



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VICENTE DE PAULO MIRANDA LEITÃO

**UTILIZAÇÃO DE UM MÉTODO HÍBRIDO DE AERAÇÃO
FORÇADA NA COMPOSTAGEM EM LEIRAS**

FORTALEZA – CEARÁ

2008

VICENTE DE PAULO MIRANDA LEITÃO

**UTILIZAÇÃO DE UM MÉTODO HÍBRIDO DE AERAÇÃO
FORÇADA NA COMPOSTAGEM EM LEIRAS**

Tese submetida à coordenação do programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Suetônio Mota.

FORTALEZA – CEARÁ

2008

L549u Leitão, Vicente de Paulo Miranda.
Utilização de um método híbrido de aeração forçada para
compostagem em leiras / Vicente de Paulo Miranda Leitão, 2008.
197f. ; il; enc.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Área de concentração: Saneamento Ambiental
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará,
Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Fortaleza, 2008.

1. Saneamento Ambiental. 2. Compostos Orgânicos.
3. Compostagem. 4. Esterco. I. Mota, Francisco Suetônio Bastos.
(orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de
Pós- Graduação em Engenharia Civil. III. Título

CDD 628

Esta Tese foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará – UFC, em cuja Biblioteca de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho dessa Tese é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

Vicente de Paulo Miranda Leitão

Tese Apresentada e Aprovada em 05 de Agosto de 2008

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Suetonio Bastos Mota – Orientador
Universidade Federal do Ceará - UFC

Profa. Dra Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Luis Antonio da Silva
Faculdade de Tecnologia CENTEC - FATEC/Sobral

Profa. Dra Nájila Rejanne Alencar Julião Cabral
Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará - CEFETCE

Profa. Dra. Cláudia Coutinho Nóbrega
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial as minhas filhas Gabriella e Giovanna que foram suporte e incentivo ao longo deste estudo.

“A consciência ecológica levanta-nos um problema de uma profundidade e de uma vastidão extraordinárias. Temos de defrontar ao mesmo tempo o problema da Vida no planeta Terra, o problema da sociedade moderna e o problema do destino do Homem. Isto obriga-nos a repor em questão a própria orientação da civilização ocidental. Na aurora do terceiro milênio, é preciso compreender que revolucionar, desenvolver, inventar, sobreviver, viver, morrer, anda tudo inseparavelmente ligado.”

(Edgar Morin)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

A meus Pais (*in memoriam*);

A Claudiana Dias;

A minha família;

Ao Prof. Dr. Suetônio Mota pela paciência, dedicação e orientações decisivas durante a elaboração e desenvolvimento desta Tese;

Ao Prof. Dr. Luís Antônio da Silva (FATEC-Sobral), pela participação na banca examinadora e excelentes contribuições prestadas durante o desenvolvimento deste trabalho;

A Profa. Dra. Nájila Rejanne Alencar Julião Cabral (CEFETCE) pelo apoio e incentivo na elaboração do projeto e execução do mesmo, bem como sua participação na banca examinadora;

A Profa Dra. Marisete Dantas de Aquino, pelo apoio durante todo o curso, pela participação no Exame de Qualificação e Banca Examinadora;

A Profa. Dra. Cláudia Coutinho Nóbrega – UFPB, pelo incentivo e orientações que contribuíram para elaboração e desenvolvimento desse projeto e por sua participação na Banca Examinadora;

Aos membros da Banca Examinadora da prova de qualificação pelas contribuições e observações importantes no projeto da tese;

Ao Prof. Cláudio Ricardo Gomes de Lima, Diretor Geral do CEFETCE, pela compreensão, apoio, e incentivo durante a elaboração e execução deste trabalho;

Ao Prof. Júlio César da Costa e Silva Diretor do CEFET Maracanaú, pelo seu entusiasmo com relação questão ambiental e de resíduos sólidos, por ser sempre solícito durante a elaboração deste trabalho e pelo apoio durante sua execução;

Ao Prof. Francisco Jurandir de Sousa (CEFTCE) pelo apoio e incentivo desde minha Formação Técnica quando aluno e bolsista do Grupo Executivo de Obras – GEO durante o curso Técnico de Edificações.

Aos Professores do CEFETCE: Paulo Cunha, Glória Marinho, Miriam Brasil, Samuel Brasileiro, Edson Almeida, Raimundo Bemvindo, Orlando Medeiros, Edílson Pinto, Franco de Magalhães e Gilmar Lopes pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho;

As colegas da Gerencia de Recursos Humanos do CEFETCE: Vera Queiroz, Irlenilda Pereira, Samara Tauil, Mirleni Queiroz, Rosângela Vieira, pelo apoio e incentivo durante todo o curso;

Aos servidores do CEFETCE: Dulcimar Ferreira, Ana Martins, Olívio Britto, Simão Pedro, Sergio Pinho, Marta Alves e Rita Coelho, pelo incentivo;

As bolsistas do ITQMA (CEFETCE), Vanessa Ramos, Raquel Braga, Wilker Sales, Taciane Almeida, Suyanne Pricilla e Natanael Barroso pelo apoio;

Ao Ex-Coordenador do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro pelo apoio durante todo o curso;

A todos os Professores do Curso de Doutorado em Engenharia Civil – Área de concentração em Saneamento Ambiental da UFC, pela partilha de conhecimentos;

Aos colegas do Doutorado, em especial a turma de 2004, pelo excelente companheirismo e consideração durante toda a jornada;

Ao professor Antonio Idivan, pelo apoio e liberação do laboratório de Saneamento Ambiental para as análises Físico-Químicas;

Ao professor Dr.Fernando Hernandez pelo apoio e liberação do Laboratório de Química de Ciências do solo da UFC;

A Penha Araújo, Vilalba Nascimento, Geórgia Brandão, José Tavares pela assistência prestada no Laboratório de Ciências dos Solos, nas análises Químicas e macronutrientes;

Ao Prof. Dr. Frederico Soares (UFPB), pelo apoio durante o curso e análises estatísticas;

Aos Funcionários do Banco de Mudanças de Sobral: Ricardo Parente, Jorge Prado e Cláudia Sales pelo apoio e responsabilidade no fornecimento da matéria-prima (bagana e esterco equino) e liberação do espaço físico para montagem das leiras;

A Pedagoga Elza Ponte (FATEC – Sobral), pelo incentivo, apoio e excelentes contribuições prestadas durante o curso e na elaboração e execução deste trabalho;

Ao Professores da FATEC – Sobral: Sílvio Carlos, Raimundo Gomes, Manoel Valnir, Eliano Pessoa, Solange Lopes, Maurício Barreto, Jamili Fialho, Liana Ferreira, Edson Frota, George Sampaio, Eugenio Pacelli, Antonio José, Marcelo Fontenelle e Seabra Filho pelo apoio;

As Laboratoristas Leila Sales e Michelle Camelo, pela assistência prestada no laboratório de Ciências do Solo (FATEC – Sobral), nas análises Físico-Químicas e pH;

A Laboratorista Mariene Rodrigues pela assistência prestada no laboratório de microbiologia (FATEC – Sobral), nas análises Microbiológicas;

A Erivelton, Beth, Xavier e Júnior da coordenação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, pela assistência oferecida durante todo o curso;

A Bibliotecária Umbelina Caldas e bolsistas da Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia, pela paciência, dedicação e assistência prestada;

Aos Servidores do FATEC - Sobral: José Maria, Raimundo Nonato, Francisco de Assis, Antonio Neto e Leonardo Silva pelos serviços prestados nas instalações elétricas e montagem das Leiras;

Ao laboratorista José Saboya pelo apoio no laboratório de mecânica dos solos do CEFETCE

Aos órgãos:

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará - CEFETCE

FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa), pelo apoio financeiro;

Laboratório de Saneamento Ambiental - UFC;

Laboratório de Ciências do Solo - UFC

Laboratório de Mecânica dos Solos - CEFETCE

Laboratório de Microbiologia – FATEC - SOBRAL;

Laboratório de Ciências do Solo – FATEC- SOBRAL;

Prefeitura Municipal de Sobral - PMS

Autarquia Municipal do Meio Ambiente de Sobral - AMMA - Banco de Mudas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS	30
2.1 Objetivo geral	30
2.2 Objetivo específico	30
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 Considerações gerais	31
3.2 Por que compostar	34
3.3. Conceitos sobre compostagem.....	38
3.4 Classificação dos processos de compostagem	42
3.4.1 Modo de aeração	42
3.4.2 Temperatura.....	44
3.4.3 Tipo de Ambiente	45
3.5 Microbiologia do processo de compostagem	45
3.5.1 Bactérias	48
1. Criófilas	49
2. Mesófilas	49
3. Termófilas	50
3.5.2 Fungos	50
3.5.3 Actinomicetos	50
3.6 Alterações da matéria-prima ao ser compostada.....	51
3.7 Principais transformações e alterações na matéria-prima	52
3.7.1 Temperatura	52
3.7.2 Índice pH.....	54
3.7.3 Matéria orgânica	54
3.7.4 Nitrogênio total	55
3.7.5 Relação carbono/nitrogênio (C/N)	56
3.8 Fatores que afetam o processo de compostagem	57
3.8.1 Teor de umidade	58
3.8.2 Aeração ou oxigenação.....	60
3.8.3 Temperatura.....	63
3.8.4 Relação carbono/nitrogênio (C/N)	66
3.8.5 Potencial hidrogeniônico (pH)	70

3.8.6 Tamanho das partículas: Granulometria	72
3.9 Processo de compostagem	74
3.9.1 Compostagem natural	75
3.9.1.1 Compostagem pelo sistema “windrow”	75
i) Compostagem acelerada.....	78
3.9.2.1 Compostagem com digestor	78
a) Compostagem com leira estática aerada.....	79
3.10 Vantagens e desvantagens dos sistemas.....	80
3.11 Fontes potenciais de resíduos orgânicos	81
3.11.1 Resíduos sólidos urbanos	83
3.11.2 Resíduo sólido domiciliar.....	84
3.11.3 Resíduos “verdes”	84
3.11.4 Resíduos provenientes de centrais de abastecimento.....	85
3.11.5 Resíduos provenientes da indústria de alimentos	85
3.11.6 Lodos de esgoto	85
3.11.7 Resíduos provenientes de animais	86
3.12 Controle dos impactos associados ao processo de compostagem	87
3.12.1 Emissão de odores	87
3.12.2 Proliferação de vetores	88
3.12.3 Produção de chorume	88
3.13 Fases de compostagem	90
3.13.1 Primeira Fase – Degradação Ativa	90
3.13.2 Segunda Fase – Maturação	91
3.14 Composto orgânico: produção e aplicação	92
3.15 Benefícios e vantagens provenientes da utilização do composto orgânico.....	93
3.16 Classificação dos compostos orgânicos	94
3.17 Contaminação do composto orgânico por metais pesados	95
3.18 Composto Orgânico e Legislação Brasileira	97
4 MATERIAL E MÉTODOS	101
4.1 Cenário da pesquisa	101
4.2 Matéria-prima.....	103
4.3 Experimento.....	103
4.4 Montagem das leiras	104

4.5 Sistema de aeração	105
4.5.1 Leiras sob o modo positivo ou com injeção de ar	106
4.5.2 Leiras sob o modo negativo ou com sucção de ar.....	107
4.5.3 Leiras sob o modo híbrido	108
4.6 Amostragem	109
4.7 Operacionalidade do processo	109
4.7.1 Análises físicas	110
4.7.1.1 Densidade	110
4.7.1.2 Temperatura	110
4.7.2 Análises físico-químicas	110
4.7.2.1 Teor de umidade a 100 – 110°C	110
4.7.2.2 Matéria orgânica total	111
4.7.2.3 Carbono total	111
4.7.2.4 pH em água.....	111
4.7.2.5 pH em CaCl ₂	111
4.7.3 Análises químicas: nitrogênio total	111
4.7.3.1 Nitrogênio total	111
4.7.4 Análises bacteriológicas	111
4.8 Término da fase ativa	112
4.9 Término da fase de maturação	112
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
5.1 Análises físicas	114
5.1.1 Densidade	114
5.1.2 Temperatura	115
5.2 Análises físico-químicas	127
5.2.1 Teor de umidade a 100 – 110°C	127
5.2.2 Matéria orgânica total	132
5.2.3 Carbono total	136
5.2.4 pH em água.....	140
5.3 Análises químicas	147
5.3.1 Nitrogênio total	147
5.3.2 Relação C/N	151
5.4 Análises bacteriológica	154

5.5 Término da fase ativa	159
5.6 Término da fase de maturação	159
6 CONCLUSÕES	162
6.1 Análises físicas	162
6.1.1 Densidade	162
6.1.2 Temperatura	162
6.2 Análises físico-químicas	163
6.2.1 Teor de umidade a 100 – 110°C	163
6.2.2 Matéria orgânica total	163
6.2.3 Carbono total	164
6.2.4 pH	164
6.3 Análises químicas	164
6.3.1 Nitrogênio total	164
6.3.2 Relação C/N	164
6.4 Análises bacteriológica	165
6.5 Término da fase ativa	165
6.6 Término da fase de maturação	165
6.7 Conclusão final	165
7. RECOMENDAÇÕES	168
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	170
ANEXOS	190

LISTA DE TABELAS

TABELA	3.1	- Temperaturas consideradas mínimas, ótimas e máximas para as bactérias. (°C)	53
TABELA	3.2	- Valores médios da relação C/N de alguns materiais compostáveis	68
TABELA	3.3	- Relações C:N ótimas para a compostagem	69
TABELA	3.4	- Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.	81
TABELA	3.5	- Fontes potenciais de matéria orgânica	82
TABELA	3.6	- Valores dos principais parâmetros físicos e químicos para o controle de composto orgânico conforme a legislação em vigor no Brasil.	98
TABELA	3.7	- Especificação para a granulometria	99
TABELA	3.8	- Especificações dos Fertilizantes orgânicos, misto e composto.	100
TABELA	4.1	- Características das Leiras de Compostagem – Pesquisa realizada em Sobral-CE, 2006.	106
TABELA	4.2	- Parâmetros analisados, métodos utilizados e frequência das amostras retiradas das leiras nos processos de compostagem do presente estudo. Sobral – CE, 2006.	113
TABELA	5.1	- Valores médios da densidade da matéria-prima e variação durante o período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006 .	114
TABELA	5.2	- Resumo das análises de variância do teor de umidade da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.	128
TABELA	5.3	- Médias da umidade da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.	129
TABELA	5.4	- Resumo das análises de variância do teor de umidade de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006	131
TABELA	5.5	- Médias da umidade de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.	131

- TABELA 5.6 - Resumo das análises de variância da matéria orgânica da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006. 132
- TABELA 5.7 - Médias da matéria orgânica da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006. 133
- TABELA 5.8 - Resumo das análises de variância da matéria orgânica de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006. 134
- TABELA 5.9 - Médias da matéria orgânica de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 135
- TABELA 5.10 - Resumo das análises de variância do carbono total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 136
- TABELA 5.11 - Médias do carbono total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 137
- TABELA 5.12 - Resumo das análises de variância do Carbono total de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação - Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 138
- TABELA 5.13 - Médias do carbono orgânico de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 139
- TABELA 5.14 - Resumo das análises de variância do pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 140
- TABELA 5.15 - Médias do pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 140

- TABELA 5.16 - Resumo das análises de variância do pH em CaCl_2 da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 142
- TABELA 5.17 - Médias do pH em CaCl_2 da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 142
- TABELA 5.18 - Resumo das análises de variância do pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação – Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 143
- TABELA 5.19 - Médias do pH em água de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 144
- TABELA 5.20 - Resumo das análises de variância do pH em CaCl_2 da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação – Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 145
- TABELA 5.21 - Médias do pH em CaCl_2 de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 145
- TABELA 5.22 - Resumo das análises de variância do nitrogênio total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 147
- TABELA 5.23 - Médias do nitrogênio total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 148
- TABELA 5.24 - Resumo das análises de variância do Nitrogênio Total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação – Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 149
- TABELA 5.25 - Médias do Nitrogênio Total de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006. 150

