, Eng^o Agrônomo Aluisio Puglia de Azevedo, na 1^a Fase de sua pesquisa, montou uma Unidade de Observação ao lado do pátio de compostagem, testando o resultado do trabalho de minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia foetida*) no esterco bovino puro e no composto puro com 60, 75 e 90 dias de decomposição e em misturas com 25, 50 e 75% de esterco bovino, além de mistura com fosfato natural e gesso, totalizando 16 tratamentos, instalados em manilhas de concreto com 1,0 m de diâmetro e 0,5 m de altura.

Todas as misturas de composto com esterco sofreram elevação da temperatura, porém após 45 dias de decomposição apresentaram temperaturas próximas aos 26°C. Neste momento foram retiradas amostras de cada manilha e enviadas para análise química do material sendo, então, introduzido 1 litro de minhocas em cada tratamento. Decorridos 60 dias da vermicompostagem, as minhocas foram retiradas e novamente foram encaminhadas amostras para análise.

Na conclusão de seu estudo, o Eng^o Agrônomo Aluisio Puglia recomenda:

1. a não utilização do esterco bovino, puro ou em misturas, por não apresentarem resultados convincentes;
2. a não adição de fosfato natural e gesso, pois quando testados não demonstraram superioridade ao testemunho, além de onerar o processo;
3. após observação de que o composto com 60 dias de decomposição e algumas de suas misturas, apresentou bons resultados, sugere-se uma segunda fase de experiências; e
4. embora a vermicompostagem não tenha demonstrado melhoria na qualidade da maioria dos tratamentos testados, sugere-se a repetição da análise química de laboratório, antes e após a vermicompostagem. Havendo confirmação, pode-se até contra-indicar a vermicompostagem no caso especial da UTIL.

2ª Fase: Estudo de viabilidade do uso do composto orgânico da UTIL, com apenas 60 dias de decomposição, com 45 dias de vermicompostagem e sem vermicompostagem.

O resultado da análise (solicitação nº1729 em anexo) confirmou as conclusões anteriores, ou seja, com exceção do Ferro (Fe), a vermicompostagem provocou a redução dos teores dos elementos químicos essenciais à nutrição das plantas.

Finalmente, para verificar o funcionamento da produção de mudas de eucalipto (variedade Grandis), instalou-se uma Unidade de Observação com 3 grades de 800 tubetes cada, onde a 1ª recebeu substrato comercial (utilizado normalmente no Horto Municipal para produção de mudas), a 2ª recebeu composto de 60 dias de decomposição mais 45 dias de vermicompostagem e a 3ª recebeu somente composto com 60 dias de decomposição normal.

O resultado prático pode ser verificado na foto 29, onde ao fundo (produção regular do Horto) e ao centro em primeiro plano, segundo Aloísio Puglia, observa-se mudas com cor arroxeadada, com baixo desenvolvimento, possivelmente devido à deficiência de nitrogênio e fósforo, produzidas com substrato comercial. À direita estão as mudas produzidas com composto mais vermicompostagem, sendo observado uma coloração normal das mudas de eucalipto, com desenvolvimento mediano um pouco melhor que as mudas produzidas com substrato comercial. À esquerda, observam-se as mudas de eucalipto de ótima qualidade, com boa coloração e desenvolvimento bem superior às outras mudas



Foto 29: Unidade de Observação

Em sua conclusão, o pesquisador da EMATER-RIO, comenta que “ficou evidente que a vermicompostagem não melhora a qualidade do composto nas condições em que foi conduzida a Unidade de Observação” e acredita ser possível a substituição do substrato comercial utilizado no Horto Municipal pelo composto produzido pela UTIL, para a produção de mudas em tubetes para diversas culturas e para o plantio comercial de olerícolas, frutícolas, além de mudas para reflorestamento em geral e a utilização em parques e jardins do município de Miracema.

CAPÍTULO 7 – Conclusões e Recomendações

Dados do IBGE (CENSO, 2000), revelam que 4.983 municípios brasileiros possuem população até 50 mil habitantes e a PNSB (2000) informa que 59% do total de municípios ainda descartam seus resíduos em lixões enquanto apenas 0,4% utilizam a compostagem para tratar seus resíduos orgânicos.

Demonstrou-se, neste estudo, que na composição gravimétrica dos resíduos sólidos brasileiros a matéria orgânica está sempre presente com um percentual acima de 50%, sendo a principal responsável pela contaminação do solo e das águas, através do chorume, quando descartada inadequadamente.

Inicialmente, deve-se ressaltar que, independente da forma de controle do processo de decomposição, a compostagem deve ser vista como uma solução concreta para o tratamento desse grande percentual de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos no Brasil, principalmente nos municípios de pequeno e médio porte.

Portanto, a implantação de Unidades de Tratamento, que utilizam o processo de compostagem, se apresenta como alternativa viável para a imensa maioria dos municípios no Brasil, desde que haja o planejamento do monitoramento do processo, visando, principalmente, a sustentabilidade dessa ação.

Como, geralmente, os municípios de pequeno e médio porte enfrentam problemas de ordem financeira, seus orçamentos são insuficientes para manter processos com alta tecnologia e, até mesmo, o seu acompanhamento. Portanto, nesta dissertação se propôs avaliar um monitoramento eficiente de baixo custo através da temperatura, parâmetro que no acompanhamento do processo mostrou ser essencial para se produzir um composto de qualidade.

As chuvas intensas e freqüentes que ocorreram, principalmente, no mês de dezembro de 2005, foram responsáveis pelo atraso na decomposição da matéria orgânica, não se caracterizando, entretanto, como uma limitação aos objetivos do estudo. O monitoramento das temperaturas neste período indicou a grande redução na velocidade de decomposição da matéria orgânica, e conseqüentemente, acarretou a dilatação do tempo em período praticamente igual ao de chuvas. Cabe, portanto ressaltar que qualquer que fosse a forma de monitoramento, certamente ocorreria o mesmo atraso.

O encharcamento das leiras pelas chuvas, poderia ter sido solucionado com reviramento, desde que fosse realizado com tempo seco. A prática demonstrou que a remontagem da leira com material encharcado torna o composto pastoso e embolotado.

Conforme o resultado da análise do teor de umidade do composto final das duas leiras que não eram irrigadas, a que tinha o procedimento de não ser revirada apresentou um maior percentual de umidade, apesar das elevadas temperaturas durante todo o processo, comprovando desta forma que o reviramento, como citado, torna a leira mais seca.

Pelo exposto acima, para manter uma umidade adequada a uma rápida decomposição da matéria orgânica, recomenda-se a aspersão de água sobre a massa em compostagem durante o reviramento, pois, ao se irrigar a leira fechada não se alcançará homogeneamente todas as zonas internas. A água traçará caminhos preferenciais utilizando os vazios entre as partículas de matéria orgânica. Esta recomendação não se aplica nos casos em que tenha chovido intensamente nos dias que antecederem à aeração.

Como forma de continuar os estudos recomenda-se a replicabilidade da pesquisa no período de estiagem, buscando-se comprovar que com o monitoramento adequado, através da verificação diária da temperatura na leira, a compostagem poderá ocorrer em prazos menores quando não houver a ocorrência de chuvas frequentes e intensas, produzindo um composto orgânico confiável, até mesmo em período inferior aos noventa dias preconizados pela literatura especializada.

Como não é possível deixar de produzir, coletar e conseqüentemente destinar adequadamente os resíduos sólidos em épocas de chuva, recomenda-se pesquisas que busquem minimizar os efeitos prejudiciais que as precipitações atmosféricas causam ao desenvolvimento da decomposição da matéria orgânica em compostagem.

Com a recente implantação da coleta seletiva no município de Miracema, recomenda-se estudos futuros, buscando-se comprovar a melhoria da qualidade do material inorgânico e a minimização da presença de metais pesados no composto produzido na Unidade de tratamento.