- TABELA 5.26 - Resumo das análises de variância da relação C/N da matéria prima e de 151 todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.27 - Médias da relação C/N da matéria prima e de todos os tratamentos 151 (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.28 - Resumo das análises de variância da Relação C/N da matéria prima e de 153 todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação – Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006
- TABELA 5.29 - Médias da Relação C/N de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – 153 N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.30 - Resumo das análises de variância dos coliformes totais da matéria prima 155 e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15 e 20 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.31 - Médias dos coliformes totais de todos os tratamentos (LMTA – P), 155 (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.32 - Resumo das análises de variância dos coliformes fecais da matéria prima 156 e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15 e 20 dias de compostagem durante a fase ativa– Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.33 - Médias dos coliformes fecais de todos os tratamentos (LMTA – P), 157 (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.
- TABELA 5.34 - Média das análises químicas na fase de maturação durante o período de 160 compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1	- Esquema das etapas da compostagem	64
FIGURA 4.1	- Posição geográfica do município de Sobral no Estado do Ceará	101
FIGURA 4.2	- Mapa do município de Sobral – Ceará	102
FIGURA 4.3	- Banco de Mudas – Sobral, Ceará – 2006	103
FIGURA 4.4	- Montagem das Leiras. Sobral, Ceará – 2006	104
FIGURA 4.5	- Montagem das Leiras. Sobral, Ceará – 2006	105
FIGURA 4.6	- Leiras sob o modo positivo - Sobral, Ceará – 2006	107
FIGURA 4.7	- Leiras sob o modo negativo-Sobral, Ceará – 2006	107
FIGURA 4.8	- Leiras sob o modo híbrido - Sobral, Ceará – 2006	108
FIGURA 5.1	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 01P. Sobral -116 CE 2006.	
FIGURA 5.2	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 02P. Sobral - CE 2006.	117
FIGURA 5.3	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 03P. Sobral - CE 2006.	117
FIGURA 5.4	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 01N. Sobral - CE 2006.	118
FIGURA 5.5	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 02N. Sobral-CE 2006.	118
FIGURA 5.6	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 03N. Sobral-CE 2006.	119
FIGURA 5.7	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 01H. Sobral-CE 2006.	120
FIGURA 5.8	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 02H. Sobral-CE 2006.	120
FIGURA 5.9	- Variação da temperatura durante a fase ativa - LMTA 03H. Sobral-CE 2006.	121
FIGURA5. 10	- Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 01P. Sobral- CE 2006.	122
FIGURA 5.11	- Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 01N. Sobral- CE 2006.	123

FIGURA 5.12 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 01H. Sobral- CE 2006.	123
FIGURA 5.13 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 02P. Sobral- CE 2006.	124
FIGURA 5.14 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 02N. Sobral- CE 2006.	124
FIGURA 5.15 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 02H. Sobral- CE 2006.	125
FIGURA 5.16 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 03P. Sobral- CE 2006.	126
FIGURA 5.17 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 03N. Sobral- CE 2006.	126
FIGURA 5.18 - Variação da temperatura na fase de maturação - LMTA 03H. Sobral- CE 2006.	127
FIGURA 5.19 - Teor de umidade nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) durante a fase de degradação ativa em função do tempo	130
FIGURA 5.20 - Teor de umidade nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo	132
FIGURA 5.21 - Degradação da matéria orgânica nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) durante a fase de degradação ativa em função do tempo.	134
FIGURA 5.22 - Degradação da matéria orgânica nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo	136
FIGURA 5.23 - Carbono Total nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo	138
FIGURA 5.24 - Carbono Total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo	139
FIGURA 5.25 - Variação do pH em água nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo	141
FIGURA 5.26 - Variação do pH em CaCl ₂ nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo	143
FIGURA 5.27 - Variação do pH em água nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo	144

- FIGURA 5.28 - Variação do pH em CaCl_2 nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo 146
- FIGURA 5.29 - Variação do nitrogênio total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo 149
- FIGURA 5.30 - Variação do Nitrogênio Total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo 150
- FIGURA 5.31 - Variação do da relação C/N nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo 152
- FIGURA 5.32 - Variação da Relação C/N nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo 154
- FIGURA 5.33 - Variação dos coliformes totais nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo 1546
- FIGURA 5.34 - Variação dos coliformes fecais nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo 157

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

< - Menor que

> - Maior que

C – Carbono

C/N – Relação Carbono Nitrogênio

CaCl₂ – Cloreto de Cálcio

CEFETCE – Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará

cm – Centímetro

CO₂ – Dióxido de Carbono

Col/g⁻¹ – Coliformes por grama

COT – Carbono Orgânico Total

CRA – capacidade de retenção de água

Cu – Cobre

DN – Diâmetro Nominal

FATEC – Faculdade de Tecnologia CENTEC

Fe – Ferro

H₂O – Água

H₂SO₄ – Ácido Sulfúrico

kg/m³ - Quilogramas por metro cúbico

LESA – Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental.

L – Litro

m – Metro

M – molar

m³ - Metro Cúbico

mL – Mililitro

mm – Milímetro

MO – Matéria Orgânica

M P – Matéria-Prima

NBR – Norma Brasileira Revisada

N – Nitrogênio

NH₃ – Amônia Gasosa

NH₄ – Íon Amônio

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

O – Oxigênio

O₂ – Gás Oxigênio

°C – Graus Celsius

% - Porcentagem

pH – Potencial Hidrogeniônico

PMN – Pilha de Material Natural

PMT – Pilha de Material Triturado

PVC – Cloreto de Polivinila

Ton. – Tonelada

UFC – Universidade Federal do Ceará

UFV - Universidade Federal de Viçosa.

Zn – Zinco

RESUMO

Nesta pesquisa, objetivou-se avaliar o processo de compostagem utilizando-se matéria orgânica disponível no banco de mudas da cidade de Sobral - CE, (esterco equino e palhas de carnaúba) em três sistemas de aeração: com injeção de ar, sucção de ar e injeção e sucção ar em ciclo (híbrido), observando-se os parâmetros recomendados pela legislação brasileira vigente, durante as fases de degradação ativa e de maturação. O experimento foi instalado com três tratamentos, sendo um (01) sob o modo positivo; um (01) sob o modo negativo e um (01) sob o modo híbrido, obedecendo as proporções de 30% de esterco equino e 70% de palhas, para todos os tratamentos. Cada tratamento foi repetido 3 (três) vezes, perfazendo, assim, um total de 9 (nove) parcelas. Foi realizada a avaliação destes processos, tendo sido observadas, principalmente, a influência da aeração e da umidade no desempenho destas técnicas de tratamento, em leiras estáticas aeradas. Durante a fase ativa, as leiras sob o modo positivo apresentaram redução média de matéria orgânica de 26,55%, as leiras sob o modo negativo de 21,78%, enquanto que as leiras, sob o modo híbrido de 31,21%. Durante a fase de maturação, foram reviradas três leiras de cada sistema de aeração. A redução média da matéria orgânica das mesmas foi de 50,63%, em 50 dias; as demais apresentaram redução média de 39,54%, em 60 dias. Durante a fase ativa, as leiras operadas sob o modo positivo apresentaram, em média, redução de Carbono de 26,55%, no período de 40 dias; as leiras sob o modo negativo, de 21,78%, no período de 50 dias; e as leiras sob o modo híbrido de 31,21%, no período de 30 dias. Durante a fase de maturação, para as leiras que sofreram reviramento, a redução média de Carbono foi de 50,63%, no período de 50 dias, enquanto que as demais apresentaram uma redução média de 39,54%, no período de 60 dias. O pH se mostrou ácido no material e no início do processo de compostagem, em todas as leiras. Os resultados obtidos mostraram que os valores médios do índice pH foram aumentando de acordo com a degradação da matéria orgânica. Na fase de maturação, o pH permaneceu na faixa alcalina em todas as leiras. Durante fase ativa, o teor de nitrogênio cresceu, em média, 41,12% nas leiras sob o modo positivo, 54,21% nas leiras sob o modo negativo e 32,05% nas leiras sob o modo híbrido. Durante fase ativa, as leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram uma redução da relação C/N de 47,89%, em 40 dias; as leiras sob o modo negativo, de 44,35%, em 50 dias; e as leiras sob o modo híbrido, de 48,33%, em 30 dias. Pôde-se observar que a relação C/N final na fase de maturação das leiras que foram reviradas, apresentou valores médios na ordem de 10 a 15 no período de 50 dias. As leiras operacionalizadas sob o modo positivo também registraram valores dentro desta faixa, porém

no período de 60 dias, enquanto que as leiras operacionalizadas sob o modo negativo registraram valores médios superiores ao recomendado pela legislação, também no período de 60 dias. Observou-se que em todos os sistemas os Coliformes Totais e Fecais ou Termotolerantes foram diminuindo durante a fase de aeração (fase de degradação ativa). As leiras operacionalizadas sob o modo positivo registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $9,1 \times 10^8$ a $5,0 \times 10^3$ UFC. g^{-1} e de Coliformes Fecais da ordem de $6,2 \times 10^8$ a $3,1 \times 10^3$ UFC g^{-1} ; as leiras operacionalizadas sob o modo negativo registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $8,4 \times 10^8$ a $4,8 \times 10^3$ UFC. g^{-1} e de Coliformes Fecais da ordem de $6,1 \times 10^8$ a $3,5 \times 10^3$ UFC. g^{-1} ; e as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $9,2 \times 10^7$ a $4,1 \times 10^3$ UFC. g^{-1} e de Coliformes Fecais, da ordem de $5,2 \times 10^8$ a $3,2 \times 10^3$ UFC. g^{-1} . A temperatura foi o parâmetro utilizado para avaliar a eficiência do processo de compostagem, durante a fase ativa. O término da fase de maturação foi verificado por meio da relação C/N. A análise dos resultados obtidos para os parâmetros físicos, químicos, e microbiológicos nos três sistemas avaliados neste trabalho permite inferir sobre o desempenho satisfatório dos sistemas operacionalizados sob os modos positivo e híbrido. Com relação à aeração na primeira fase do processo, pode-se afirmar que seu efeito contribuiu satisfatoriamente, tanto na eliminação de patógenos como na diminuição do tempo de compostagem, acelerando a metabolização da matéria orgânica. De posse dos resultados das análises dos experimentos e interpretação dos dados, observou-se que o sistema híbrido proposto neste trabalho apresentou ser mais eficiente que os demais.

Palavras-chaves: compostagem, composto orgânico, leiras, aeração forçada.

ABSTRACT

In this research, it was aimed to evaluate the process of composting using the organic matter available at the bank of seedlings of the city of Sobral - CE, (horse manure and straw of carnauba) in three aeration systems: with injection of air, sucking of the air and injection and sucking in air cycle (hybrid), in compliance with the parameters recommended by Brazilian legislation in force, during the phases of active degradation and maturation. The experiment was installed with three treatments, one (01) under the positive way; one (01) under the negative way and one (01) under the hybrid way, following the proportions of 30% of horse manure and 70% of straw, for all treatments. Each treatment was repeated three (3) times, making, thus, a total of 9 (nine) parcels. It was conducted the evaluation of these processes, and it was observed mainly the influence of aeration and moisture in the performance of these techniques of treatment, on static. During the active phase, the under positive way they developed average reduction of organic matter of 26.55%, the under the negative way of 21.78%, while the, under the hybrid way of 31.21%. During the phase of maturation, it was turned three of each system of aeration. The reduction of organic matter of them was 50.63%, in 50 days; The other ones showed average reduction of 39.54%, in 60 days. During the active phase, the operated under the positive way had, on average, reduction of carbon of 26.55%, in the period of 40 days, the under the negative mode of 21.78%, in the period of 50 days, and the under the hybrid way of 31.21%, within 30 days. During the stage of maturity, for the that suffered of returning, the average reduction of carbon was 50.63%, in the period of 50 days, while the other ones showed an average decrease of 39.54%, in the period of 60 days. On all the, the pH developed in the material and in the beginning of the process of composting was acid. The results showed that the average pH was increasing according to the degradation of organic matter. At the stage of maturity, the pH remained in the alkaline range on all the. During the active phase, the content of nitrogen grown by an average of 41.12% on the under the positive way, 54.21% on the under the negative mode and 32.05% on the under the hybrid way. During the maturation, the content of nitrogen on all, regardless of the used method of aeration, presented quite different results. During active phase, the operated under the positive way showed a reduction of the C/N nitrogen of 47.89% in 40 days, the piles under the negative mode of 44.35% in 50 days; and piles under the hybrid way of 48.33%, in 30 days. It was observed that the C/N in the final stage of maturation of the that were returned, presented average values in the order of 10 to 15 in the period of 50 days. The under the operational way also recorded positive values within this range, but in the period of 60 days, while the

piles under the operational mode registered negative average above the recommended by the law, in the period of 60 days. It was observed that in all the systems the Total Coliform and the Fecal Coliform were decreasing during the aeration (active phase of degradation). The under the operational mode recorded positive values of Total Coliform in the order of $9,1 \times 10^8$ to $5,0 \times 10^3$ CFU.g⁻¹ and of Fecal Coliform of the order of $6,2 \times 10^8$ to $3,1 \times 10^3$ UFCg⁻¹, and the operational under the negative way registered values of Total Coliform in the order of $8,4 \times 10^8$ to $4,8 \times 10^3$ CFU.g⁻¹ and of Fecal Coliform in the order of $6,1 \times 10^8$ to $3,5 \times 10^3$ CFU.g⁻¹, and the piles under the hybrid way recorded values of Total Coliform in the order of $4,1$ to $9,2 \times 10^7$ and $\times 10^3$ CFU.g⁻¹ and of Fecal Coliform, in the order of $5,2 \times 10^8$ to $3,2 \times 10^3$ CFU.g⁻¹. The temperature was the factor used to evaluate the efficiency of the composting process, during the active phase. The end of the stage of maturity was verified by the C/N. The analysis of the results for the physical, chemical and microbiological systems in the three evaluated systems in this research were possible because of the satisfactory performance of the systems operated under the positive and hybrid ways. Regarding the aeration in the first phase of the trial, one can say that its effect contributed satisfactorily for the elimination of pathogens, such as decreasing the time of composting, accelerating the metabolism of organic matter. By the results of the analyses of the experiments and also the interpretation of the data, it was observed that the hybrid system of this research was more efficient than the others ones.

Keywords: composting, organic compound, forced aeration.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os resíduos sólidos urbanos se constituem em um dos maiores problemas da sociedade, visto que o volume produzido desses resíduos vem crescendo, e sua composição tem se modificado ao longo dos últimos anos. Isto tem criado uma necessidade de buscar-se novos conceitos sobre o assunto e alternativas para seu aproveitamento, considerando-se a proteção ambiental, o controle da poluição, a conservação de recursos naturais, a economia de energia e a saúde pública.

A geração crescente e diversificada de resíduos sólidos nos meios urbanos e a necessidade de disposição final dos mesmos alinham-se entre os mais sérios problemas ambientais enfrentados pelas sociedades nos dias atuais. Devido à grande produção de resíduos sólidos e à maior disponibilização dos serviços urbanos de limpeza pública e coleta, há maiores preocupações quanto ao seu destino final adequado. Os problemas ambientais causados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos afetam direta e indiretamente os seres humanos, observando-se a facilidade de proliferação de micro e macro-vetores de doenças, que fazem do lixo seu habitat natural.

Os resíduos sólidos podem e devem ser considerados como fontes de recursos para as comunidades, visto que o reaproveitamento, o reúso, a redução e a reciclagem dos mesmos são importantes e significativos no processo de gerenciamento, pois pelo seu potencial, passam a ser considerados como insumos nos processos de desenvolvimento educativo, social e econômico da população.

A fração de resíduos orgânicos é a maior das frações presentes nos resíduos sólidos urbanos, sendo, por outro lado, produzida em outras atividades, designadamente agropecuárias, agrícolas e industriais. Um dos métodos mais antigos e eficientes de aproveitamento dos resíduos orgânicos é a compostagem, por ser um processo de tratamento biológico aeróbio e controlado, que propicia a esterilização e humificação desses resíduos, gerando, como produto final, um adubo orgânico rico em nutrientes e de grande aplicabilidade para o melhoramento do solo e de diversas culturas.

De acordo com a literatura especializada, a compostagem é praticada desde a história antiga, porém, até recentemente, de forma empírica. Gregos, romanos e povos

orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para a sua fertilidade. No entanto, só a partir de 1920, com Alberto Howard, é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e aplicado de forma racional. Nas décadas seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, tão segura sob o ponto de vista social e biológico.

O processo de compostagem tem sido utilizado como alternativa para a disposição ambientalmente correta de resíduos oriundos de diferentes atividades agrícolas, agroindustriais, industriais e urbanas. Vitorino; Pereira Neto (1992) estudaram a compostabilidade dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira. Malheiros; Paula Júnior (1999) trabalharam com resíduos agroindustriais, como esterco bovino, torta de filtro e casca de pínus e resíduo de lã de carneiro. Kirchmann; Bernal (1997) confeccionaram pilhas de compostagem com injeção de ar, utilizando mistura de lodo de esgoto (46,5%) e resíduo de algodão (53,5%). Bernal *et al.* (1998) avaliaram parâmetros de maturação e estabilização de compostos preparados com resíduos de algodão. Decarli (1999) utilizou resíduos provenientes de abatedouros, constituídos de vísceras e descartes do abate de suínos e bovinos. Pauli (1999) estudou a compostagem de resíduos agroindustriais, incluindo caroço de algodão, e avaliando a produção de minhocas nesses substratos. Ausina *et al.* (2000) realizaram compostagem de materiais orgânicos (casca de café, fino de carvão vegetal, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho triturado) com água residuária da suinocultura. Silva *et al.* (2000) estudaram o processo de compostagem com carcaças de frango e cama de aviário. Tejada *et al.* (2001) avaliaram o processo de compostagem de resíduos provenientes do descaroçamento de algodão previamente moído ou não. Madejón *et al.* (2001) estudaram alguns parâmetros durante a compostagem do bagaço de uva e de resíduos do descaroçamento do algodão misturados com vinhoto. Leitão (2002) estudou a produção de composto orgânico utilizando folhas de cajueiro e de mangueira e esterco bovino em diferentes proporções, e Britto Jr (2003) estudou a produção de composto orgânico utilizando-se lodo de esgoto e folhagens. Costa *et al.* (2005a) estudaram a compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. Costa *et al.* (2006) avaliaram o desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves.

A literatura especializada tem registrado diferentes processos de compostagem, os quais, em quase sua totalidade, investigam a compostagem do lixo urbano. O sistema de compostagem utilizado neste trabalho é pautado nas definições citadas por Pereira Neto

(1989) e Kiehl (1998a), sendo, sobretudo, entendida como um processo biológico, aeróbio e controlado, desenvolvido em duas fases distintas: degradação ativa e maturação.

Considerando-se o grande percentual de resíduos orgânicos gerados nas áreas urbanas, o desperdício e a necessidade de uso desses materiais, associados às condições climáticas existentes, fez-se necessário buscar uma alternativa para o seu reaproveitamento por meio do processo de compostagem, visto que atende a vários objetivos sanitários, sociais e agrícolas.

Nesta pesquisa, objetivou-se avaliar o processo de compostagem utilizando-se matéria orgânica disponível no banco de mudas da cidade de Sobral – CE, (esterco equino e palhas de carnaúba) em três sistemas de aeração, com injeção de ar, sucção de ar e injeção e sucção ar em ciclo (híbrido), observando-se todos os parâmetros recomendados pela legislação brasileira vigente, por meio de testes de campo e por métodos de laboratório com o objetivo de se aplicar um sistema prático operacional que ofereça um composto eficiente, com baixo custo de produção.

O experimento do presente estudo foi instalado com três tratamentos, sendo 1 (um) sob o modo positivo¹; 1 (um) sob o modo negativo² e 1 (um) sob o modo híbrido³, envolvendo iguais proporções de esterco equino e palhas, para todos os tratamentos. Cada tratamento foi repetido 3 (três) vezes, perfazendo, assim, um total de 9 (nove) parcelas. Cada bloco foi formado por 3 (três) leiras, sendo 3 (três) sob o modo positivo; 3 (três) sob o modo negativo e 3 (três) sob o modo híbrido.

De acordo com Pereira Neto (1987) e Fistein (1984), nos sistemas de Leiras Estáticas Aeradas (modo positivo e negativo), as temperaturas mais altas são encontradas em áreas extremas da seção transversal das mesmas, ou seja, na base e no topo. Por meio desta observação, foi construído o sistema híbrido, utilizando-se uma combinação dos dois modos de aeração com a finalidade de manter-se toda a massa de compostagem sob temperaturas termofílicas uniformes e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do processo quanto à eliminação de organismos patogênicos e degradação da matéria orgânica.

⁽¹⁾.Modo Positivo – Injeção de Ar; ⁽²⁾.Modo Negativo: Sucção de Ar; ⁽³⁾.Modo Híbrido Injeção e Sucção de Ar, em Ciclo, a Cada Seis (6) Dias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Propor um método híbrido de aeração forçada com a finalidade de aumentar a eficiência do processo de compostagem de resíduos sólidos com relação à degradação da matéria orgânica e eliminação de organismos patogênicos.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho dos modos de aeração – positivo (injeção de ar), negativo (sucção de ar) e o sistema híbrido, alternando os modos positivo e negativo em ciclo a cada 6 (seis) dias;
- Avaliar a eficiência do processo híbrido (com injeção e sucção de ar) na compostagem e eliminação de organismos patogênicos;
- Analisar a otimização do processo híbrido por meio do monitoramento diário da temperatura;
- Avaliar a eficiência do processo híbrido no aumento da degradação da matéria orgânica com relação ao tempo de compostagem;
- Avaliar o comportamento dos parâmetros recomendados na legislação brasileira vigente (pH, matéria orgânica, carbono, nitrogênio e relação C/N), nos processos em estudo;
- Avaliar, em suas fases distintas, a degradação da matéria orgânica nos processos utilizados;
- Observar o comportamento das leiras de compostagem durante a fase de maturação com e sem reviramento por meio de parâmetros recomendados na legislação brasileira vigente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações Gerais

Os resíduos sólidos urbanos são problemas crescentes no mundo, principalmente nos grandes centros urbanos, em virtude dos problemas sanitários, ambientais, econômicos e sociais que causam. Diante deste quadro, surge a necessidade de um sistema de coleta e disposição final eficaz, que atenuar todos estes aspectos negativos relacionados aos resíduos sólidos.

Levando-se em conta o aumento populacional, a geração de resíduos sólidos resultantes das atividades do Homem em sociedade cresce em proporção equivalente, visto que estes resíduos sofrem a influência de vários fatores, tais como: população e número de residências.

Durante anos, vêm-se jogando centenas de toneladas de resíduos orgânicos em aterros sanitários, sem nenhuma preocupação. Não se percebe que esses aterros estão cada vez mais cheios. Deve-se observar que a capacidade dos aterros é limitada, e que os custos econômicos, sociais e ambientais de sua manutenção são crescentes. Os aterros estão sendo ocupados a velocidades alarmantes e em pouco tempo estarão com sua capacidade de armazenagem esgotada (CAMPBELL, 1995).

De acordo com Pereira Neto (1996), a abordagem técnica da questão dos resíduos sólidos urbanos preconiza a adoção de sistemas descentralizados, dentro de um planejamento integrado, e dá ênfase às ações de minimização para solucionar o problema. Uma dessas ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos. A reciclagem tanto pode ser aplicada aos resíduos inertes, como aos resíduos orgânicos. A forma mais eficiente de reciclagem de resíduos orgânicos é por intermédio de processo de compostagem.

O processo de compostagem visa a acelerar a decomposição do material orgânico, desde que se tenham condições ótimas para o desenvolvimento microbiano. Basicamente, a temperatura, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio e nutrientes são os fatores que mais interferem no processo de compostagem. De forma geral, todos os resíduos orgânicos,

de origem vegetal ou animal, podem ser submetidos ao processo de compostagem, sendo seu desempenho estabelecido pelas condições existentes no meio (COSTA *et al*, 2005a)

Pode-se dizer que a compostagem é um processo dinâmico, onde uma série de processos começa a ocorrer de forma simultânea, onde transformações químicas, físicas e biológicas atuam sobre a matéria orgânica crua ou não estabilizada, por um período diretamente proporcional ao esgotamento dos nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento dos microorganismos participantes do processo. (BAETA-HALL, 2002)

Segundo Lima (1991), o processo de compostagem foi muito utilizado na antiguidade, principalmente pelos orientais, que faziam uso intensivo de compostos orgânicos na produção de cereais. As técnicas empregadas eram artesanais e fundamentavam-se na formação de leiras ou montes de resíduos que ocasionalmente eram revolvidos. Após cessar o processo de fermentação, o composto resultante era incorporado ao solo, que favorecia o crescimento de vegetais.

As primeiras tentativas para sistematizar o processo de compostagem foram iniciadas em 1921, quando sir Albert Howard desenvolveu o processo Indore, na Índia, seguido por Giovanni Beccari, que, dois anos mais tarde, implantou um sistema que reduzia o período de fermentação de 180 para 40 dias. Em 1929, o sistema de Beccari foi modificado por um francês, Jean Bordoim, e, em 1922, Van Manhen, na Holanda, propôs a modificação do sistema de Albert. A partir de então, surgiram inúmeros processos, dentre eles: Dumfries, Windrow, Dano, Frazer-Eweson, Riker, Jersey, Earp-Thomas, Triga Kneen, Prat e Nusoil (LIMA, 1991).

No Brasil, onde os resíduos sólidos urbanos representam uma média aproximada de 50% de resíduos orgânicos, compostos de sobras de alimentos, galhos, frutas, legumes, esses conceitos de gestão tornam-se ainda mais necessários conforme esclarece Lima (2001). Toda essa massa heterogênea de resíduos orgânicos pode ser tratada e transformada em fertilizante orgânico (húmus), por meio dos processos de compostagem, que é um processo de biodegradação e consequente humificação de compostos orgânicos. O produto final da compostagem é chamado de composto, fertilizante orgânico ou composto orgânico (COSTA *et al*, 1989).

À medida que se reavalia a sociedade de desperdício, a compostagem passa a ter um interesse mais acentuado, pois é uma alternativa mais econômica e poupadora de espaço, para o destino final dos resíduos, oferecendo ao agricultor, em geral, uma inestimável fonte de nutrientes para o solo (PEREIRA NETO, 1996).

As características tropicais do país, associadas à grande produção diária de resíduos orgânicos nas comunidades brasileiras, fazem da compostagem um dos processos com grande viabilidade de uso e flexibilidade em escala operacional. A técnica de compostagem é simples e pode ser desenvolvida por qualquer técnico, desde que devidamente treinado (PEREIRA NETO, 1994a).

A compostagem dos resíduos urbanos, segundo vários autores (Biddlestone *et al*, 1991; Nóbrega; Pereira Neto, 1990) é um tratamento eficaz, pois, além de aproveitar os materiais inertes (metais, vidros, plásticos, etc), recicla também os macro e micro-nutrientes contidos na fração orgânica do lixo, gerando como produto final um adubo orgânico para uso na agricultura, no controle de erosão, em reflorestamento, parques, jardins, etc.

De acordo com Pereira Neto (1989), o material a ser compostado deve ter partículas com diâmetro de 10 a 35 mm, umidade em torno de 55%, concentração adequada de nutrientes e uma relação C/N próximo de 30:1. É desejável, ainda, que a quantidade de inertes no material a ser compostado ou no adubo seja a menor possível, pois a densidade média da matéria orgânica na base seca é de 0,4 a 0,6 g/cm³, enquanto a densidade dos inertes varia de 1,6 a 1,8 g/cm³.

Silva (2000) afirma que a compostagem tem como função eliminar metade do problema dos resíduos sólidos urbanos, dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterro e melhorando a estrutura do solo, devolvendo à terra os nutrientes de que necessita, aumentando a sua capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos. Este processo permite tratar os resíduos orgânicos domésticos (restos de comida e resíduos de jardim) bem como os resíduos provenientes da limpeza de jardins e parques públicos.

O composto produzido a partir dos resíduos orgânicos não representa, necessariamente, uma solução final para os problemas de escassez de alimentos ou de

saneamento ambiental, mas pode contribuir significativamente como um elemento redutor dos danos causados pela disposição desordenada do lixo no meio urbano, além de propiciar a recuperação de solos agrícolas exauridos pela ação de fertilizantes químicos aplicados indevidamente (LIMA, 1991).

Existem vantagens e desvantagens no processo de compostagem. Entre as vantagens, pode-se citar a possibilidade de reciclagem dos resíduos sólidos, a recuperação de matéria-prima, a disposição dos rejeitos em aterros e, ainda, a pouca mão-de-obra especializada requisitada para o funcionamento. Entre as desvantagens, pode-se dizer que é um método de disposição parcial necessitando de instalações complementares, como o aterro (SCHALCH *et al*, 1995).

A compostagem dos resíduos sólidos gera impactos positivos e negativos que são importantes para o conhecimento dos executores de qualquer projeto para que sejam assegurados a melhoria nas condições de saneamento, a preservação do meio ambiente e os benefícios à população envolvida com o processo (VAILATI, 1998).

Para Figueiredo (2001), os impactos ambientais da compostagem constituem-se na redução dos resíduos sólidos orgânicos de origem animal e vegetal que deixam de gerar gases e maus odores, líquidos percolados, de atrair animais vetores como os ratos, baratas e moscas, que se alimentam dos restos orgânicos, vivem e proliferam-se neles e são normalmente vetores de doenças humanas, como: tifo, leptospirose, peste bubônica, diarreias infantis e outras igualmente perigosas. Por meio da compostagem, os resíduos orgânicos são decompostos, tornando disponíveis os nutrientes para as plantas. Dessa forma, a agricultura está dando ênfase ao aproveitamento e à preservação dos recursos naturais provenientes da sua atividade, ou seja, está utilizando melhor os recursos próprios, principalmente os resíduos orgânicos provenientes das atividades agropecuárias e agroindustriais.

3.2. Por que compostar?

De acordo com Campbell (1995), a técnica de compostagem foi desenvolvida com a finalidade de obter-se mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica. Na natureza, essa estabilização ou humificação dos restos orgânicos se dá em prazo indeterminado, ocorrendo de acordo com as condições em que ela se encontra. No processo

de compostagem, os restos orgânicos se decompõem em menor tempo, produzindo um melhor adubo orgânico, oferecendo ao horticultor uma fonte de nutrientes para o solo. É desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos e envolve duas fases distintas: degradação ativa e maturação ou cura do composto (KIEHL, 1998 b).

Para Kiehl (1998a), a compostagem tem a função de transformar material orgânico em substância humificada, estabilizada com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

Segundo Barrington *et al.* (2002) a compostagem é um dos poucos processos naturais, de estabilização de resíduos orgânicos. Os autores afirmaram que este processo destrói parasitas, patogênicos contidos nos resíduos, reduz consideravelmente as emissões de gases com maus odores, e finalmente seca os resíduos, tornando-os não atrativos aos insetos.

Segundo JUNKES (2002), na agricultura ecológica, a compostagem tem como objetivo transformar matéria vegetal muito fibrosa como capim já “passado”, sabugo de milho, palha de cereais, casca de café e arroz, em dois tipos de compostos: incorporação e cobertura de solo.

A compostagem é uma prática muito antiga, sendo, talvez, o mais antigo sistema biológico utilizado pelo Homem (CAMPBELL, 1995). No Brasil, a compostagem em sua concepção moderna ainda é pouco aplicada, embora se apresente como uma das melhores soluções para a utilização de resíduos orgânicos de várias fontes diferentes como afirma Pereira Neto (1999b).

Uma das grandes vantagens da compostagem é poder ser desenvolvida em sistemas simplificados e de baixo custo, e não requerer mão-de-obra qualificada, além da possibilidade do composto ser utilizado de várias maneiras em hortas e jardins (PEREIRA NETO, 1994b).

O composto é, acima de tudo, um condicionador do solo, assim classificado pelo fato de sua matéria orgânica humificada estar em maior proporção, e que corresponde a 40 a 70% (SCHALCH *et al.*, 1995).

O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos (Kiehl, 1985). Posteriormente, o mesmo autor denomina como húmus o produto final da compostagem, que é considerado um condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. A legislação brasileira, todavia, classifica tais materiais como fertilizantes orgânicos (Kiehl, 1998a).

O composto funciona também como inoculante para o solo, aumentando-lhe a fauna e flora, a exemplo de minhocas, insetos, fungos e bactérias que são formadores naturais de solo. Pode, também, neutralizar várias toxinas e metais pesados, tais como: cádmio e chumbo, por meio da formação de quelados, de tal modo que estas formas tóxicas não possam mais ser absorvidas pelas plantas, segundo Kiehl (1985).