Por fim, a pesquisa demonstrou que o primeiro sintoma que se nota, indicando que a compostagem se iniciou, é a elevação da temperatura do substrato. O desenvolvimento da temperatura na leira de composto está relacionado com vários

fatores responsáveis pela geração de calor, tais como: microorganismos, umidade, granulometria da matéria-prima, e principalmente, aeração. Mas verificou-se que, até mesmo na literatura especializada, a oxigenação da massa em compostagem não obedece a nenhum critério técnico.

Portanto, a temperatura é uma consequência desses fatores e reflete tanto a eficiência quanto a ineficiência do processo, tornando possível se conhecer o grau de decomposição da matéria orgânica somente com a verificação diária. No estudo em questão, demonstrou-se que com as chuvas intensas ocorreram quedas de temperatura em todas as leiras, não significando, no entanto, que a matéria orgânica já estivesse bioestabilizada, pois ao término do período chuvoso ocorreram novamente as temperaturas termofílicas.

O composto estabilizado, além de ter temperatura próxima a do ambiente, apresenta-se quebradiço quando seco, moldável quando úmido, fácil de ser manuseado, estocado e transportado, não atrai moscas e não tem cheiro desagradável.

O composto orgânico pode ser usado como matéria prima no processamento de fertilizantes industriais, no controle de erosão, reflorestamento, parques e jardins das cidades. Porém, seu uso mais importante é na aplicação agrícola, como fertilizante e condicionador de solos.

Devido às características da grande maioria dos municípios de pequeno e médio porte no Brasil, o composto produzido nas Unidades de Tratamento de Resíduos Sólidos pode ser utilizado na agricultura local, atendendo ao princípio do desenvolvimento sustentável, através da reincorporação ao solo dos nutrientes contidos nos resíduos.

A pesquisa demonstrou que se pode estabelecer uma relação aproximada entre a temperatura do processo e o grau de decomposição. Por ser um parâmetro de fácil determinação e pelos resultados alcançados, o acompanhamento da compostagem apenas pela análise da temperatura vem confirmar sua praticidade e importância.

Bibliografia

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 2001. *Análise de Projeto para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - Curso Básico 2* – Rio de Janeiro: ABES; 2001.

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 2002. *Análise de Projeto para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - Curso Avançado* – Rio de Janeiro: ABES; 2002.

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 1998. *Destino Comum: Lixo* - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente BIO, 1998. – ano IX, nº 6, p. 20 – 28 – Rio de Janeiro: ABES; 1998.

ALVES FE, 2004. *Resíduos Sólidos Urbanos: Disposição inadequada ainda é o grande problema* – artigo publicado na Revista Saneamento Ambiental – ano XIV, nº 103, p. 14 - 21 – São Paulo; 2004.

ANDREOLI CV (organizador), 2001. *Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções* – Sanepar, Finep – Curitiba; 2001.

AZEVEDO J, SILVA FILHO EV, DAMASCENO RN, NASCIMENTO LCA, 2000. *Panorama das Usinas de Beneficiamento de Resíduos Sólidos Urbanos do Estado do Rio de Janeiro*. Niterói: UFF; 2000.

BIDONE, FRA (coordenador), 2001. *Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e valorização* – RiMa, Projeto PROSAB 2, Rio de Janeiro: ABES; 2001.

BRITO JCX, 2001. *Tipologia, composição e peculiaridades dos resíduos sólidos urbanos*. In: Mansur GL, Penido Monteiro JH, (organizadores). *Análise de projetos para gestão integrada de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES; 2001. p. 23 – 49.

CARVALHO GJ, sem data. *Compostagem de Resíduos Agrícolas*. Universidade Federal de Lavras.

CASTILHOS Jr. AB (organizador), 2002. *Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades – RiMa*, Projeto PROSAB2, Rio de Janeiro: ABES; 2002.

CASTILHOS Jr. AB (organizador), 2003. *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte - RiMa*, Projeto PROSAB3, Rio de Janeiro: ABES; 2003.

CHENNA SIM, 2001. *Coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos*. In: Mansur GL, Penido Monteiro JH, (organizadores). *Análise de projetos para gestão integrada de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES; 2001. p. 51 – 75.

COOPERBAND L, 2002. *The Art and Science of Composting*. Center for Integrated Agricultural Systems – University of Wisconsin, march 29, 2002.

COSTA MBB *Adubação Orgânica*; 1989

CREA-RJ (Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura – Rio de Janeiro), 2005. *Lixo Urbano: onde jogar*. CREA-RJ em Revista - nº 53/2005, p. 12 – 15 – Rio de Janeiro: CREA-RJ; 2005.

ESCOLAS VERDES. *Compostagem doméstica*. Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa. <http://www.escolasverdes.org> (acessado em 22/Dez/2005).

FEHR M, 2004. *Resíduos Sólidos Urbanos: Componentes chave, gestão e Geografia – Revista Saneamento Ambiental – ano XIV, nº 103, p. 22 – 26 – São Paulo; 2004.*

FERNANDES F. (coordenador), 1999. *Manual prático para a compostagem de biossólidos*. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES; 1999.

FONSECA, E, 1999. *Iniciação ao Estudo dos Resíduos Sólidos e da Limpeza Urbana – João Pessoa: Gráfica e Editora A União; 1999.*

FRITSCH PRC, 2001. *VII Curso de Agentes Municipais de Saneamento Módulo II – Resíduos Sólidos* – MS/FUNASA, DIESP/RJ – Rio de Janeiro; 2001.

FRITSCH PRC, 2004. *Compostagem: Reciclagem da fração orgânica do lixo – A experiência de Miracema*. II Seminário Internacional de Saúde Pública – II Mostra de experiências bem sucedidas. Goiânia/GO; 2004.

FRITSCH PRC, 2005. *Gestão integrada de Resíduos Sólidos, uma ação de Saúde Pública*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; Campo Grande/MS; 2005.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), 1999. *Manual de Saneamento*, Brasília: FUNASA, Ministério da Saúde; 1999.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), 1999. *Plano de Aplicação RJ-MIR-10*, Rio de Janeiro: FUNASA/Divisão de Engenharia de Saúde Pública – RJ, Ministério da Saúde; 1999.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), 2002. *Atuação do Setor Saúde em Saneamento*, Brasília: FUNASA, Ministério da Saúde; 2002.

GOLUEKE CG, 1977. *Biological Processing: Composting and Hydrolysis. Solid Waste Management*. New York: V.N. Reinholds Company; 1977.

HELLER L, 1997. *Saneamento e Saúde*. Brasília: OPAS/OMS; 1997.

HELLER L (organizador), 1997. *Saneamento e Saúde nos Países em desenvolvimento*. Rio de Janeiro: CC&P Editores Ltda.; 1997.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1999. *Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios – PNAD 1999*, Rio de Janeiro: IBGE; 2000.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Censo Demográfico 2000*, Rio de Janeiro: IBGE; 2001.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2000*, Rio de Janeiro: IBGE; 2002.

JUCÁ JFT 2003. *Prefácio*. In: *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte - RiMa, Projeto PROSAB3*, Rio de Janeiro: ABES; 2003.

KIEHL EJ, 2002. *Fertilizantes Organominerais*, Piracicaba: 4ª ed. do autor ; 2002.

KIEHL EJ, 2004. *Manual de compostagem – Maturação e qualidade do composto*, Piracicaba: 4ª ed. do autor ; 2004.

KIEHL EJ, 2005. *Adubação Orgânica – 500 perguntas e respostas*, Piracicaba: E. J. Kiehl; 2005.

KLIGERMAN DC, 2000. In: *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde. Uma visão Multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Editora FioCruz; 2000.