Segundo KIEHL (1993), como resultado da compostagem, são gerados dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. O composto contém nutrientes de que as plantas necessitam para um ótimo crescimento, tais como nitrogênio, fósforo e potássio. É também um bom fornecedor de micronutrientes, tais como boro, cobalto, cobre, iodo, ferro e zinco, que são necessários em pequenas quantidades (CAMPBELL, 1991).

Como processo biológico, a compostagem requer condições especiais, particularmente de temperatura, de umidade, de aeração, de pH e de relação C/N, nos diversos estágios do processo. A degradação biológica da matéria orgânica é acompanhada principalmente pela elevação da temperatura na massa de resíduos, de cada grupo de organismos atuantes, tendo uma faixa ótima de temperatura para o seu metabolismo. Assim, a temperatura apresenta-se como um dos fatores principais do desempenho da compostagem e é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico na massa em decomposição, refletindo a eficiência do processo (PEREIRA NETO; CUNHA, 1995).

A moderna prática da compostagem é um pouco mais do que acelerar e intensificar processos naturais. Basicamente, o composto curado nada mais é do que matéria orgânica tratada ou pré-digerida (apodrecida), que normalmente sofreu um processo natural de aquecimento e é um material valioso para ser incorporado ao solo de uma área de cultivo (NÓBREGA, 1991).

O tempo necessário para a compostagem de resíduos orgânicos está associado aos fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A compostagem natural demanda um tempo de dois a três meses para atingir a bioestabilização e de três a quatro meses para a humificação. Pelo método acelerado, a semicura é atingida entre 45 e 60 dias. Essa diferença deve-se basicamente à duração da fase termófila no processo acelerado, que é reduzida de algumas semanas para um período de 2 a 4 dias (LELIS; PEREIRA NETO, 2002)

A compostagem é um processo de tratamento e, portanto, deve gerar como produto final, um material estabilizado e seguro para o uso. Vale ressaltar que a compostagem só se propõe a tratar resíduos orgânicos e que os sistemas existentes não visam a gerar lucros financeiros (PEREIRA NETO, 1990).

Quanto aos impactos econômicos, como afirma IPT-CEMPRE (2000), no contexto brasileiro, a compostagem tem grande importância, uma vez que cerca de 50% do lixo municipal é constituído por material orgânico.

As principais vantagens da compostagem no âmbito econômico são as reduções nos investimentos para a instalação dos aterros sanitários causados pela diminuição da quantidade de resíduos sólidos, o aproveitamento agrícola da matéria orgânica, a reciclagem de nutrientes para o solo reduzindo os custos da produção agrícola, a economia de tratamento de efluentes. (p.93)

A busca por uma alternativa de vida saudável tem provocado uma maior procura pelos alimentos produzidos sem o uso de agrotóxicos. Segundo JUNKES (2002), em razão disso, abre-se um mercado cada vez maior para os produtos orgânicos, inclusive para exportação. Muitas instituições públicas e bancos privados estão atentos para estas tendências.

Segundo Kiehl (1998a), uma maneira de estabelecer o valor do composto orgânico se baseia no conteúdo em matéria orgânica utilizando-se como referência os preços de seus concorrentes e os esterco de curral ou de granja. Uma outra maneira que tem sido proposta para essa finalidade baseia-se no conteúdo de macronutrientes primários (NPK – Nitrogênio-Fósforo-Potássio) contidos no fertilizante mineral e no composto. Para efeito de comparação, foi adotada a fórmula “NPK 12-6-6”, que representa uma fórmula comercial que mantém proporcionalidade com os valores médios observados para os teores correspondentes nas amostras de composto orgânico. Considerando-se as relações entre os conteúdos destes

nutrientes presentes no composto orgânico e no fertilizante comercial, a equivalência de massa média é de 17:1.

Os impactos sociais envolvem a população que passa a conscientizar-se do seu poder e dever de separar o lixo, contribuindo assim mais ativamente com os programas ambientais e do recolhimento de resíduos sólidos orgânicos para a compostagem, sabendo que terá como adquirir fertilizante orgânico para sua horta e para o seu jardim a custo reduzido (WAGNER, 2000),

3.3. Conceitos sobre compostagem

“A compostagem é definida como sendo um processo biológico aeróbio e controlado de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus” (PEREIRA NETO, 1989).

“Entende-se por compostagem a decomposição e estabilização biológica do substrato orgânico, sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, como resultado da produção biológica de calor, no sentido de obter um produto final estável, livre de organismos patogênicos e sementes de plantas, e que possa ser aplicado beneficemente à terra”. (HAUG, 1993).

“Define-se compostagem 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 pelas seguintes fases: uma inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru, 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” (KIEHL, 1998a).

De acordo com o IBAM (2001, p124),

A compostagem é o processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos encontrados em restos animais e vegetais que ocorre pela ação de microrganismos, em condições adequadas de temperatura, aeração e umidade. O composto, formado por estes restos, é o produto final do processo, e seu uso é recomendado para adubo orgânico e condicionador de solo.

A compostagem é um processo de decomposição oxidativo biológico aeróbio e controlado de transformação de resíduos orgânicos em produto estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. É normalmente realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similar à triangular, denominados leiras de compostagem (BIDONE; POVINELLI, 1999; TEIXEIRA *et al.*, 2000).

A compostagem é um processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizando-se pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES & SILVA, 1999).

A compostagem pode ser também definida, simplesmente, como um processo de transformação de resíduos orgânicos em adubo humificado, em que, segundo Schalch *et al.* (2002), essa transformação é composta por dois estágios: o primeiro é denominado digestão, e corresponde à fase inicial da fermentação, na qual o material alcança o estado de bioestabilização e a decomposição ainda não se completou. “Porém, quando bem caracterizada, a digestão permite que se use o composto como adubo, sem risco de causar danos às plantas”. O segundo estágio é o da maturação, no qual a massa em fermentação atinge a humificação, que apresenta condições como melhorador do solo e fertilizante.

Por outro lado, Lima (2002) também define compostagem como o ato de transformar o resíduo orgânico, por meio de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras.

Segundo Centro de Demonstração de Compostagem (2005), em termos científicos, a compostagem pode ser definida como sendo uma decomposição aeróbia de substratos orgânicos em condições que permitam atingir temperaturas suficientemente elevadas.

De acordo com o IPT - CEMPRE (2000), a compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida nos restos de origem animal ou

vegetal. Este processo tem como resultado final um produto (o composto orgânico) que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao ambiente.

Na visão da CEMPRE (2001), a compostagem é o resultado da decomposição biológica, por meio da ação controlada de microrganismos, da matéria orgânica (sobras de frutas e legumes, podas de grama, palha, serragem, resíduos orgânicos industriais e agroindustriais e restos de alimentos) em presença de oxigênio, tendo como produto final o composto, com desprendimento de gás carbônico, calor e vapor d'água reduzindo o peso e o volume do material inicialmente tratado, que foi degradado durante o processo de compostagem.

Para Teixeira (2000) *apud* Feitosa (2005), além de ser considerado um método de tratamento, a compostagem também pode ser entendida como um processo de reciclagem do material orgânico presente no resíduo sólido.

Para Mansur (1993), a compostagem é um processo de transformação da matéria orgânica do resíduo sólido em um composto orgânico estabilizado. Isso acontece pela ação de micro-organismos existentes no próprio resíduo, que vão decompondo a matéria orgânica mais complexa em produtos finais mais simples.

O produto final é denominado composto, que provém de restos, resíduos de animais e vegetais. Estes resíduos em seu estado natural não possuem valor algum para a produção agrícola; no entanto, após passar pelo processo da compostagem, podem transformar-se em um ótimo adubo orgânico (SCHALCH *et al.*, 2002).

De acordo com Kiehl (1985), o composto é um fertilizante orgânico, pois possui muitos nutrientes e minerais (provenientes da matéria orgânica), essenciais para o desenvolvimento das plantas, particularmente macronutrientes, como: o Nitrogênio (N), o Fósforo (P), o Potássio (K) e o Cálcio (Ca). Outro benefício do composto para o solo, segundo a mesma autora, é que o composto tem propriedades de condicionador do solo, ou seja, ele regulariza a estrutura da terra e otimiza a sua propriedade quando aplicado em solos pobres, auxiliando também, na sua capacidade de retenção da umidade, facilitando a aeração, a drenagem entre outras características que fazem com que sejam criadas condições ótimas para crescimento das raízes.

A compostagem, afirma Campbell (1995), é uma técnica praticada pelos agricultores e jardineiros ao longo dos séculos. Restos de vegetais, estrume, restos de cozinha e outros tipos de resíduos orgânicos são amontoados em pilhas em local conveniente e deixados decompondo-se até estarem prontos para serem devolvidos ao solo ou até que o agricultor necessite melhorar a fertilidade do solo.

Fernandes (1999) define compostagem como uma biooxidação exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

A compostagem é entendida como um processo biológico, sendo indiscutível a necessidade de controle dos parâmetros intervenientes no processo, que tem como objetivo maximizar a degradação e propiciar a eliminação de possíveis patógenos (BÜTTENBENDER, 2004).

Para Francisco Neto (1995) *apud* Junkes (2002, p. 37):

A compostagem é o processo de transformação de materiais grosseiros como palhas e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica promovidas por milhões de organismos do solo que tem na matéria orgânica *in natura*, sua fonte de energia, de nutrientes minerais e carbono.

Observando-se as definições propostas por Kiehl (1985) e Pereira Neto (1989), pode-se concluir que a compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material inicial.

Segundo Pereira Neto *et al* (1989), a compostagem deve ser desenvolvida em duas fases distintas: a primeira, a fase ativa, quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas; e a segunda, a fase de maturação, em que ocorre a humificação do material previamente estabilizado.

A compostagem moderna, objeto de estudo deste trabalho, é pautada nas definições de Nóbrega (1991), Kiehl (1998a) e Pereira Neto (1996), sendo, sobretudo, entendida como um processo biológico, aeróbio, controlado, termofílico, desenvolvido em

duas fases distintas: degradação ativa e maturação, por sucessões de colônias mistas de microrganismos.

Composto orgânico ou fertilizante orgânico (termo adotado na legislação brasileira), “é a denominação genérica dada ao fertilizante orgânico resultante do processo de compostagem” (LIMA, 1991).

O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos (KIEHL, 1985). Posteriormente Kiehl (1998a) denomina como húmus o produto final da compostagem, que é considerado um condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. A legislação brasileira, todavia, classifica tais materiais como fertilizantes orgânicos.

3.4. Classificação dos processos de compostagem

O Processo de compostagem possui diversas formas de classificação, que podem variar quanto à temperatura, ao ambiente onde é aplicado o processo, à presença e/ou ausência de oxigênio (LIMA, 2004).

De acordo com Golueke (1977), Cardenas (1980) e Pereira Neto (1987), o processo de compostagem pode ser classificado por meio dos seguintes parâmetros:

3.4.1. Modo de aeração

De acordo com o tipo de aeração, os métodos de compostagem podem ser: aeróbios e anaeróbios, conforme PINTO *et al* (1979), KIEHL (1985), MANSUR (1993), MONTEIRO (1999) e TEIXEIRA (2000)

Para Lima (2004), o processo aeróbio é caracterizado pela presença do ar no interior da massa dos resíduos compostáveis. Neste processo, a temperatura da massa em decomposição é sempre elevada, havendo também o desprendimento de gases (CO₂) e de vapor d'água; enquanto que o processo anaeróbio é caracterizado pela ausência do ar, pelas baixas temperaturas e pelo desprendimento de gases como o metano, o gás sulfídrico entre outros, além de propiciar a formação de chorume.

Segundo Mansur (1993), as substâncias resultantes da decomposição por via aeróbia são: gás carbônico (CO_2); água (H_2O); e produtos finais oxidados (nitratos, sulfatos, etc...), havendo uma grande liberação de energia sob a forma de calor durante o processo, enquanto que, na compostagem anaeróbia, além de gás carbônico e água, são produzidos metano (CH_4), amônia (CH_3) e produtos finais parcialmente reduzidos (aldeídos, alcoóis, etc...), ocorrendo uma liberação de energia, durante a decomposição, em intensidade menor que na compostagem aeróbia.

A recuperação energética será função do tipo de compostagem praticada: aeróbia ou anaeróbia. Na compostagem aeróbia, a recuperação energética dá-se, como na reciclagem, em termos da recuperação da energia contida nos resíduos e passada para o composto, o qual será utilizado como condicionador de solos. Na compostagem anaeróbia, a recuperação energética será a mesma dos reatores anaeróbios e do aterro sanitário: por meio do aproveitamento do biogás (TEIXEIRA, 2000).

O Estado do Ceará, no ano de 2007, realizou estudo sobre a possibilidade para reaproveitamento de gás de aterro sanitário em municípios cearenses, conforme Cabral e Santos (2007). O mencionado reaproveitamento de gás deve ocorrer no município de Sobral – CE, uma vez que há viabilidade técnica e ambiental para ocorrer tal procedimento.

Pinto *et al* (1979) e Kiehl (1998b) afirmam que, na compostagem anaeróbia, a fermentação é realizada por microrganismos que vivem em ambientes isentos de oxigênio e não é observada a elevação da temperatura, havendo desprendimento de gases como o metano e gás sulfídrico, responsáveis pela emanação de odores; enquanto que na compostagem aeróbia o oxigênio é encontrado na massa compostagem, a temperatura é elevada e há desprendimento de calor e vapor d'água.

Segundo Monteiro (1999), nos processos de compostagem aeróbio e anaeróbio, em função da massa dos resíduos estar ou não em presença de oxigênio, pode-se observar:

b) Compostagem aeróbia:

Matéria orgânica + microrganismos (bactérias, patogênicos, fungos e actinomicetos) + O₂
 → CO₂ + H₂O + produtos finais oxigenados (NO₃, SO₄, etc.) + microrganismos

c) Compostagem anaeróbia

Matéria orgânica + microrganismos (bactérias, patogênicos, fungos e actinomicetos) →
 CO₂ + H₂O + CH₄ + NH₃ + produtos finais reduzidos (H₂S, ácidos graxos, aldeídos,
 álcoois,etc.) + microrganismos

Nesse sentido, é importante ressaltar que o processo aeróbio vem sendo utilizado com mais frequência, pelos seguintes motivos: ausência de odores e incômodos; menor custo no beneficiamento e na produção do composto orgânico, além da redução de cerca de 50% do peso e volume dos resíduos a serem aterrados. O processo anaeróbio é pouco utilizado comercialmente, devido à possibilidade de produção de ácidos graxos, aldeído, álcoois, ácido sulfídrico, etc (MONTEIRO, 1999).

3.4.2. Temperatura

Conforme Kiehl (1998a), os processos de compostagem, de acordo com a temperatura, podem ser classificados em mesofílicos e termofílicos. A fase mesofílica é a fase inicial, em que se processa com uma temperatura próxima à do ambiente, variando de 45 a 55°C, e a fase termofílica é a que se processa numa temperatura entre 55 a 65°C

Para Golueke (1976), na fase mesófila, as bactérias são mais eficientes do que na fase termófila, decompondo mais rapidamente o composto. Entretanto, na fase termófila, os microrganismos patogênicos e as sementes de ervas daninhas são eliminados com maior segurança. Inversamente, Waksman *et. al.* (1989), bem como Snell (1991), são de opinião que a decomposição termófila é mais rápida que a mesófila.

3.4.3. Tipo de Ambiente

Com relação ao ambiente, a compostagem se classifica em sistemas abertos e sistemas fechados (KIEHL, 1985).

De acordo com o mesmo autor, os sistemas de compostagem fechados são aqueles onde os materiais a serem compostados são colocados em digestores, em forma de tambores rotativos, tanques, silos ou células, todos com revolvedores mecânicos para movimentação e aeração da matéria orgânica; e os sistemas abertos são aqueles onde os materiais a serem compostados são colocados em montes, pilhas ou leiras de compostagem.

3.5. Microbiologia do processo de compostagem

Como um processo biológico, a compostagem dá-se pelo trabalho dos microrganismos que participam do mesmo. É influenciada por todos os fatores que afetam sua atividade (KIEHL, 1998b).

Os microrganismos que participam mais ativamente do processo são os aeróbios e os facultativos, que predominam nas faixas de temperatura de 20°C a 45°C; os mesófilos, e de 45°C a 65o C; os termófilos; os psicrofilos, ativos à temperaturas entre 10°C a 25°C, têm menor importância. Esses microrganismos, exotérmicos, liberam energia na forma de calor. Isto explica o aquecimento natural das pilhas/leiras de compostagem, e justifica a importância do controle térmico do processo. Com este controle, evita-se que temperaturas muito elevadas venham a eliminar a massa biológica responsável pela estabilização do material em processamento. Na medida em que escasseiam os materiais mais facilmente decomponíveis, o processo diminui em intensidade, até cessar, com o retorno às condições ambientais de temperatura, com o material bruto já transformado em húmus (BIDONE; POVINELLI, 1999).

De acordo com Pereira Neto (1980), os principais microrganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus são as bactérias, os fungos e os actinomicetos. Assim, favorecer e garantir as condições ambientais dos microrganismos na leira é favorecer a decomposição da matéria orgânica, ou seja, garantir uma satisfatória eficiência do processo.

A transformação biológica da matéria orgânica crua biodegradável ao estado de matéria orgânica humificada dá-se pelo trabalho dos microrganismos que participam do processo; sendo assim, é influenciada por todos os fatores que afetam a atividade dos mesmos. Os principais microrganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (Bidone e Povinelli, 1999). Segundo Kiehl (1998a), na degradação da matéria orgânica também participam outros organismos como: algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas.

Na decomposição aeróbia, as proteínas são primeiramente hidrolisadas por enzimas proteolíticas produzidas pelos microrganismos, gerando polipeptídios, aminoácidos e outros derivados nitrogenados, os quais podem ser utilizados por outros microrganismos; o nitrogênio orgânico é convertido à forma amoniacal, sendo a quantidade produzida função do teor de proteína, de carboidratos e de outros constituintes de menor importância (KIEHL, 1985).

De acordo com Kiehl (1998b), no início da decomposição da matéria orgânica, na etapa mesófila (40 a 50°C) predominam as bactérias e fungos produtores de ácidos orgânicos e de pequenas quantidades de ácidos minerais e com a elevação da temperatura (fase termófila). A população dominante será de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. Isto ocorrerá, principalmente, em virtude da disponibilidade de oxigênio.

A etapa de humificação do composto é conduzida por microrganismos específicos que sintetizam os polímeros complexos criando substratos para futuras atividades biológicas (SHARMA *et al.*, 1997).

Para Goldstein (1987) *apud* Devens (1995), a predominância dos microrganismos é influenciada, principalmente, pelos parâmetros: substâncias químicas da matéria que está sendo digerida com maior intensidade, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, relação C/N, pH e temperatura.

Albert Horward *apud* Campbell (1991) afirma que os microrganismos são os agentes que fazem o composto e não os seres humanos, ou seja, sem microrganismos não haverá decomposição, e os elementos vitais que estão associados à matéria orgânica nunca se tornariam disponíveis.

Segundo Campbell (1995), todo material orgânico não compostado, tanto o deixado para ser decomposto por si próprio, como o colocado em uma composteira, está em forma bruta e contém substâncias que permitem as plantas crescerem. Porém, estas substâncias estão em uma forma indisponível para as plantas, por isso é que se necessita do trabalho das bactérias e dos fungos, a fim de que essas substâncias retidas nos tecidos animais e vegetais possam ser liberadas.

Os microrganismos aumentam a fertilidade do solo pela conversão (fixação) do nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados, utilizados pelas plantas na síntese de proteínas. Convertem as substâncias orgânicas em compostos inorgânicos, tornando-os úteis para os vegetais (PELCZAR *et al.*, 1980).

Kiehl (1985) afirma que, em sistema de compostagem bem arejado, os principais organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, as bactérias, os fungos e os actinomicetos, multiplicam-se espantosamente em toda a massa.

Para que os microrganismos cresçam e se multipliquem, são necessárias quatro condições básicas: uma fonte de energia, ou carbono, uma fonte de proteína ou nitrogênio, umidade e oxigênio (KIEHL, 1998b).

a) Carbono: é a fonte de energia para os microrganismos que estão em sua pilha de composto. Basicamente, são materiais secos e fibrosos de plantas, como folhas, palhas e serragens (CAMPBELL, 1995);

b) Nitrogênio: material rico em nitrogênio que venha fornecer as proteínas de que os microrganismos necessitam para decompor as fontes de carbono. Os materiais ricos em nitrogênio são considerados como ativadores da pilha de composto, pois fazem com que esse material quente como é o caso do esterco e das aparas de grama (PEREIRA NETO, 1996);

c) Oxigênio: é exigido por muitos microrganismos, principalmente pelas bactérias aeróbias. Quando o suprimento de oxigênio não é suficiente, os microrganismos aeróbios não podem sobreviver, então os anaeróbios sobrevivem, diminuindo até 90% a velocidade de decomposição (KIEHL, 1998a).

Os microrganismos aeróbios podem ser mais úteis para o processo de compostagem que os anaeróbios. À medida que o grupo de microrganismos aeróbios degrada os compostos de carbono em gás e água, também produzem uma quantidade grande de energia, que pode ser utilizada para crescerem mais rápido e degradarem mais matéria orgânica, quando comparados aos anaeróbios (TEIXEIRA, 2000).

d) Umidade: pouca umidade diminui a decomposição; muita umidade diminui o espaço disponível para o oxigênio, sufocando os microrganismos mais eficientes. A ideal está em torno de 55% (BIDONE; POVINELLI, 1999).

No início da decomposição, na fase mesófila (40 a 50%), predominam as bactérias e fungos produtores de ácidos orgânicos e de pequenas quantidades de ácidos minerais. Os actinomicetos geralmente só agem na decomposição da matéria orgânica em um estágio mais avançado (KIEHL, 1998a).

3.5.1 Bactérias

Para Devens (1995), as características mais marcantes das bactérias para o processo de compostagem são: exigências nutritivas, condições físicas necessárias ao crescimento e reprodução.

Todas as formas de vida, dos micro-organismos aos seres humanos, necessitam de substâncias químicas para o seu crescimento. As bactérias absorvem P, N, Mn, Fe, Zn, Cu e outros elementos de substâncias orgânicas, podendo ainda o N ser retirado da atmosfera (PELCZAR *et al*, 1980)

Uma vez que todos os processos de crescimento dependem de reações químicas e que essas reações são influenciadas pela temperatura, o crescimento bacteriano pode ser profundamente afetado por esta condição, DEVENS (1995).

Quanto às exigências atmosféricas, o oxigênio e o dióxido de carbono são os principais gases que afetam o crescimento bacteriano. As bactérias, em relação à resposta ao oxigênio livre, são divididas em quatro grupos (PELCZAR *et al.*, 1981):

- bactérias aeróbias: crescem na presença de oxigênio livre;
- bactérias anaeróbias: crescem na ausência de oxigênio livre;
- bactérias anaeróbias facultativas: crescem tanto na presença como na ausência de oxigênio livre;
- bactérias microaerófilas: crescem na presença de pequenas quantidades de oxigênio livre

Kiehl (1985) relata que a função das bactérias pode ser resumida nas seguintes atividades: decompor a matéria orgânica (animal ou vegetal); aumentar a disponibilidade de nutrientes; agregar partículas no solo e fixar o nitrogênio.

Para Campbell (1991), existem milhares de diferentes tipos de bactérias que atuam em uma pilha de compostos; os principais grupos são: Criófilas, Mesófilas e Termófilas.

3.5.1.1. Criófilas

Segundo Alexander (1977), os primeiros microrganismos que invadem uma pilha de composto a baixas temperaturas são as bactérias do grupo das criófilas. Elas são mais eficientes em temperaturas próximas a 15°C. Atacam a matéria orgânica e começam a liberar nutrientes na forma de aminoácidos.

Quando estes microrganismos começam a digerir os compostos de carbono, este carbono é literalmente queimado ou oxidado. Parte da energia proveniente da oxidação é liberada na forma de calor, e não desempenha nenhum papel importante na decomposição da matéria orgânica. Um aumento na temperatura causará a introdução de linhagens de microrganismos que crescem com maior eficiência em condições de temperatura mais elevadas (KIEHL, 1998b).

3.5.1.2. Mesófilas

A segunda invasão de microrganismos é feita por uma categoria de bactérias chamadas mesófilas. A maior parte do processo de decomposição que ocorre em uma pilha de composto é feita por este grupo de bactérias, que são mais eficientes em temperaturas na faixa

de 25 a 40°C e decompõem açúcares e proteínas mais simples que resultam em produção de ácidos (KIEHL, 1998b).

3.5.1.3. Termófilas

À medida que as bactérias mesófilas atuam, elas vão produzindo um excesso de calor que altera as condições ambientais, prejudicando seu próprio desenvolvimento (KIEHL, 1985)

Segundo Golueke; Diaz (1987), o ponto que separa a atividade das mesófilas e das termófilas, habitualmente aceito, está em torno de 45°C. Neste ponto, as bactérias termófilas passam a dominar e aumentar a temperatura para valores próximos a 70°C, quando a mesma se torna estável.

3.5.2. Fungos

Os fungos são organismos heterotróficos, que obtêm sua alimentação a partir da matéria orgânica inanimada ou nutrindo-se como parasitas de hospedeiros vivos. Como saprófitas, decompõem resíduos complexos de plantas e animais, transformando-os em formas químicas mais simples, que retornam ao solo (PELCZAR *et al.*, 1980).

Definem-se fungos como organismos filamentosos, cujos filamentos são maiores que as bactérias, heterotróficos, que se desenvolvem em uma ampla faixa de pH (2 a 9) (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Segundo Kiehl (1985), os fungos são responsáveis pela decomposição da celulose, da lignina e de outros compostos mais resistentes, que são atacados após a digestão de materiais facilmente degradados pelas bactérias decompositoras.

3.5.3. Actinomicetos

Alexander (1977) define os actinomicetos como microrganismos que produzem filamentos finos e se desenvolvem dentro de um micélio e vivem sob temperaturas medianas ou na parte da pilha em que o calor é moderado.

Os actinomicetos predominam na última fase do processo de compostagem e são responsáveis pela degradação da celulose, decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais, formação de húmus e fixação do nitrogênio (KIEHL, 1985).

De acordo com Siqueira; Franco (1988) são responsáveis pela degradação de substâncias normalmente não decompostas por fungos e bactérias: fenóis, quitina, húmus e parafinas. São capazes de decompor matéria orgânica em ambientes de temperaturas mais elevadas como na adubação verde, compostagem e esterqueira e de degradarem celulose e proteínas com pequena imobilização de nitrogênio. Produzem antibióticos que controlam o equilíbrio microbiológico do solo. Controlam fungos e bactérias fitopatogênicos. Grupo de bactérias que formam filamentos ramificados, com características de bactérias e fungos (BORÉM, 1998).

Dependendo das características do material bruto a ser compostado, podem interferir na atividade biológica desses microrganismos os seguintes fatores: umidade, aeração, temperatura, relação carbono/nitrogênio, pH e tamanho das partículas, que comumente afetam a atividade microbiológica (BIDONE; POVINELLI, 1999).

3.6. Alterações da matéria-prima ao ser compostada

Os resíduos orgânicos são geralmente utilizados na agricultura como fertilizante orgânico. Há, porém, uma diferença entre resíduo orgânico e fertilizante orgânico. Os resíduos orgânicos vegetais e animais constituem excelentes fontes de matéria-prima para ser transformada em fertilizante orgânico humificado, mas ainda não podem ser considerados adubos orgânicos (KIEHL, 1998b). Os termos fertilizantes e adubo são sinônimos, podendo ser usados indistintamente. No texto da legislação brasileira foi adotado o termo fertilizante (BRASIL, 1983b).

Segundo Kiehl (1980), os resíduos orgânicos sofrem o processo de maturação, que se dá em três fases:

Primeira fase - Fitotóxica

No início da decomposição da matéria orgânica, há um desprendimento de calor, de vapor d'água e de CO₂.

Os materiais orgânicos crus possuem reação ácida, visto que a seiva das plantas e demais partes dos vegetais apresentam reação ácida. No início da decomposição biológica da matéria orgânica, desenvolvem-se traços de diversos minerais e, em maior quantidade, os ácidos orgânicos, principalmente o ácido acético, toxinas danosas às plantas, componentes que dão ao material propriedades de fitotoxicidade (KIEHL, 1993)

Segunda fase - Semicura

Passados 10 a 20 dias, correspondentes à primeira fase, quando pouco progride a decomposição, o material entra no estágio da semicura ou bioestabilização.

Terceira fase - Maturação

Tecnicamente conhecida como humificação, esta fase é o estágio final de degradação da matéria orgânica, quando o composto propriamente dito adquire propriedades físicas, físico-químicas e biológicas desejáveis (PEREIRA NETO, 1993).

3.7. Principais transformações e alterações na matéria-prima

3.7.1 Temperatura

Montada a leira do composto, previamente dimensionada, com formas estabelecidas e devidamente monitorada, o primeiro indício de que a decomposição se iniciou é a presença de calor do substrato; caso isso não ocorra, dentro de alguns dias, após a leira ter sido montada, provavelmente é devido ao excesso de água na massa de compostagem (PEREIRA NETO, 1990).

Kiehl (1998a) reporta que a elevação da temperatura do substrato indica que a compostagem se iniciou. Após a montagem da leira, a temperatura pode ser menor do que a

do ambiente, devido ao resfriamento provocado pela evaporação da água presente na decomposição da massa; essa fase é denominada criófila. Nos dias subsequentes, a decomposição do composto começa a gerar calor e a temperatura começa a subir: nessa ocasião, inicia-se a fase mesófila, seguida de outra mais quente, denominada termófila.

A Tabela 3.1 mostra as temperaturas que identificam essas fases.

Tabela 3.1 – Temperaturas consideradas mínimas, ótimas e máximas para as bactérias (°C)

Bactéria	Mínima	Ótima	Máxima
Mesófila	15 a 25	25 a 40	43
Termófila	25 a 45	50 a 55	85

Fonte: Institute for Solid Wastes of American Public Works Association (1970)

Como mostra a Tabela 3.1, cada grupo de organismo possui uma faixa de temperatura ótima; um desvio dessa faixa é manifestado por um declínio de crescimento e de atividade das bactérias.

A ausência de calor na leira também pode ser atribuída a dois fatores: a falta de microrganismos suficientes para inocular a massa e o excesso ou a falta de água. Para a falta de micro-organismos, colocam-se na leira materiais ricos em nitrogênio, tais como, resíduos de matadouro, esterco animal, tortas vegetais e outros resíduos que entrem facilmente em decomposição. Para a falta de água, é necessário revolver a leira e irrigá-la durante o revolvimento (KIEHL, 1998b).

Na leira, a massa em decomposição se aquece, entrando na fase mesófila. Dependendo das condições da leira, 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, a temperatura baixará e o composto entrará na fase mesófila novamente (KIEHL, 1993).

Se forem atendidas as condições favoráveis, durante a compostagem, pode-se estabelecer uma relação entre as temperaturas observadas, o tempo de compostagem e o grau de decomposição. Considera-se que o composto, ao passar da fase termófila para a mesófila, está semicurado ou bioestabilizado. Quando a leira perder calor e ficar com temperatura igual

à do ambiente, o composto está completamente curado ou humificado (BERTOLDI *et al.*, 1991).

3.7.2. Índice pH

A reação da matéria orgânica, seja vegetal ou animal, é geralmente ácida, ou seja, índice pH baixo. Uma leira de matéria orgânica posta para ser decomposta tem inicialmente reação ácida, pois seus componentes são de natureza ácida, tais como: o suco celular dos seus vegetais, o sangue, as fezes e a urina dos animais (KIEHL, 1985).

Ao iniciar-se a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica, pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria de origem. Esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com gases liberados da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Com a compostagem, há formação de ácidos húmicos (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Para a maioria das bactérias, o pH ótimo de crescimento se localiza entre 6,5 e 7,5. As variações mínimas e máximas, para a maior parte das espécies, estão entre pH 4 e pH 9 (PELCZAR *et al.*, 1980).

O pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, permanecendo na faixa alcalina (7.5 a 9.0) no final da compostagem (PEREIRA NETO, 1989).