MANSUR GL, PENIDO MONTEIRO JH, 1991. *O que é preciso saber sobre Limpeza Urbana*. IBAM/SNS-MAS. Rio de Janeiro: IBAM/CPU; 1991

MARQUES M, HOGLAND W, 2002. *Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas*. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun, 2002

MONTEIRO TCN (coordenador), 2001. *Gestão integrada de Resíduos Sólidos municipais e Impacto Ambiental*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ; 2001.

NÓBREGA CC, 1991. *Estudo e Avaliação de um Método Híbrido de Aeração Forçada para Compostagem em Leiras* [Dissertação de Mestrado]. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba; 1991.

PENIDO MONTEIRO JH et al, ZVEIBIL VZ (coordenador), 2001. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro: IBAM; 2001.

PENIDO MONTEIRO JH, 2001. *Reciclagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos*. In: Mansur GL, Penido Monteiro JH, (organizadores). *Análise de projetos para gestão integrada de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES; 2001. p. 98 – 109.

PEREIRA NETO JT, 1988. *Monitoramento da Eliminação de Organismos Patogênicos durante a Compostagem do Lixo Urbano e Lodo de Esgoto pelo Sistema de Pilhas Estáticas Aeradas*. *Revista Engenharia Sanitária*, vol. 27, p. 148 – 152, Rio de Janeiro; 1988.

PEREIRA NETO JT, 1989. *Conceitos Modernos de Compostagem*. *Revista Engenharia Sanitária*, vol. 28(2), p. 104 - 109 Rio de Janeiro; 1989.

PEREIRA NETO JT, 1990. *A importância da Temperatura nos Sistemas de Compostagem*. IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 1990.

PEREIRA NETO JT, 2001. *A contaminação biológica na Compostagem*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2001.

PUGLIA A, 2004. *Estudo da Viabilidade do Uso do Composto Orgânico da UTIL, 1ª e 2ª fases*. Miracema: EMATER-RIO / PREFEITURA DE MIRACEMA. 2004.

REIS RNN, 1996. *“Compostagem” Tratamento dos Resíduos Sólidos Domésticos*. Reunião técnica da Fundação Nacional de Saúde – FNS. João Pessoa; 1996.

SISINNO CLS, OLIVEIRA RM (organizadoras), 2000. *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde. Uma visão Multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Editora FioCruz; 2000.

SEDU (Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano), 2001. *Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Brasília: SEDU; 2001.

SEPURB (Secretaria de Política Urbana), 2001. *Orientações básicas para organizar um serviço de limpeza pública em comunidades de pequeno porte*. Brasília: PNMA; 2001.

SILVA FC, BERTON RS, CHITOLINA JC, BALLESTERO SD, 2002. *Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo*. Circular Técnica 3, Campinas: MAPA/EMBRAPA; 2002.

SKITT J, 1972. *Composting*. In: *Disposal of Refuse and other waste*. p. 87 – 105, Londres; 1972.

ANEXOS

Anexo 1: Fichas de Controle de Leira.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ

UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO

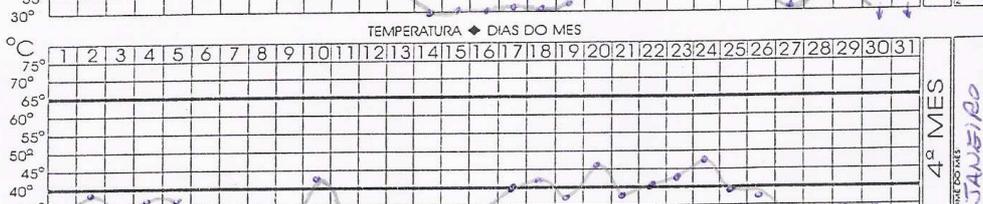
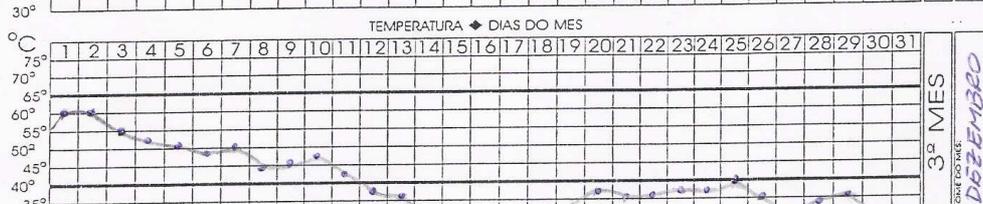
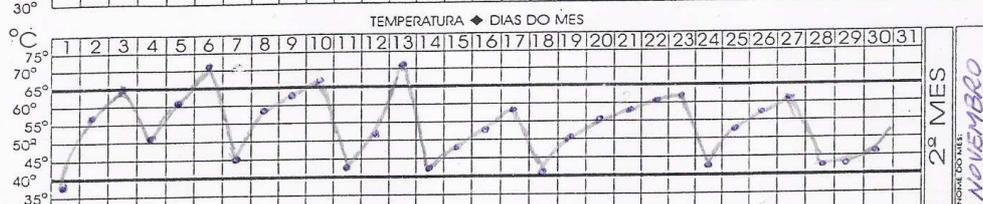
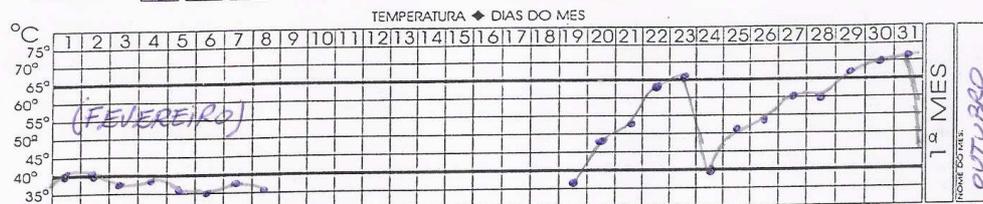
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA 19 MÊS 10 ANO 05

TÉRMINO: DIA 8 MÊS 02 ANO 06

LEIRA Nº: 66



AGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES					
1º MES																																			X	OUT	
2º MES			X				X				X						X							X				X							X	NOV	
3º MES																																				X	DEZ
4º MES																																				X	JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES						
1º MES																																				X	OUT	
2º MES			X				X				X						X							X				X								X	NOV	
3º MES																																					X	DEZ
4º MES			X														X																			X	JAN	

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	<u>2.736</u>	100
B - Composto Orgânico	<u>752</u>	<u>27,5</u>
C - Rejeito do Composto	<u>326</u>	<u>11,9</u>
D - Redução Final	<u>1.658</u>	<u>60,6</u>

D = A - B - C

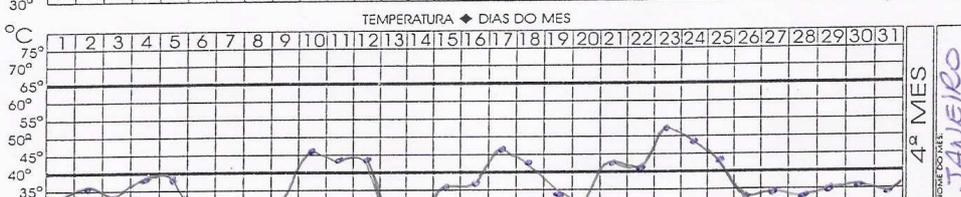
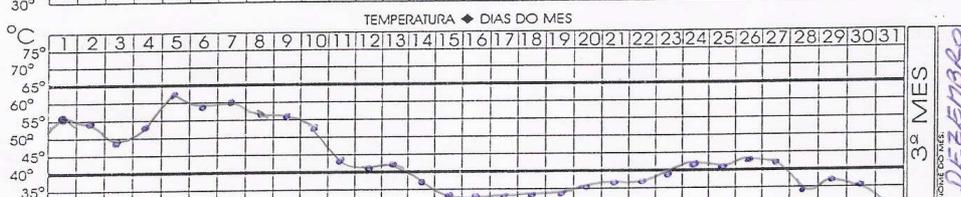
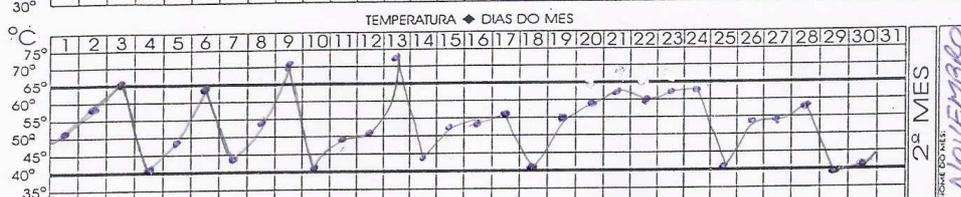
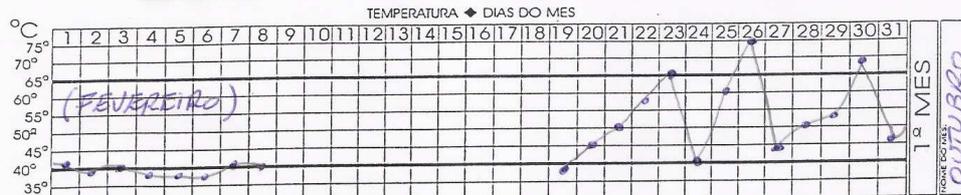
PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ
 UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA MÊS ANO
 19 10 05

TÉRMINO: DIA MÊS ANO
 08 02 06

LEIRA Nº: 55



ÁGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES	
1º MES																																	OUT
2º MES			X			X			X				X				X						X				X						NOV
3º MES																																	DEZ
4º MES																																	JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES	
1º MES																																	OUT
2º MES			X			X			X				X				X							X			X						NOV
3º MES															X																		DEZ
4º MES	X																	X															JAN

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	2.756	100
B - Composto Orgânico	1.482	53,8
C - Rejeito do Composto	480	17,4
D - Redução Final	794	28,8

D = A - B - C

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ

UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO

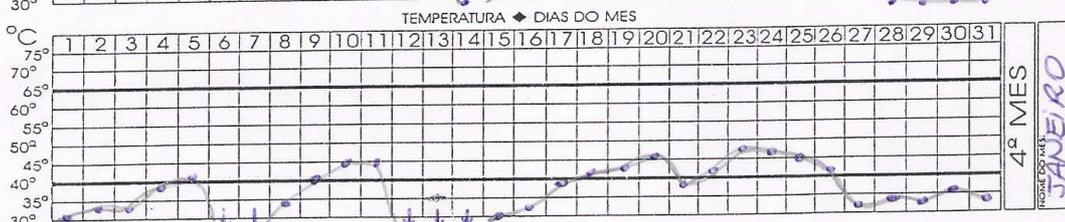
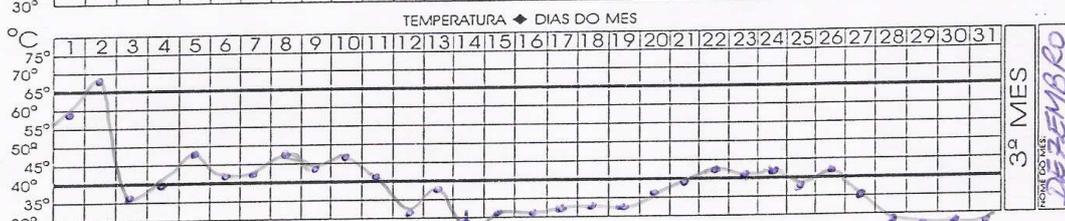
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA 30 MÊS 10 ANO 05

TÉRMINO: DIA 08 MÊS 02 ANO 06

LEIRA Nº: 46



AGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
1º MES																																		OUT
2º MES																																		NOV
3º MES																																		DEZ
4º MES																																		JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
1º MES																																		OUT
2º MES																																		NOV
3º MES																																		DEZ
4º MES																																		JAN

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	<u>2.743</u>	100
B - Composto Orgânico	<u>1.054</u>	<u>38,4</u>
C - Rejeito do Composto	<u>299</u>	<u>10,9</u>
D - Redução Final	<u>1.390</u>	<u>50,7</u>

D = A - B - C

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ

UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO

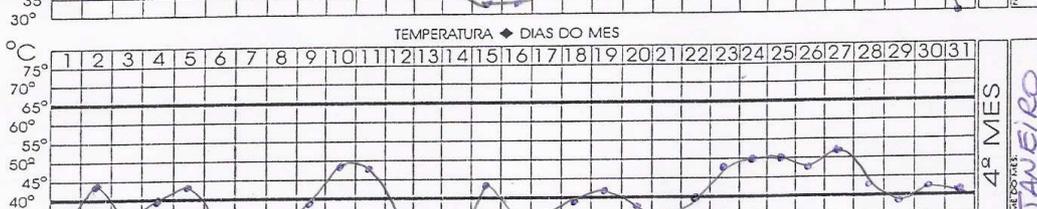
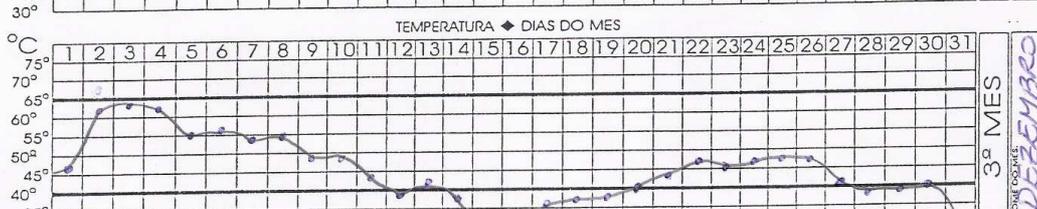
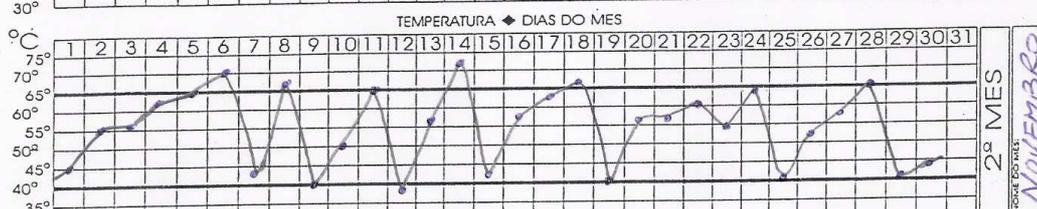
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA 20 MÊS 10 ANO 03

TÉRMINO: DIA 08 MÊS 02 ANO 06

LEIRA Nº: 35



AGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
1º MES																																		OUT
2º MES						X	X					X		X										X		X							NOV	
3º MES																																		DEZ
4º MES																																		JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
1º MES																																		OUT
2º MES							X	X						X											X								NOV	
3º MES																																		DEZ
4º MES	X																X																JAN	

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	2.716	100
B - Composto Orgânico	1.158	42,6
C - Rejeito do Composto	382	14,1
D - Redução Final	1.176	43,3

D = A - B - C

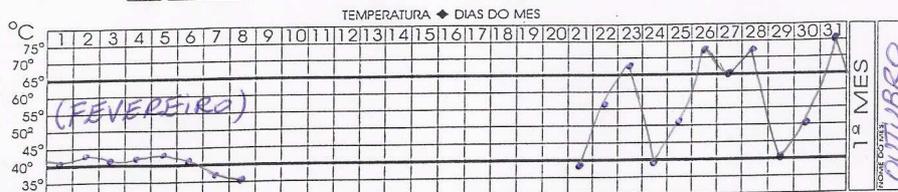
PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ
 UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA MÊS ANO
 21 10 05