3.7.3. Matéria orgânica

Durante a compostagem, a matéria orgânica sofre o processo de mineralização, diminuindo sua quantidade à medida que a degradação ocorre. Quanto mais tempo durar a compostagem, menos matéria orgânica se terá na leira. As raízes das plantas se alimentam de nutrientes minerais solúveis e não de matéria orgânica. No final da compostagem, têm-se nutrientes minerais e húmus, componentes imprescindíveis para melhorar as propriedades físicas do solo (KIEHL, 1993; CAMPOS; BLUNDI, 2000).

Segundo Kiehl (1998a), os resíduos orgânicos sólidos a serem compostados devem ter, no início do processo, um mínimo de 40% de matéria orgânica compostável expressa em matéria seca, para se ter certeza de que haverá bom desprendimento de calor na leira e que o produto final terá quantidade razoável de húmus.

As alterações da matéria-prima ocorrem nos primeiros 40 a 60 dias do início da compostagem. Com relação ao teor inicial da matéria orgânica, cerca de 50% (cinquenta por cento) são metabolizados e convertidos, principalmente em gás carbônico e vapor d'água. (KIEHL, 1998a).

3.7.4. Nitrogênio total

Os resíduos orgânicos de origem vegetal têm, em geral, maior proporção de nitrogênio do que de fósforo ou potássio; possuem, em média, 1 a 4%, sendo as sementes os materiais mais ricos em nitrogênio. O teor de nitrogênio é duas a quatro vezes maior que os de fósforo ou potássio. Dos três nutrientes N, P e K, o nitrogênio é o que apresenta conteúdo mais variável e o mais difícil de ser armazenado no solo. Os resíduos animais, ricos em proteínas, possuem elevados teores em nitrogênio (KIEHL, 1985).

Segundo Kiehl (1998a), comparando-se o teor de nitrogênio total encontrado em um substrato a ser compostado com o conteúdo no final do processo, verifica-se que o valor é sempre maior no final. Esse aumento é relativo, e deve-se ao fato de que outros componentes se perderam por volatilização enquanto o nitrogênio se manteve.

Conforme Pereira Neto (1987), o nitrogênio é encontrado em diversas formas nos substratos orgânicos e, constantemente, é transformado por meio da assimilação, nitrificação, desnitrificação, fixação microbiana, etc, que fazem o balanço do nitrogênio durante o processo de compostagem.

O nitrogênio é um dos principais nutrientes necessários ao crescimento dos micro-organismos durante o processo de compostagem. A concentração de nitrogênio total, dependendo do meio, poderá aumentar, diminuir ou ter algumas variações durante a compostagem (PEREIRA NETO, 1996)

Bishop; Godfrey (1983) e Pereira Neto (1987) relatam que o aumento da concentração de nitrogênio acontece, provavelmente, por causa da fixação do nitrogênio pelas bactérias fixadoras de nitrogênio. Tais bactérias, segundo Bertoldi *et al* (1983), participam dos processos de compostagem em leiras.

Poincelot (1975) explica que o decréscimo do nitrogênio ocorre, provavelmente, devido à volatilização da amônia e que este fenômeno é mais acentuado em meios com temperatura alta e pH alcalino.

De acordo com Pereira Neto (1987), os principais fatores que contribuem para a perda de nitrogênio durante a compostagem são:

- ii) perda não - biológica da amônia (volatilização natural);
- iii) decomposição química do nitrato;
- iv) desnitrificação microbiológica para a liberação do nitrogênio molecular(N_2),
óxido nitroso (N_2O) e óxido nítrico (NO_2).

3.7.5. Relação carbono/nitrogênio (C/N)

Para que haja uma boa atividade microbiana na compostagem, Jeris; Regan, (1985) e Golueke, (1977) concluíram que é necessário uma relação C/N inicial na faixa de 30 a 40. Entretanto, Pereira Neto (1987) cita que, para alguns materiais celulolíticos, uma relação C/N maior (até 30% do valor recomendado) pode ser utilizada sem que o processo seja significativamente afetado.

Quando se prepara composto de maneira artesanal, montando a leira com diferentes materiais disponíveis, é possível misturá-los de maneira a melhorar a relação C/N (LEITÃO, 2002).

Segundo Pereira Neto (1989), a relação C/N inicial deve estar entre 25/1 e 35/1 e, conhecendo-se a relação dos materiais a serem empregados, é recomendável utilizar resíduos que corrijam a relação C/N mais elevada. Esta recomendação pode ser aplicada para outros materiais, desde que seja viável. Resíduos animais também são ótimos materiais empregados para reduzir altas relações C/N.

Os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio, sempre na relação C/N de 30 para 1, mesmo que a matéria-prima a ser compostada tenha relação maior. Com a compostagem, a relação C/N será corrigida, de maneira que, quando o composto estiver humificado, a relação C/N será em torno de 10/1. Se a relação inicial for elevada, o tempo de compostagem será maior, pois faltará nitrogênio para os microrganismos. Esse elemento será reciclado entre as células microbianas até a degradação total da matéria orgânica, enquanto o excesso de carbono é eliminado na forma de gás carbônico. Se a relação C/N for baixa, os microrganismos eliminarão o excesso de nitrogênio na forma de amônia, até atingir a relação 30/1. No final da compostagem, esta relação baixa até 10/1 (PEREIRA NETO, 1996).

Para Kiehl (1998a), a interpretação que se pode dar para a matéria-prima a ser compostada quanto à relação C/N e ao tempo de maturação é a seguinte:

- a) relação C/N acima de 50: indica a deficiência de nitrogênio, e tempo de maturação mais prolongado;
- b) relação C/N entre 30/1 e 50/1: permite uma decomposição um pouco mais rápida que a anterior;
- c) relação C/N muito baixa 10/1: pode haver perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia;
- d) relação C/N entre 25/1 e 35/1: é considerada ótima.

3.8 Fatores que afetam o processo de compostagem

Para Büttnebender (2004) o sucesso operacional de um sistema de compostagem, com a obtenção de um produto estabilizado isento de microrganismos patogênicos e metais pesados, devera respeitar princípios e limites de cada parâmetro relacionado à atividade biológica.

Considerando-se que a compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica, vários são os fatores que afetam sua eficiência e a qualidade do composto produzido. Os fatores mais importantes que influenciam a degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém é resultado da atividade biológica (FERNANDES; SILVA, 1999).

Segundo Galvão Júnior e Schalch (1994), o processo de compostagem pode ser influenciado pela forma de controle do processo e pelo tipo de tecnologias adotadas pelo homem, relacionados aos fatores nutricionais e ambientais, dentre os quais: influência da umidade, aeração temperatura e relação carbono-nitrogênio (C/N).

De acordo com Krieger (1998) e Monteiro (2006), entre os fatores que influenciam na rapidez e na qualidade do processo de compostagem, merecem destaque: material a ser compostado, umidade, aeração, relação C/N, temperatura, pH e tamanho das partículas.

3.8.1. Teor de umidade

Sendo a compostagem um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água é indispensável para as necessidades fisiológicas dos microrganismos, os quais não vivem em ambiente sem umidade (PEREIRA NETO; LELIS, 1999).

Kiehl (1985) relata que para o processo de compostagem ocorrer de forma ideal, é importante buscar o equilíbrio água – ar, o que é obtido mantendo-se o material em processamento com um teor de umidade da ordem de 60%. Se a umidade do material a ser compostado estiver abaixo de 40%, reduz-se significativamente a atividade biológica, a decomposição será aeróbia, predominando a ação dos fungos, visto que as bactérias estarão pouco ativas. Também a umidade não pode ser excessiva, ou seja, maior que 60%, pois o material mostrar-se-á encharcado, fazendo com que a água ocupe os espaços vazios e impeça a circulação do oxigênio, podendo transformar o processo de digestão aeróbia em anaeróbia, com produção de gases e maus odores. Portanto, a umidade deve estar sempre acima de 40% e abaixo de 60%, sendo o valor ótimo 55%, que é satisfatório para os processos.

No método de compostagem que envolve processos simplificados que consistem em pilhas ou leiras com alturas pré-determinadas e com configuração definida, o controle de umidade excessiva, quando se está compostando resíduos sólidos orgânicos, é obtido por meio de revolvimentos sistemáticos e periódicos, manuais ou mecânicos, que permitem o contato da massa de resíduo interna a pilha ou à leira com o ar atmosférico; se a umidade for insuficiente, durante o revolvimento é feita a irrigação do composto com água aplicada na

forma de chuveiro fino. Dessa forma, consegue-se distribuir a água de modo uniforme por toda a massa da leira do composto (KIEHL, 1998a).

Para que o processo ocorra satisfatoriamente, é importante buscar-se o equilíbrio água-ar, o que é obtido mantendo-se o material em processamento com um teor de umidade da ordem de 55%. Umidades superiores a 60% levam a anaerobiose e inferiores a 40%, reduzem significativamente a atividade biológica (BIDONE; POVINELLI, 1999). Com umidade abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação de fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1998b).

Richard *et al.* (2002) afirmam que o teor de umidade para a biodegradação pode variar para compostos de diferentes origens, duração e tecnologia utilizada no processo de compostagem, entre 50 a 70%, existindo uma redução significativa na taxa de biodegradação quando se opera fora desse intervalo de umidade.

Suler & Finstein, (1977) verificaram em seus estudos que para a compostagem de resíduos sólidos, é adequado um teor de umidade variando de 50 a 60%, sendo 70% demasiadamente elevado

Haug, (1993) afirma que umidade elevada dificulta ou impede o processo de compostagem porque seu excesso origina compactação e reduz o volume de espaços vazios que impede o movimento de ar em toda a massa de compostagem.

Quando o teor de umidade é excessivo, os interstícios dentro da massa orgânica ficam cheios de água e a aeração é restrita podendo comprometer os estágios iniciais da decomposição (RICHARD, *et al.*, 2006).

De acordo com Kiehl (1998a) a umidade no interior da leira pode sofrer alterações de acordo com a altura da mesma. Recomenda-se que a altura não deva ser inferior a 1,20 m nem superior a 1,60m. Em leiras muito baixas há perdas excessivas e rápidas de calor e umidade, fazendo com que o seu interior fique quente. Aumentando o tamanho da leira, reduzem-se as perdas de água e, diminuindo-a, facilita-se à eliminação de seu excesso Sigley *et al* (1982), Fistein *et al* (1983) e Pereira Neto *et al* (1999) pesquisaram e concluíram que o teor de umidade deve situar-se em torno de 55%. Altos teores, acima de 65%, fazem com que

a água ocupe os espaços vazios da massa de compostagem, impedindo a passagem satisfatória de oxigênio, acarretando uma anaerobiose do meio. Baixos teores, abaixo de 40%, também causarão problemas, pois inibirão a atividade microbiana.

3.8.2. Aeração ou oxigenação

Na compostagem, por ser basicamente um processo de oxidação biológica, a disponibilidade de oxigênio torna-se de grande importância (OBENG; WRIGHT, 1987).

Segundo Kiehl (1993), a decomposição da matéria orgânica pode ser realizada por dois processos: aeróbio e anaeróbio.

O processo aeróbio é realizado na presença do oxigênio livre e por organismos aeróbios, sendo caracterizado pela alta temperatura desenvolvida no composto, pela ausência de maus odores, pelo menor tempo de degradação da matéria orgânica e pelas reações de oxidação que se dão no processo (KIEHL, 1985).

O processo anaeróbio é realizado, principalmente, por bactérias que decompõem a matéria orgânica por fermentação, na ausência de oxigênio, sendo caracterizada pela baixa temperatura desenvolvida e pelo maior tempo de cura em relação ao processo aeróbio e pela tendência do composto se tornar ácido (KIEHL, 1998b).

Na prática da compostagem, a aeração é o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, e tem como finalidade básica suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e atuar como agente da temperatura (PEREIRA NETO *et al* 1985). A aeração pode ocorrer por revolvimento manual ou por meios mecânicos, com insuflamento de ar (BIDONE, 1996).

A aeração também é usada como meio de controlar a temperatura. Em certos casos, o insuflamento de ar comprimido na massa do composto pode ser de 5 a 10 vezes maior do que o estritamente necessário à respiração microbiana, tendo assim a função de dissipar o calor liberado no processo (ANDREOLI, 2001).

A aeração é importante porque está relacionada diretamente com a eficiência da fermentação aeróbia, que é desejável na compostagem. Sua função não é apenas para o metabolismo aeróbio e respiração dos microrganismos; também é necessária para processar a digestão aeróbia da massa no decorrer da compostagem, pois a reação aumenta a velocidade da digestão aeróbia, diminuindo a emissão de odor durante o processo, e equilibra as altas temperaturas que ocorrem quando da degradação da matéria orgânica em decomposição. (KIEHL, 1998a).

De acordo com Richard *et al*, 2006 quando a concentração de oxigênio diminui dentro do material a ser compostado desenvolve-se uma condição anaeróbia que resulta em maus odores e numa redução significativa da taxa de decomposição.

Para os processos simplificados de compostagem, a aeração é efetuada em função das características da matéria-prima, por meio de ciclos pré-determinados de reviramento das leiras de compostagem, podendo ser manual ou mecânico (NÓBREGA; PEREIRA NETO, 1990).

Para Kiehl (1998a), o processo de revolvimento das leiras deve ser baseado na concentração de oxigênio, na temperatura e na umidade. Durante o revolvimento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de vapor de água. Nesse momento, corrige-se a umidade, por meio da distribuição uniforme de água na massa de compostagem, repondo a perda de água do sistema.

Segundo Obeng & Wright (1987), a quantidade necessária de oxigênio para o crescimento dos microrganismos deve situar-se na faixa de 5 a 15% da concentração de oxigênio atmosférico, visto que esta quantidade conserva altas temperaturas e favorece uma rápida compostagem aeróbia, enquanto que para o crescimento dos micro-organismos mesófilos a quantidade mínima de oxigênio é de 5%.

Para Bidone (1996), a dificuldade em se medir o oxigênio - O_2 na pilha faz com que o controle seja realizado pela avaliação da temperatura, da umidade e do tempo de revolvimento, pois ao mesmo tempo em que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos.

Externamente, a pilha contém 18 a 20 % de O₂, próximo à atmosfera; no interior da pilha, o oxigênio vai baixando, até que em profundidades maiores que 0,60 m, reduz-se a 0,5 a 2 %, na base e no centro da pilha. Considera-se que, idealmente, na etapa termófila, a concentração de O₂ deva ser de 5 %, já se encontrando, no entanto 0,5 % sem sintomas de anaerobiose. Para fins de dimensionamento de equipamentos eletromecânicos de insuflamento de ar nas leiras de compostagem, são recomendados 0,3 a 0,6 m³ de ar por quilograma de sólidos voláteis por dia (BIDONE, 1996; BIDONE & POVINELLI, 1999).

Nas leiras de composto, a quantidade de ar necessária para suprimento de oxigênio é significativamente maior do que o fornecido por revolvimentos mecânicos periódicos, mesmo se praticados diariamente ou em bases mais frequentes ainda (HAUG, 1993).

Segundo a USEPA (1999), a quantidade de oxigênio necessária para a compostagem depende do estágio do processo, do tipo de resíduo, do tamanho da partícula e da umidade do substrato.

Na primeira etapa de compostagem, é notada a grande necessidade de suprimento de oxigênio para dar início ao processo. Segundo Sharma *et al.* (1997), a etapa inicial da compostagem necessita de 5 - 15% de oxigênio. Por outro lado, na última etapa preferem-se condições menos oxidativas, onde as atividades biológicas são mais fracas e a temperatura é reduzida, sendo requerida a percentagem de oxigênio de 5%.

Haug (1980) observou que a concentração de oxigênio no interior da leira de compostagem de lodo, frequentemente, diminui a níveis indetectáveis dentro de poucos minutos ou de várias horas após o revolvimento.

De acordo com Pereira Neto & Mesquita (1992), teoricamente, a taxa ótima de oxigênio seria aquela que satisfizesse a demanda bioquímica durante as diversas fases do processo.

3.8.3. Temperatura

Bertoldi *et al* (1991) afirmam que a temperatura constitui-se um dos fatores mais indicativos do processo de compostagem. Ela exerce uma influência considerável na decomposição da matéria orgânica, pois, além de influenciar no comportamento de forma distinta de cada uma das fases em que ocorre, influi também no processo total da compostagem dos resíduos sólidos.