TÉRMINO: DIA MÊS ANO
 08 02 06

LEIRA Nº: 26



AGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES	
1º MES																																	OUT
2º MES																																	NOV
3º MES																																	DEZ
4º MES																																	JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES	
1º MES																																	OUT
2º MES				X			X		X			X						X		X			X		X		X					NOV	
3º MES	X																															DEZ	
4º MES																X																JAN	

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	2.741	100
B - Composto Orgânico	1.134	41,4
C - Rejeito do Composto	334	12,2
D - Redução Final	1.273	46,4

D = A - B - C

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA / RJ
UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO DE LIXO

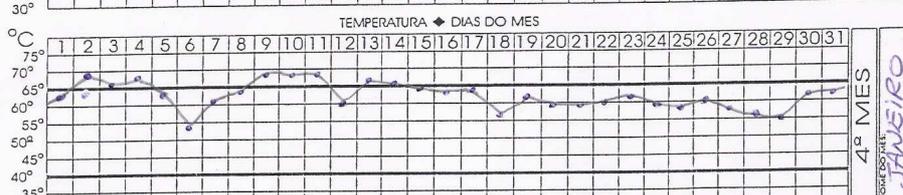
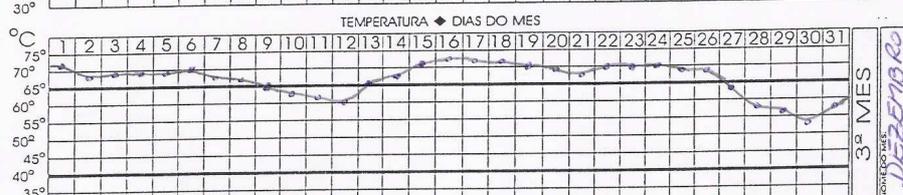
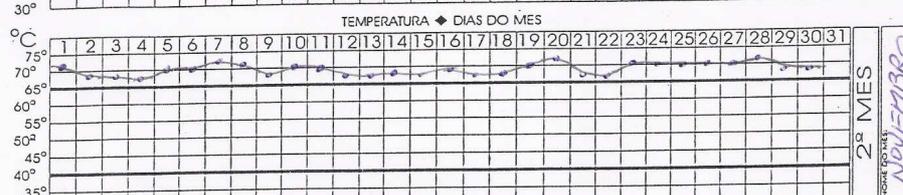
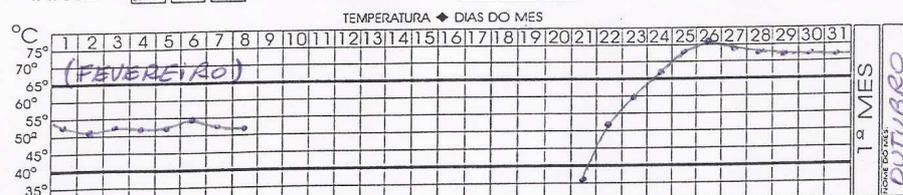
UTIL

CONTROLE DE LEIRA

INÍCIO: DIA 21 MÊS 10 ANO 05

TÉRMINO: DIA 08 MÊS 02 ANO 06

LEIRA Nº: 15



AGUAÇÃO ♦ DIAS DO MES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
																																	OUT
																																	NOV
																																	DEZ
																																	JAN

AERAÇÃO ♦ DIAS DO MES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	MES		
																																	OUT
																																	NOV
																																	DEZ
																																	JAN

COMPOSIÇÃO DA LEIRA	Kg	%
A - Matéria Orgânica Inicial	2.740	100
B - Composto Orgânico	1.041	38,0
C - Rejeito do Composto	962	35,1
D - Redução Final	737	26,9

D = A - B - C

Anexo 2: Quadros de Temperaturas e Precipitações Pluviométricas.

Quadro de temperaturas (Ambiente e Leiras) e Precipitação Pluviométrica

DIA	OUTUBRO							
	Ppt (mm)	T. Amb (°C) ⁽²⁾	L 15 (°C)	L 26 (°C)	L 35 (°C)	L 46 (°C)	L 55 (°C)	L 66 (°C)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15	-	35						
16	25 ⁽¹⁾	33						
17	-	35						
18	42 ⁽²⁾	37						
19	12 ⁽¹⁾	22					37,3	36,4
20	08 ⁽¹⁾	26			35,0	35,9	45,2	47,7
21	-	30	36,1	38,0	41,2	46,0	50,8	53,2
22	-	32	52,0	56,7	55,9	53,2	57,7	59,3
23	-	30	59,7	67,3	64,8	65,7	65,2	65,5
24	-	30	66,4	39,5	40,0	39,1	40,5	39,6
25	-	33	72,3	51,0	55,2	55,0	60,3	51,5
26	-	35	75,8	73,2	68,1	70,1	75,0	54,2
27	-	35	74,3	65,0	45,3	46,4	44,2	60,2
28	20 ⁽¹⁾	33	73,1	73,0	48,4	49,7	50,5	59,5
29	45 ⁽²⁾	29	72,7	40,1	55,3	52,1	53,1	67,4
30	15 ⁽²⁾	22	72,2	50,7	65,4	60,4	69,2	70,2
31	20 ⁽¹⁾	23	71,4	76,7	41,6	64,8	46,1	72,6

Fontes: (1) Fazenda São Pedro

(2) Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ

Temperaturas em vermelho → Reviramento

Quadro de temperaturas (Ambiente e Leiras) e Precipitação Pluviométrica

DIA	NOVEMBRO							
	Ppt (mm)	T. Amb (°C) ⁽²⁾	L 15 (°C)	L 26 (°C)	L 35 (°C)	L 46 (°C)	L 55 (°C)	L 66 (°C)
1	20 ⁽²⁾	26	71,2	44,5	44,9	49,2	51,4	37,5
2	32 ⁽²⁾	22	68,8	62,1	55,3	62,7	58,7	56,7
3	12 ⁽¹⁾	22	68,5	67,6	55,7	68,6	65,2	64,8
4	14 ⁽²⁾	25	67,5	40,5	62,0	42,3	40,2	53,2
5	-	28	70,3	57,2	64,7	53,4	48,8	61,6
6	05 ⁽²⁾	30	70,5	73,3	70,9	68,2	64,5	71,8
7	37 ⁽²⁾	30	72,3	44,7	42,7	44,5	44,2	45,8
8	09 ⁽²⁾	26	71,1	66,3	66,9	66,9	54,6	58,6
9	-	24	68,5	42,8	39,8	73,5	70,8	63,3
10	05 ⁽²⁾	21	70,7	54,6	49,9	54,1	40,7	66,5
11	-	21	69,9	63,4	64,1	71,2	49,3	43,7
12	11 ⁽²⁾	22	67,2	70,3	37,2	39,4	50,1	53,7
13	-	25	67,6	39,3	56,8	52,3	73,9	71,9
14	-	30	68,3	43,6	72,9	70,5	43,7	42,4
15	-	28	67,2	50,0	41,3	40,8	52,1	48,7
16	15 ⁽¹⁾	32	69,2,	58,9	58,3	51,7	53,3	53,7
17	20 ⁽²⁾	33	67,1	74,9	62,8	64,7	55,8	57,3
18	-	29	68,2	41,3	66,1	40,2	40,3	40,7
19	10 ⁽¹⁾	31	70,6	58,8	40,1	55,0	54,9	51,5
20	27 ⁽²⁾	29	72,3	73,0	56,2	63,2	59,6	55,7
21	-	29	66,9	40,3	56,6	68,7	62,8	57,3
22	-	26	66,5	56,5	60,3	41,3	60,7	60,7
23	-	30	70,8	65,3	54,8	47,0	62,0	61,3
24	15 ⁽¹⁾	33	70,3	41,3	64,3	59,1	63,6	42,0
25	32 ⁽²⁾	30	70,2	51,2	40,2	40,1	40,3	53,7
26	33 ⁽¹⁾	26	70,7	55,2	52,7	51,0	54,7	57,5
27	-	28	70,3	65,3	58,3	60,9	54,9	61,7
28	-	29	71,3	40,3	65,3	73,8	57,7	42,3
29	-	29	68,3	51,1	40,3	41,7	39,7	42,5
30	-	30	68,7	62,7	44,1	44,1	40,8	46,3