A degradação dos resíduos orgânicos ocorre de forma aeróbia, abrange uma fase mesofílica inicial com temperaturas entre 25-40°C, durante a qual ocorre uma atividade microbiana muito intensa, seguida de uma fase termofílica, com temperaturas superiores a 50°C, na qual a fração orgânica facilmente degradável é consumida. Posteriormente ocorre uma diminuição progressiva da temperatura do composto, em que se desenvolve uma população microbiana com características mesofílicas. Sucede-se por fim uma fase de maturação, que acontece à temperatura ambiente dando origem a um composto humificado. (Silveira, 2005)

A compostagem aeróbia pode ocorrer em regiões tanto de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43 °C) (ANDREOLI, 2001).

Modesto Filho (1999) e Kiehl (1998a) definem três etapas bem especificadas para compostagem em relação à temperatura. Sendo a primeira etapa mesofílica, a segunda etapa termofílica e a terceira etapa mesofílica, correspondendo as duas primeiras de estabilização da matéria orgânica e a última de humificação ou maturação da matéria orgânica, enquanto que Bidone e Povinelli (1999) definem quatro etapas da compostagem. A Etapa 1, de elevação da temperatura até o limite preconizado como ótimo na compostagem, pode levar algumas horas (entre 12 e 24 horas) ou alguns dias, dependendo dos condicionantes ambientais na região onde se encontra o pátio de processamento. Atingida uma temperatura entre 55°C e 60°C, introduz-se um fator externo de controle – o revolvimento - com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica, realizada de forma intermitente, conduzindo-se, então, à bioestabilização na faixa de aquecimento adequada. A etapa 2, de degradação ativa do material orgânico no método convencional “windrow”, podem demorar de 60 a 90 dias. Quando as leiras são operadas na forma “estática aerada”, o período resulta significativamente menor, da ordem de

30 dias. Na etapa 3, inicia-se o resfriamento do material que, em condições normais, leva de três a cinco dias. A etapa 4, de maturação ou cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias.

A Figura 3.1 representa esquematicamente as quatro etapas da compostagem.

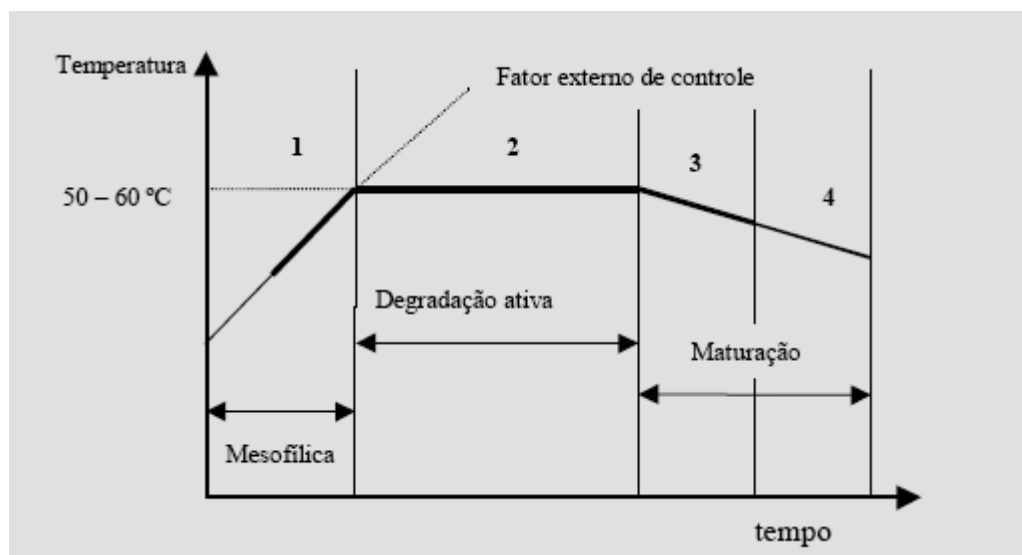


Figura 3.1 - Esquema das etapas da compostagem
Fonte: Bidone (1996, p. 43)

O desenvolvimento da temperatura na leira do composto está relacionado com vários fatores responsáveis pela geração de calor, como micro-organismos, umidade, aeração, granulometria da matéria-prima (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Segundo Kiehl (1985), as temperaturas prolongadas acima de 70°C reduzem a atividade benéfica dos micro-organismos e aumenta a possibilidade de perda de nitrogênio por volatilização da amônia. Para se corrigirem temperaturas elevadas nas leiras ou pilhas, pode-se irrigar ou rebaixar sua altura para favorecer a perda de calor por dissipação.

De acordo com Pereira Neto (1990) e Kiehl (1998a), a temperatura ótima encontra-se entre 40 e 60°C, tendo como média ideal 55°C. Os autores consideram que a faixa ótima para ocorrência do processo é a compreendida entre 50 a 60°C. Temperaturas acima de 65°C tornam o processo menos eficiente, e acima de 70°C são desaconselháveis uma vez que, mantidas por longos períodos, eliminam os micro-organismos bioestabilizadores responsáveis pela transformação da matéria orgânica em húmus, provocam alterações químicas

indesejáveis e desprendimento de amônia, quando o material possui baixa relação C/N. Em temperaturas menores que 37°C, o processo de compostagem fica lento e alguns componentes da matéria orgânica não são eliminados.

Segundo Obeng & Wright (1987), as alterações da temperatura, observadas durante a fase de degradação da matéria orgânica, podem ser utilizadas como um indicador do próprio funcionamento do processo.

O aquecimento das leiras de compostagem ocorre naturalmente, em função do processamento do material pelos microrganismos, cujo metabolismo é exotérmico. Eles realizam a decomposição da matéria orgânica, gerando calor e elevando a temperatura da leira, graças às propriedades isolantes da massa em compostagem (BIDONE *et al.*, 2001).

É no monitoramento da leira onde a temperatura se identifica como parâmetro fundamental na avaliação do processo, pois a atividade microbiana resultante dos microrganismos exotérmicos produz liberação de calor e o monitoramento dessa elevação de temperatura permite que, através do reviramento da massa em compostagem, o processo seja controlado eficientemente. Quando a compostagem é desenvolvida sem controle, há um aumento excessivo de temperatura, que é prejudicial à atividade microbiana, acarretando, conseqüentemente, o retardamento do processo da compostagem e interferindo na qualidade do produto final (PEREIRA NETO, 1990).

O controle da faixa ideal de temperatura é realizado através do revolvimento do material em processamento, ou de sua irrigação, ou de ambos; baixas temperaturas são indicativos de alta umidade, e temperaturas elevadas indicam baixa umidade. Também, como as pilhas/leiras apresentam diferentes temperaturas da parte mais interna a mais externa, o seu volume e a sua configuração geométrica também podem interferir na temperatura. Portanto, o controle da temperatura pode ser feito com o abaixamento da altura da pilha, irrigação e revolvimento. É importante referir que o revolvimento, por si só, não evita que de 6 a 12 horas após haja a recuperação do calor (BIDONE E POVINELLI, 1999, *apud* REIS, 2005).

Kiehl (1998a) afirma que as leiras de compostagem apresentam diferentes temperaturas, nas suas diversas regiões. O controle de temperatura pode ser feito com o rebaixamento da leira, por meio de revolvimento do material em processamento ou por meio

de irrigação. Temperaturas baixas indicam alta umidade e temperaturas elevadas indicam baixa umidade. A temperatura deve ser medida sistematicamente, em diferentes posições da leira, para que se possam obter valores médios representativos. Esses valores indicam, no processo de compostagem, uma das fases distintas em que os micro-organismos se desenvolvem:

a) Fase Psicofílica – Quando a temperatura ambiente ainda é normal;

b) Fase Mesofílica – É a fase inicial que se processa com uma temperatura próxima à do ambiente, variando de 45 a 55°C, e com pH em torno de 5,5;

c) Fase Termofílica – Processa-se numa temperatura entre 55 a 65°C e pH entre 4,5 a 6,5.

De acordo com Kiehl (1985), o processo de decomposição total da matéria orgânica, nas fases acima mencionadas, tem duração de aproximadamente 45 dias, com a temperatura variando entre 35 a 65°C, baixando no final da decomposição para 45°C, aproximadamente, iniciando-se a maturação da matéria orgânica, que tem duração de aproximadamente 40 dias e temperatura mínima variando de 30 a 35°C.

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 até 65°C; acima deste valor, o calor limita as populações aptas, havendo o decréscimo da atividade biológica (ANDREOLI; FERNANDES, 2001).

3.8.4. Relação carbono/nitrogênio (C/N)

A relação C/N ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30:1. Dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono que é utilizado pelos micro-organismos para obter energia e o outro terço do carbono, em conjunto com o nitrogênio, é utilizado para constituir as células microbianas (note-se que o protoplasma microbiano tem uma relação C/N próxima de 10:1, mas, para efetuar a síntese de dez carbonos com um nitrogênio, e assim constituir o seu protoplasma, os microrganismos

necessitam de vinte carbonos, aproximadamente, para obter energia). As perdas de nitrogênio podem ser muito elevadas (por exemplo, de 50%) durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, particularmente quando faltam os materiais com elevada relação C/N. Para baixa relação C/N, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amônia, causando odores desagradáveis. Para alta relação C/N, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono será degradado lentamente com temperaturas baixas. Um volume de três partes de materiais ricos em carbono para uma parte de materiais ricos em nitrogênio é uma mistura muitas vezes utilizada. Com o aumento dos materiais ricos em carbono relativamente aos nitrogenados, o período de compostagem requerido aumenta. (ESALPL - Manual de Compostagem, 2005).

De acordo com Obeng & Wrigh (1987), os principais nutrientes necessários ao crescimento dos microrganismos, durante a compostagem, são o carbono e o nitrogênio. Uma parte do carbono é perdida em forma de gás carbônico (CO₂) e outra está presente no material celular em maior quantidade do que o nitrogênio.

Sendo o carbono um dos principais elementos para o funcionamento das atividades microbianas e como a degradação dos resíduos orgânicos está diretamente ligada aos microrganismos, verifica-se que a presença do carbono é indispensável na leira de compostagem. O carbono está presente nos resíduos sólidos domésticos, principalmente nos restos alimentares que contêm proteínas (açúcares e gorduras) (CAMPBELL, 1999).

Sabe-se que o nitrogênio é o principal constituinte do protoplasma dos microrganismos existentes na fração orgânica dos resíduos sólidos e, sendo o nitrogênio a fonte básica para a produção desses micro-organismos, sua presença é também indispensável no processo de compostagem. O nitrogênio é encontrado nos legumes frescos, e em resíduos animais (esterco) (KIEHL, 1998a).

De acordo com Pereira Neto (1994a), para que o processo de compostagem consiga alta eficiência, é necessário que a relação C/N esteja rigorosamente balanceada, pois o excesso de carbono conduz a um aumento do período de compostagem, fazendo com que grande parte dos microrganismos morra e o nitrogênio passa a ser obtido das células mortas desses microrganismos. Quando a massa orgânica apresentar maior concentração de nitrogênio em relação à concentração de carbono, haverá uma perda de nitrogênio por meio de

volatilização da amônia (NH_3) até que aconteça o equilíbrio da relação C/N, sendo satisfatória ao processo.

Segundo Kiehl (1985), a relação inicial teoricamente mais favorável para a compostagem é 30/1; considera-se, na prática, os valores entre 26/1 e 35/1 como os iniciais mais favoráveis para uma mais rápida e eficiente compostagem; sendo que esta relação não precisa ser exata.

De acordo com Kiehl (1998a), a relação C/N de resíduos orgânicos pode variar de 8:1 até 80:1. Já Andreoli (2001) afirma que a relação C/N pode variar de 20:1 a 70:1, de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato.

Na Tabela 3.2, apresentam-se alguns valores médios da relação C/N de materiais compostáveis utilizados com frequência:

Tabela 3.2 – Valores médios da relação C/N de alguns materiais compostáveis

Materiais	Relação C/N
Cinza de folha	25
Poda de grama	25
Folhas	23
Esterco	15
Serragem	150-500
Palha, talo.	50-100
Aparas vegetais	25

Fonte: CAMPBELL (1995)

Para Russo (2003), a relação C/N decorre da própria definição de compostagem, como processo biológico, em que os elementos C e N são fundamentais, pois constituem elementos presentes nas células microbianas, em que C representa, em média, 50% e N, de 2 a 8%. A relação C/N depende do micro-organismo e do meio de crescimento. O mesmo autor cita que a relação C/N é utilizada como indicador da estabilidade biológica do composto, definindo a qualidade do produto resultante da compostagem de resíduos urbanos. No entanto, este parâmetro não dispensa uma interpretação com base nas características iniciais do produto, constituindo melhor avaliação a análise dos valores C/N inicial e final.

Alguns autores apresentam um intervalo de variação que refletirá melhor os mecanismos metabólicos envolvidos. Com efeito, a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os micro-organismos, porém a sua eficiência não é 100%, e a demanda de C é maior que a do N. Apesar da grande diferença de demandas, a carência de N é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular. Quando parte do carbono disponível é de difícil ataque, como a lignina, celulose e hemicelulose, será aconselhável uma relação C/N maior, pois o C biodisponível é inferior ao C total. Quando há um decréscimo da C/N inicial de 35:1 a 40:1 para uma relação final de 18:1 a 20:1, traduz-se normalmente por um avanço no grau de maturação. Por outro lado, se o material a compostar for rico em N, ou seja, com baixa C/N (10:1 ou inferior), com o avanço da degradação a relação tende a aumentar devido à perda do N (ZUCCONI *et al*, 1987 *apud* RUSSO, 2003). Apesar dos valores sugeridos pelos pesquisadores para a relação C/N ótima na compostagem, constata-se que não poderá ser um valor absoluto, mas que varia com as características do material a compostar.

Deste modo, a relação C/N tem sido objeto de pesquisa por parte de muitos autores, que propuseram relações ótimas para a compostagem (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Relações C/N ótimas para a compostagem

Relação C/N	Autor	Ano
30:1 – 35:1	Gotaas H. B.	1959
30:1	Haug, R.T.	1980
< 20:1	Cardenas et al	1980
20:1 – 30:1	Gouleke, C. G.	1981
25:1	Bertoldi <i>et al</i>	1983
30:1 – 40:1	Pereira Neto, J. T.	1989
25:1 – 40:1	Richard, T. L.	1992

Fonte: Russo (2003).

Os resíduos orgânicos de origem vegetal têm, em geral, maior proporção de nitrogênio do que de fósforo ou potássio; possuem, em média, 1 a 4%, sendo as sementes os materiais mais ricos em nitrogênio. O teor de nitrogênio é duas a quatro vezes maior que os de fósforo ou potássio. Dos três nutrientes N, P e K, o nitrogênio é o que apresenta conteúdo mais variável e o mais difícil de ser armazenado no solo. Os resíduos animais, ricos em proteínas, possuem elevados teores de nitrogênio (KIEHL, 1985).

Segundo Kiehl (1998a), comparando-se o teor de nitrogênio total encontrado em um substrato a ser compostado com o conteúdo no final do processo, verifica-se que o valor é sempre maior no final. Esse aumento é relativo, e deve-se ao fato de que outros componentes se perderam por volatilização enquanto o nitrogênio se manteve.

O acompanhamento da relação C/N durante a compostagem permite conhecer o andamento do processo, indicando quando o composto atingir a semicura ou a bioestabilização (redução C/N em torno de 18/1) e o produto acabado ou humificado (relação C/N em torno de 10/1) (DIAZ *et al*, 1986; KIEHL, 1998a).

Entre os parâmetros definidos pela Portaria nº 1, de 4 de março de 1983, do Ministério da Agricultura, está a relação C/N (BRASIL,1983b). O composto orgânico para ser aplicado ao solo deverá ter, no máximo, 18:1 de relação C: N (Fernandes & Silva, 1999). A adição de um composto de elevada relação C/N ao solo, conduz à competição pelo nitrogênio disponível, entre microrganismos e plantas, enquanto que uma relação baixa pode favorecer o desenvolvimento das plantas.

3.8.5. Potencial hidrogeniônico (pH)

A compostagem aeróbia provoca a elevação do pH da massa em biodegradação. Ao início do processo, o material produzido pode tornar-se mais ácido (de 5 a 6), devido à formação de ácidos minerais e gás carbônico. Estes logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino, chegando a valores de 8 a 8,5. Isto é devido principalmente a decomposição das proteínas, bem como pela eliminação do gás carbônico. Assim é que independentemente do uso de corretivos, a compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com reação alcalina (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Quando o pH no início da compostagem é elevado, associado a altas temperaturas, causa a perda de nitrogênio por volatilização da amônia (BERTOLDI *et al*,1991).