Fontes: (1) Fazenda São Pedro

(2) Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ

Temperaturas em vermelho → Reviramento

Quadro de temperaturas (Ambiente e Leiras) e Precipitação Pluviométrica

DIA	DEZEMBRO							
	Ppt (mm)	T. Amb (°C) ⁽²⁾	L 15 (°C)	L 26 (°C)	L 35 (°C)	L 46 (°C)	L 55 (°C)	L 66 (°C)
1	-	31	71,1	70,2	46,8	58,1	55,1	60,3
2	08 ⁽²⁾	29	67,8	44,9	61,6	68,3	54,0	60,5
3	85 ⁽¹⁾	26	69,0	53,5	63,4	35,9	48,8	55,4
4	-	25	68,9	62,2	61,7	39,5	53,0	53,8
5	-	30	68,7	75,4	55,0	48,7	62,3	51,6
6	13 ⁽²⁾	32	70,2	39,2	56,0	41,3	58,7	49,5
7	21 ⁽¹⁾	26	67,3	50,2	54,1	42,9	59,8	50,8
8	06 ⁽²⁾	21	66,5	60,0	54,7	48,3	56,2	44,8
9	-	28	64,7	65,6	48,8	44,2	55,8	45,7
10	117 ⁽²⁾	32	63,4	65,5	48,0	46,7	53,3	48,5
11	40 ⁽¹⁾	26	61,9	58,2	42,8	41,0	43,0	42,4
12	20 ⁽¹⁾	22	60,5	55,0	39,4	31,2	40,6	38,7
13	55 ⁽²⁾	25	65,5	52,6	41,9	38,6	41,4	36,2
14	13 ⁽²⁾	25	67,4	51,2	37,3	28,8	37,3	29,5
15	-	27	71,3	35,9	32,6	31,3	33,6	30,4
16	20 ⁽¹⁾	29	72,2	37,0	33,0	31,4	33,0	30,0
17	-	31	71,4	42,5	35,7	33,9	33,7	31,7
18	30 ⁽²⁾	30	71,7	48,4	36,1	34,3	34,0	31,9
19	-	31	70,2	52,5	37,3	34,4	34,8	32,6
20	-	32	69,6	52,1	40,1	35,9	35,2	37,9
21	40 ⁽¹⁾	34	67,8	52,7	43,2	39,8	36,3	35,5
22	-	32	69,8	53,2	46,1	42,2	36,8	36,2
23	-	33	69,5	57,3	45,0	40,8	39,4	37,4
24	-	34	70,2	55,3	46,2	41,5	41,2	38,6
25	35 ⁽¹⁾	26	68,7	45,3	47,2	38,6	40,8	40,1
26	18 ⁽²⁾	25	68,0	46,6	46,6	41,7	43,5	35,4
27	-	29	64,8	43,9	40,8	35,2	42,5	31,6
28	-	29	58,1	46,6	38,4	28,9	34,2	34,2
29	-	29	56,2	46,1	39,2	27,1	36,6	35,7
30	-	32	53,5	41,8	40,1	28,9	35,1	27,4
31	-	33	57,4	42,5	29,6	28,8	30,3	27,8

Fontes: (1) Fazenda São Pedro

(2) Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ

Temperaturas em vermelho → Reviramento

Quadro de temperaturas (Ambiente e Leiras) e Precipitação Pluviométrica

DIA	JANEIRO							
	Ppt (mm)	T. Amb (°C) ⁽²⁾	L 15 (°C)	L 26 (°C)	L 35 (°C)	L 46 (°C)	L 55 (°C)	L 66 (°C)
1	03 ⁽²⁾	32	62,8	51,5	34,8	30,3	31,8	33,6
2	-	30	69,0	40,5	43,9	33,7	35,2	39,1
3	-	31	66,0	43,2	34,7	33,3	32,9	32,7
4	15 ⁽²⁾	34	68,4	47,4	39,6	38,0	37,8	36,5
5	04 ⁽²⁾	28	64,6	42,5	43,2	40,3	38,0	36,2
6	08 ⁽²⁾	28	54,4	31,7	32,0	25,2	23,4	22,8
7	-	30	61,2	36,8	22,8	17,2	15,8	15,3
8	-	32	64,4	48,6	30,7	34,6	26,7	24,9
9	-	32	68,2	51,3	39,2	40,0	31,8	30,7
10	-	30	67,8	49,4	48,8	44,9	46,4	43,1
11	-	30	67,2	50,7	46,0	44,6	43,4	33,4
12	07 ⁽²⁾	29	60,0	25,2	34,0	18,2	43,6	28,7
13	-	31	66,3	34,3	23,2	25,2	23,3	18,0
14	-	33	65,8	50,9	26,2	27,6	27,5	20,0
15	-	33	64,7	46,8	44,2	29,8	36,2	20,8
16	-	33	63,4	39,0	34,2	32,8	37,3	34,4
17	-	34	64,2	39,8	35,2	39,0	46,4	40,5
18	-	33	56,3	42,3	39,2	41,6	42,6	42,0
19	-	33	62,0	43,4	41,0	43,6	34,5	37,6
20	-	33	59,4	36,2	37,7	45,5	30,2	46,5
21	-	34	59,0	34,3	35,1	38,5	42,4	38,2
22	-	36	59,9	41,7	39,6	41,3	40,8	40,1
23	-	37	61,1	50,5	47,9	47,5	52,7	42,4
24	-	37	59,3	52,3	49,7	46,5	48,8	48,0
25	-	38	58,5	52,4	50,0	45,0	43,6	39,2
26	07 ⁽²⁾	38	60,4	48,3	46,7	41,2	32,6	37,4
27	30 ⁽²⁾	33	57,0	52,0	51,3	32,2	34,7	32,4
28	17 ⁽²⁾	29	56,1	45,6	43,5	34,1	33,5	32,9
29	10 ⁽²⁾	29	55,6	40,8	39,2	32,8	34,9	34,6
30	-	32	62,0	45,2	42,4	35,7	35,8	34,8
31	17 ⁽²⁾	28	62,5	46,3	41,6	34,6	34,0	31,5

Fontes: (1) Fazenda São Pedro

(2) Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ

Temperaturas em vermelho → Reviramento

**Quadro de temperaturas (Ambiente e Leiras) e Precipitação
Pluviométrica**

DIA	FEVEREIRO							
	Ppt (mm)	T. Amb (°C) ⁽²⁾	L 15 (°C)	L 26 (°C)	L 35 (°C)	L 46 (°C)	L 55 (°C)	L 66 (°C)
1	-	30	53,1	40,2	40,5	36,8	41,1	40,6
2	-	32	51,9	42,3	40,5	39,1	39,4	40,7
3	-	32	53,7	40,9	38,9	37,7	39,9	38,7
4	-	34	53,0	41,4	38,0	37,2	38,6	39,1
5	-	34	53,5	42,7	39,2	36,9	38,2	36,6
6	-	36	54,9	40,9	40,3	38,7	37,9	35,5
7	-	35	53,1	36,8	39,1	39,1	40,5	39,1
8	-	38	52,7	35,5	39,6	38,8	39,9	36,9
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

Fontes: (1) Fazenda São Pedro

(2) Federação dos Agricultores do Estado do Rio de Janeiro - FAERJ

Anexo 3: Fichas da FAERJ – Controle de Chuvas e Temperatura.



RUA DE JANDIRA

CONTROLE DE CHUVAS E TEMPERATURA

01/10/05

CHUVAS		TEMPERATURA		CHUVAS		TEMPERATURA	
DIA	mm	MAX.	MIN.	DIA	mm	MAX.	MIN.
01		28	20	17		35	24
02		26	21	18		37	23
03		29	19	19	42	22	22
04		30	21	20	11	26	23
05		32	23	21		30	23
06		33	24	22		32	24
07		30	25	23		30	24
08		32	21	24		30	21
09		33	21	25		33	24
10		33	22	26		35	26
11		33	22	27		30	26
12		33	22	28	17	33	24
13		34	22	29	45	29	23
14		36	23	30	15	22	21
15		35	24	31	69	23	21
16		33	24				

TOTAL - 139 mm chuvas



SEBRAE
RJ



RIO DE JANEIRO

**CONTROLE DE CHUVAS
E TEMPERATURA**

01/11/05

CHUVAS		TEMPERATURA		CHUVAS		TEMPERATURA	
DIA	mm	MÁX.	MIN.	DIA	mm	MÁX.	MIN.
01	20	26	21	17	20	33	24
02	32	22	21	18		29	24
03	02	22	21	19	08	31	24
04	14	25	23	20	27	29	23
05		28	23	21		29	24
06	05	30	24	22		26	23
07	37	30	23	23		30	24
08	09	26	21	24		33	25
09		24	20	25	32	30	24
10	05	21	19	26	09	26	23
11		21	19	27		28	20
12	11	22	19	28		29	22
13		25	19	29		29	23
14		30	20	30		30	25
15		28	22	31			
16		32	24				
TOTAL - 231 mm chuvas							



RIO DE JANEIRO

**CONTROLE DE CHUVAS
E TEMPERATURA**

01 / 12 / 05

CHUVAS		TEMPERATURA		CHUVAS		TEMPERATURA	
DIA	mm	MÁX.	MIN.	DIA	mm	MÁX.	MIN.
01		31	26	17		31	25
02	08	29	23	18	30	30	25
03		26	20	19		31	23
04		25	20	20		32	24
05		30	22	21		34	25
06	13	32	23	22		32	24
07		26	20	23		33	25
08	06	21	20	24		34	25
09		28	22	25	06	26	23
10	117	32	24	26	18	25	20
11	26	26	22	27		29	20
12	14	22	22	28		29	22
13	55	25	21	29		29	23
14	13	25	22	30		32	24
15		24	23	31		33	25
16		29	24			---	---
TOTAL - 306 mm chuvas							



RIO DE JANEIRO

CONTROLE DE CHUVAS E TEMPERATURA

01 / 01 / 06

CHUVAS		TEMPERATURA		CHUVAS		TEMPERATURA	
DIA	mm	MÁX.	MIN.	DIA	mm	MÁX.	MIN.
01	03	32	24	17		34	24
02		30	24	18		33	23
03		31	25	19		33	25
04	15	34	24	20		33	24
05	04	28	24	21		34	24
06	08	28	24	22		36	23
07		30	24	23		37	25
08		32	24	24		37	27
09		32	24	25		38	27
10		30	23	26	07	38	26
11		30	25	27	30	33	24
12	07	29	23	28	17	29	24
13		31	24	29	10	29	23
14		33	25	30		32	24
15		33	24	31	17	28	24
16		33	23			—	—
TOTAL - 118 mm chuvas							



SEBRAE
RJ



RIO DE JANEIRO

**CONTROLE DE CHUVAS
E TEMPERATURA**

01/102/06

CHUVAS		TEMPERATURA		CHUVAS		TEMPERATURA	
DIA	mm	MÁX.	MIN.	DIA	mm	MÁX.	MIN.
01		30	24	17			
02		32	25	18			
03		32	24	19			
04		34	25	20			
05		34	25	21			
06		36	25	22			
07				23			
08				24			
09				25			
10				26			
11				27			
12				28			
13				29			
14				30			
15				31			
16							
TOTAL - _____ chuvas							

Anexo 4: Laudo Técnico – Físico-químico.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Agrárias
DEPARTAMENTO DE SOLOS
36571-000 - VIÇOSA-MG-BRASIL
 Telefone: (0xx31) 3899 – 1070

LABORATÓRIO DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUOS

Valor da Análise: R\$ 392,00

Amostra Analisada: Composto Orgânico
 Número do Registro da Amostra: 34/ 05
 Solicitante: Prefeitura Municipal de Miracema
 Endereço: Praça Ary Parreiras S/N - Centro
 Miracema - R S
 CEP : 28460 - 000
 Tel.: (22) 3852 0542 Ramal - 225
 Data da Análise: 10/01/05

Amostra	Umidade			Dados Base Seca (umidade Total)		Dados Base Seca (Umidade 65°C)			
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C nos AH ¹	C Total	C Combustão Seca	N Combustão Seca
	===== % =====								
Leira - 15	50,70	-	-	30,473	-	-	10,26	-	-
Leira - 26	36,19	-	-	26,26	-	-	10,84	-	-
Leira - 35	49,53	-	-	32,01	-	-	11,82	-	-
Leira - 46	45,69	-	-	25,86	-	-	10,41	-	-
	===== % =====								
	Densidade mg/cm ³	pH	Ca	Mg	K	P	Na	N	S
	===== % =====								
Leira - 15	0,58	7,57	2,67	0,23	0,60	0,31	-	0,88	0,11
Leira - 26	0,67	8,61	2,85	0,22	0,546	0,40	-	1,05	0,06
Leira - 35	0,62	8,57	2,96	0,27	0,64	0,41	-	0,93	0,30
Leira - 46	0,72	8,56	2,97	0,29	0,60	0,55	-	0,93	0,37
	===== mg/kg =====								
	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
Leira - 15	13,99	42,2	179,6	155,7	14203,0	*	11,1	17,0	32,3
Leira - 26	42,46	200,0	326,0	166,2	15427,0	*	9,4	36,2	134,0
Leira - 35	110,40	102,2	221,0	169,6	15898,0	*	12,8	10,3	57,5
Leira - 46	15,66	73,2	215,0	231,9	10992,5	*	14,4	15,2	45,4

* Não Detectado

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
 Responsável pelo Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Agrárias
DEPARTAMENTO DE SOLOS
36571-000 - VIÇOSA-MG-BRASIL
 Telefone: (0xx31) 3899 - 1070

LABORATÓRIO DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUOS

Valor da Análise: R\$ 294,00

Amostra Analisada: Composto Orgânico
 Número do Registro da Amostra: 34/ 05
 Solicitante: Prefeitura Municipal de Miracema
 Endereço: Praça Ary Parreiras S/N - Centro
 Miracema - R S
 CEP.: 28460 - 000
 Tel.: (22) 3852 0542 - Ramal 225
 Data da Análise: 10/01/06

Amostra	Umidade			Dados Base Seca (umidade Total)		Dados Base Seca (Umidade 65°C)			
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C nos AH ¹	C Total	C Combustão Seca	N Combustão Seca
	===== % =====								
Leira - 55	52,28	-	-	22,00	-	-	10,32	-	-
Leira - 66	53,05	-	-	21,15	-	-	11,12	-	-
Leira T.0/46	70,70	-	-	47,40	-	-	26,28	-	-
	Densidade mg/cm ³	pH	Ca	Mg	K	P	Na	N	S
	===== % =====								
Leira - 55	0,69	8,68	3,11	0,31	0,60	0,46	-	0,88	0,13
Leira - 66	0,69	8,12	3,32	0,26	0,56	0,46	-	0,84	0,02
Leira T.0/46	0,44	5,87	3,78	0,21	0,28	0,70	-	1,34	0,02
	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
	===== mg/kg =====								
Leira - 55	10,80	62,2	227,2	222,7	10267,5	*	14,9	44,8	39,5
Leira - 66	8,31	54,4	193,4	230,7	10347,5	*	10,1	15,4	25,0
Leira T.0/46	16,45	39,0	201,4	117,1	9145,0	*	7,3	15,0	25,5

* Não Detectado

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
 Responsável pelo Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Agrárias
 DEPARTAMENTO DE SOLOS
 36571-000 - VIÇOSA-MG-BRASIL
 Telefone: (0xx31) 3899 - 1070

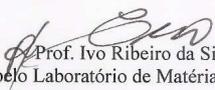
LABORATÓRIO DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUOS

Valor da Análise: R\$ 196,00

Amostra Analisada: Composto Orgânico
 Número do Registro da Amostra: 39/ 06
 Solicitante: Prefeitura Municipal de Miracema
 Endereço: Praça Ary Parreiras S/N - Centro
 Miracema - R J
 CEP.: 28460 - 000
 Tel.: (22) 3852 0542 - Ramal 225
 Data da Análise: 23/02/06

Amostra	Umidade			Dados Base Seca (umidade Total)		Dados Base Seca (Umidade 65°C)				
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C nos AH ¹	C Total	C Combustão Seca	N Combustão Seca	
Leira - 55	34,65	-	-	24,08	-	-	13,34	-	-	
Leira - 66	33,30	-	-	24,17	-	-	14,89	-	-	
	Densidade mg/cm ³	pH	Ca	Mg	K	P	Na	N	S	
Leira - 55	0,88	8,42	2,15	0,30	0,61	0,31	-	0,84	0,45	
Leira - 66	0,88	8,29	2,74	0,34	0,60	0,32	-	0,84	0,35	
	B	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
Leira - 55	8,19	-	54,5	227,0	221,1	21517,5	*	10,9	27,6	42,6
Leira - 66	9,71	-	79,8	450,0	246,8	29570,0	*	14,8	29,1	92,6

* Não Detectado


 Responsável pelo Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Agrárias
DEPARTAMENTO DE SOLOS
36571-000 - VIÇOSA-MG-BRASIL
 Telefone: (0xx31) 3899 - 1070

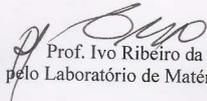
LABORATÓRIO DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUOS

Amostra Analisada: Composto Orgânico
 Número do Registro da Amostra: 39/06
 Solicitante: Prefeitura Municipal de Miracema
 Endereço: Praça Ary Parreiras S/N - Centro
 Miracema - RJ
 CEP: 28460 - 000
 Tel.: (22) 3852 0542 Ramal - 225
 Data da Análise: 23/02/06

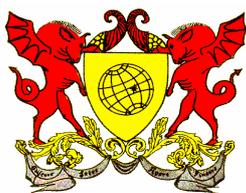
Valor da Análise: R\$ 392,00

Amostra	Umidade			Dados Base Seca (umidade Total)		Dados Base Seca (Umidade 65°C)				
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C nos AH ¹	C Total	C Combustão Seca	N Combustão Seca	
	%									
Leira - 15	29,02	-	-	26,26	-	-	13,50	-	-	
Leira - 26	30,65	-	-	23,34	-	-	13,78	-	-	
Leira - 35	33,93	-	-	23,92	-	-	14,38	-	-	
Leira - 46	30,99	-	-	23,55	-	-	13,26	-	-	
	Densidade mg/cm ³	pH	Ca	Mg	K	P	Na	N	S	
	%									
Leira - 15	0,79	7,70	2,57	0,20	0,64	0,28	-	0,77	0,34	
Leira - 26	0,88	8,40	2,79	0,28	0,60	0,32	-	0,70	0,30	
Leira - 35	0,84	8,19	2,51	0,27	0,76	0,28	-	0,98	0,35	
Leira - 46	0,84	8,32	2,74	0,27	0,65	0,39	-	0,91	0,38	
	B	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
	mg/kg									
Leira - 15	10,23	-	50,5	247,5	173,0	18447,5	*	13,1	30,5	39,6
Leira - 26	15,09	-	218,5	224,6	180,0	19395,0	*	14,11	24,1	18,44
Leira - 35	13,21	-	183,3	260,0	160,8	18647,5	*	11,1	28,8	32,4
Leira - 46	10,53	-	53,4	283,0	217,9	33192,5	*	12,8	14,21	31,7

* Não Detectado


 Prof. Ivo Ribeiro da Silva
 Responsável pelo Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos

Anexo 5: Laudo Técnico – Microbiológico.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
 36571-000 – VIÇOSA – MG
 DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA
 e-mail: dmb@ufv.br
 Telefone: (31) 3899-1941
 Fax: (31) 3899-2573

LABORATÓRIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS

LAUDO TÉCNICO

Amostra analisada: Composto Orgânico

Solicitante: Prefeitura Municipal de Miracema

Local de coleta de amostra: não informado

Data de coleta das amostras: não informado

Data de recebimento da amostra no laboratório: 20/12/2005

Data de início da análise: 17/12/2005

Observação: O solicitante coletou amostras de composto orgânico e as encaminhou ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos do DMB/UFV para análise microbiológica.

Resultados:

Identificação da Amostra	Coliforme a 45°C (coliformes fecais) NMP*/g	<i>Streptococcus</i> UFC**/g
1. Leira 66	7,5 x 10	1,5 x 10 ²
2. Leira 55	2,4 x 10 ²	< 10 ²
3. Leira 35	4,3 x 10	< 10 ²
4. Leira 26	2,1 x 10 ²	1,8 x 10 ⁴
5. Leira 15	4,6 x 10 ³	1,1 x 10 ⁴
6. Leira 46	1,5 x 10	< 10 ²
7. Leira 46 (tempo 0)	1,1 x 10 ³	1,6 x 10 ⁶

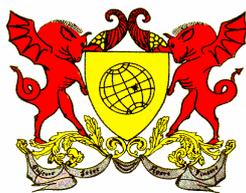
*NMP = Número Mais Provável

**UFC = Unidades Formadoras de Colônias

Viçosa, 16 de janeiro de 2006

Maria Cristina Dantas Vanetti

Responsável pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos/DMB-UFV



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
 36571-000 – VIÇOSA – MG
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA
 e-mail: dmb@ufv.br
 Telefone: (31) 3899-1941
 Fax: (31) 3899-2573

LABORATÓRIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS

LAUDO TÉCNICO

Amostra analisada: Composto Orgânico

Local de coleta de amostra: não informado

Data de coleta das amostras: não informado

Data de recebimento da amostra no laboratório: 13/02/2006

Data de início da análise: 14/02/2006 **Nº de Referência:** 0106

Observação: O solicitante coletou a amostra de, aproximadamente, 800 g de composto orgânico e a encaminhou em saco plástico, ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos do DMB/UFV para análise microbiológica.

Resultados:

Microrganismo	Amostra de Composto
Coliformes a 45°C (coliformes fecais)	1,1 x 10 ³ NMP*/g
<i>Streptococcus</i>	3,5 x 10 ³ UFC**/g
Salmonella	Ausência em 25 g

*NMP = Número Mais Provável **UFC = Unidades Formadoras de Colônias

OBS: As análises foram conduzidas segundo metodologia descrita em SPLITTSTOESSER, D.F. (Eds.). Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 3.ed. Washington: APHA, 1992.

Viçosa, 23 de fevereiro de 2006

Maria Cristina Dantas Vanetti

Responsável pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos/DMB-UFV