Carnes & Lossin (1990) consideram que o pH afeta a compostagem e é difícil de ser controlado durante o processo. No entanto, Pereira Neto (1987, 1992) constatou, nos seus

trabalhos, que o pH é autorregulado no processo de compostagem, não merecendo, por isso, uma preocupação especial em controlá-lo.

De acordo com Pereira Neto (1989), o pH é um dos parâmetros que exerce grande influência no processo de compostagem. A faixa ótima para a compostagem deve situar-se entre 6,5 a 8,0.

A reação da matéria orgânica, seja vegetal ou animal, é geralmente ácida, ou seja, índice pH baixo. Uma leira de matéria orgânica posta para ser decomposta tem inicialmente reação ácida, pois seus componentes são de natureza ácida, tais como: o suco celular dos seus vegetais, o sangue, as fezes e a urina dos animais (KIEHL, 1998a).

Ao iniciar-se a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica, pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria de origem. Esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com gases liberados da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Com a compostagem, há formação de ácidos húmicos (BIDONE; POVINELLI, 1999).

De acordo com Pereira Neto (1989), o pH é um dos parâmetros que exerce grande influência no processo de compostagem. A faixa ótima para a compostagem deve situar-se entre 6,5 a 8,0, apesar de haver uma divergência bastante considerável entre os estudiosos do assunto.

O pH ótimo para o crescimento dos micro-organismos durante o processo de compostagem, situa-se entre 5,5 e 8,0. As bactérias se desenvolvem em meio ácido, numa faixa de 5,0 a 7,0, enquanto que os fungos requerem uma faixa de pH entre 5,5 a 8,0. (BERTOLDI *et al*, 1983).

Experiências realizadas na compostagem de lixo urbano e de lodo e esgoto pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, da Universidade Federal de Viçosa – UFV - MG, indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa bem mais ampla de pH, entre 4,5 a 9,5 sendo que os valores entre eles são automaticamente regulados pelos próprios micro-organismos durante o processo de degradação de matéria orgânica, produzindo ora subprodutos ácidos, ora alcalinos de acordo com a necessidade do meio (PEREIRA NETO, 1996).

3.8.6. Tamanho das partículas: Granulometria

De modo geral, as partículas destinadas à compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem apresentar dimensões entre 25 e 75 mm (Fernandes e Silva, 1999). Se as partículas forem muito finas, pode ocorrer compactação excessiva do material. Para evitá-la, deve-se agregar material sólido (por exemplo, cavacos de madeira) à massa, melhorando a sustentação, a porosidade e a decorrente aeração. Por outro lado, se as partículas forem muito grossas, deve-se triturá-las antes da montagem das leiras (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Segundo Russo (2003), o tamanho das partículas tem importância na oxigenação da massa em compostagem. Partículas menores que 2 mm são muito finas, e a aeração é mais difícil, enquanto que acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem revolvimentos constantes. Por outro lado, quanto menor forem as partículas, maior será a área de ataque pelos microrganismos (Gotaas, 1956; Bertoldi *et al.*, 1983 *apud* Russo, 2003). Deste modo, deve procurar-se um compromisso entre necessidades de arejamento e área exposta a ataque por microrganismos.

Para compostagem de resíduos orgânicos de origem urbana, Pereira Neto (1998) recomenda uma granulometria de 20 até 50 mm, por facilitar a oxigenação ao formar uma massa porosa por onde passa o ar rico em oxigênio. Deste modo, a granulometria influi em diversos parâmetros da compostagem, como oxigenação, umidade e temperatura.

Golueke (1977) considera o tamanho das partículas do material um fator importante, pois, quanto mais o material for fragmentado, maior será sua área de superfície sujeita aos ataques dos microrganismos e, conseqüentemente, diminuirá seu tempo de compostagem.

Segundo Pereira Neto (1996), o tamanho médio das partículas de matéria orgânica que compõem a faixa de compostagem também exerce grande influência no período de compostagem.

Para Kiehl (1998b), na compostagem do lixo, uma importante característica física desses resíduos, e que afeta o processo, é o tamanho das partículas; quanto menor a partícula, maior é a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microrganismos, e mais rápida a

decomposição da matéria orgânica. Essa rapidez é função da relação entre a superfície de exposição e a massa de partícula.

As dimensões ideais para a compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem estar compreendidas entre 1 cm e 5 cm. Se as partículas forem muito finas, pode ocorrer compactação excessiva do material; para evitá-la, deve-se agregar material sólido à massa de compostagem, melhorando, assim, a sustentação, a porosidade e a decorrente aeração. Se as partículas forem muito grossas, deve-se triturá-las antes da compostagem das leiras (BIDONE; POVINELLI, 1999).

De acordo com Kiehl (1998b), a granulometria de um material a ser compostado influi nos seguintes parâmetros:

a) Aeração

Quanto mais grosseira for a granulometria, mais intensas serão as trocas do ar saturado de gás carbônico dos vazios existentes no material em compostagem, pelo ar atmosférico rico em oxigênio.

Nas leiras de compostagem, a tendência do ar aquecido, mais leve, é ganhar as partes mais altas, sendo que os espaços vazios são substituídos pelo ar atmosférico.

b) Controle de umidade

O controle de umidade da leira ou pilha também está associado com a granulometria. Quanto mais grosseiras as partículas, mais facilmente o ar penetra na massa de compostagem e mais rapidamente a umidade é removida. Material de fina granulometria tem a tendência a absorver mais água, compactando-se na leira e apresentando baixa degradação (PEREIRA NETO; LELIS, 1999).

c) Compactação

A granulometria não pode ser muito fina, pois o material tende a se adensar, transformando-se em uma massa fina; pela alta capacidade de retenção de água, compacta-se,

permitindo que o processo entre em anaerobiose, putrefação. Com granulometria grosseira o material resseca-se com mais facilidade, e a aeração é facilitada, não havendo tendência para compactação, sendo a decomposição aeróbia teoricamente garantida. (BIDDLESTONE *et al*, 1983)

d) Temperatura

O material grosseiro forma pilha ou leira pouco densa, pois o material utilizado se sobrepõe deixando muitos e grandes espaços vazios, facilitando a remoção do ar.

e) Microrganismos

Quanto menor a granulometria do resíduo a ser compostado, maior é o ataque dos microrganismos às suas partículas e menor o tempo de maturação; quanto maior a granulometria, menor é a ação dos microrganismos e maior o tempo de cura do composto. É aconselhável que, antes da montagem das leiras de compostagem, os resíduos sejam submetidos a uma correção de tamanho das partículas, o que favorece a vários fatores, como:

- a) maior porosidade de massa orgânica;
- b) menor compactidade;
- c) melhoria do sistema de aeração da pilha;
- d) homogeneização da massa de compostagem.

3.9. Processos de compostagem

Primitivamente, o método de compostagem, utilizado em larga escala nas áreas agrícolas, envolvia simplesmente a estocagem de materiais putrescíveis, levando alguns meses para ser degradado. Este método, espontâneo e sem biotecnologia, atualmente não é aceito ambientalmente, pelo fato de não garantir a qualidade final do produto, o composto orgânico (REIS *et al* 2003).

De acordo com Reis (2005), a maior diferença entre os processos de compostagem está na metodologia de aeração. Genericamente, podem ser divididos em três

tipos, tais como: compostagem em leiras com revolvimento mecânico, sistema “windrow”; compostagem em leiras estáticas aeradas; e compostagem em reatores biológicos.

Geralmente, sistemas com alta tecnologia requerem maiores investimentos, mas resultam em melhores condições de controle e maiores taxas de oxidação. Processos envolvendo altas taxas de biodegradação da matéria orgânica necessitam de menores áreas de projeto. No entanto, a seleção do método a ser utilizado depende primeiramente da natureza do resíduo, da localização da unidade de processamento e dos recursos financeiros disponíveis (SHAUB; LEONARD, 1996).

Segundo Kiehl (1998a), os principais métodos de compostagem são: natural e acelerada.

3.9.1. Compostagem natural

O método de compostagem natural identifica-se pelo fato do material a ser compostado passar por um tratamento prévio, ou seja, haver separação, por catação, dos componentes recicláveis, que poderão ser comercializados (papel, papelão, plástico, metais, vidro, encontrados no lixo domiciliar) (KIEHL, 1985).

A aeração do composto é realizada por revolvimentos manuais periódicos nas leiras de compostagem, dando a oportunidade, em cada revolvimento, de reposição da umidade adequada ao desenvolvimento do processo, bem como o controle de temperatura (PEREIRA NETO, 1996).

Este método é o mais adequado para as comunidades de pequeno e médio porte, em função de exigir pequenos valores de investimentos em sua implantação e despenderam menores custos em sua operação (PEREIRA NETO, 1994).

3.9.1.1. Compostagem pelo sistema “windrow”

Neste método de compostagem, é necessário que o local do processo seja tecnicamente apropriado. O projeto deve levar em consideração as condições do solo, topografia, sistema de drenagem existente, além de outras características específicas. As leiras

devem ser dimensionadas de forma que não haja perda de calor para manutenção do processo (SHARMA *et al*, 1997).

A mistura e aeração dos resíduos orgânicos no sistema “windrow” é realizada por meio de revolvimentos utilizando-se equipamentos mecânicos. A introdução de ar na massa de sólidos é feita por difusão e convecção (ANDREOLI, 2001).

De acordo com Fernandes e Silva, (1999) no momento em que é realizado o revolvimento, a matéria orgânica entra em contato com a atmosfera rica em oxigênio, o que permite suprir momentaneamente as necessidades de aeração do processo biológico. O efeito do revolvimento é limitado e depende de outros fatores, principalmente porosidade, umidade e nutrientes.

Para Kiehl (1998a), o programa de revolvimento das leiras deve ser baseado na concentração de oxigênio, na temperatura e na umidade, considerando-se o parâmetro mais deficiente ou apenas dois ou os três conjuntamente.

Segundo Fernandes e Silva (1999), durante a compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana, para atender os seguintes objetivos:

- ✓ aerar a massa de resíduos em compostagem;
- ✓ aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio do resíduo;
- ✓ homogeneizar a mistura;
- ✓ expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência da desinfecção;
- ✓ , reduzir a granulometria dos resíduos, em alguns casos;
- ✓ diminuir o teor de umidade dos resíduos;
- ✓ controlar a temperatura do processo.

O sistema de leiras revolvidas pode gerar alguns problemas de odor no início do processo. Esta emissão é mais intensa no momento do revolvimento. Formas de amenizar este problema é aumentar a frequência de revolvimento, para evitar anaerobiose (KIEHL,1998a).

Segundo Kiehl (1985), há uma relação ideal entre a porosidade e o conteúdo de água do material orgânico em compostagem. De maneira geral, a porosidade total deve estar entre 30% e 36% e teor de umidade entre 55% e 65%. Materiais de consistência firme e de granulometria grosseira, estruturalmente resistentes, garantem melhor aeração, pelo fato de não se compactarem pela pressão exercida pelas camadas superiores. Materiais tenros, amorfos e de granulometria fina, como lodos, possuem poucos espaços vazios, sendo difícil manter boa aeração na pilha ou leira.

Normalmente, em sistemas “windrow”, onde a mistura de resíduos está bem equilibrada, nos primeiros 2 - 4 dias de compostagem, a temperatura deve passar dos 55°C e se estabilizar em torno de 60°, durante toda a etapa de estabilização, que terá duração variável, em função das características dos resíduos e da operação do sistema. Um período de 1 a 2 meses, normalmente é suficiente para que a etapa termófila complete seu ciclo. Na etapa seguinte, de maturação, o composto normalmente é transportado para um pátio específico, onde a necessidade de aeração é menor, podendo o revolvimento ser realizado a cada 20-25 dias. O final da etapa de maturação pode ser comprovado por testes específicos, porém tem duração média, de 2 a 3 meses. Após a maturação, o composto pode ser peneirado e ensacado, ou então vendido a granel (FERNANDES, 1999).

O sistema “windrow”, embora seja aplicável para qualquer tipo de resíduos, não é recomendável para resíduos domiciliares e outros que podem gerar problemas de odores, como lodos que contém altos teores de nitrogênio. Este sistema é o mais econômico e consiste da montagem das leiras e de um revolvimento a cada ano. O controle da umidade é necessário para manter o processo na faixa ideal. A medida essencial de qualquer processo é a temperatura, que indica a eficiência da compostagem. Neste processo, também se pode controlar a temperatura e umidade pela configuração geométrica da leira. Este sistema de compostagem é simples; no entanto é sugerido que seja implantado em regiões com pouca densidade populacional e com proteção ambiental através da instalação de cortina vegetal para emissão dos odores (REIS, 2005)

3.9.2 Compostagem acelerada

Os principais processos de compostagem acelerada são:

3.9.2.1. Compostagem com digestor

É um processo recomendado para cidades com mais de 200 mil habitantes. Alguns estudiosos afirmam que a compostagem acelerada difere da compostagem natural pela presença de apenas um equipamento conhecido como digestor, reator ou bioestabilizador. KIEHL (1998a).

Haug (1980) afirma que há uma diferença a ser considerada, operando-se 100 toneladas/dia de matéria seca, entre a compostagem a céu aberto ou natural e a que emprega um digestor. É que, na usina de compostagem acelerada, emprega-se uma metodologia especial para o tratamento do lixo domiciliar. Além do digestor, usam-se outros equipamentos, que não constam em uma usina de compostagem acelerada, tais como:

- a) fosso com parte rolante;
- b) separador eletromagnético;
- c) separador pneumático;
- d) separador balístico;
- e) tratamento de águas residuárias;
- f) controle de qualidade.

A compostagem realizada em reatores biológicos é um processo com sistema fechado, onde se permite controlar todos os parâmetros importantes do processo. Fernandes & Silva (1999) avaliaram que este tipo de processo apresenta-se vantajoso devido ao período reduzido da etapa termofílica, o que, em alguns casos, conferiu à compostagem em reatores, a denominação de “compostagem acelerada”. Devido às condições operacionais deste sistema, supõe-se que tenha mais eficiência na mistura, equilibrando a temperatura em toda a massa de resíduos, garantindo a eliminação eficiente dos patógenos. Outra característica importante deste tipo de tratamento é o maior controle dos odores, pois o sistema é fechado e a aeração controlada.

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias, portanto, requer menor espaço para implantação (Fernandes & Silva, 1999). A aeração é realizada sob pressão, onde a taxa é facilmente controlável, devido o sistema ser fechado. Mesmo tendo uma etapa termófila mais rápida e intensa, o composto ainda deve passar por um período de maturação de mais ou menos 60 dias antes de ser utilizado. Este tipo de sistema é dependente principalmente de equipamentos mecânicos, comparando-se aos sistemas de leiras (REIS *et al*, 2003).

3.9.2.2. Compostagem com leira estática aerada

De acordo com Kiehl (1998a), a leira estática difere da compostagem natural, pelo fato de não sofrer nenhum revolvimento, não sendo recomendável para todo tipo de resíduo sólido, visto que o material a ser compostado deve ser homogêneo e possuir granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade ao ar insuflado, sob baixa pressão.

Segundo Willson *et al.* (1980), o método de compostagem da leira estática aerada - aeração forçada - foi desenvolvido na estação experimental de Seltville, no estado de Maryland, USA, sendo também conhecido como método da pilha estática. O sistema de compostagem por Leiras Estáticas Aeradas é um processo onde a oxigenação da massa de compostagem se dá por equipamento mecânico nas leiras de compostagem.

O processo consiste em colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada, de 10 cm de diâmetro em forma de retângulo e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada com 15 a 20 cm de espessura, servindo de leito filtrante para o lixiviado e também para facilitar a passagem do ar na leira, que será insuflado ou aspirado através dos orifícios da tubulação. Sobre esta drenagem é montada a leira, formada pela mistura de resíduos (Kiehl, 1998a). No final da montagem, recobre-se a leira com uma camada fina de composto maturado e peneirado, cuja finalidade é reter o calor na pilha e filtrar os gases, diminuindo os odores. Fernandes (1999) recomenda 5 cm para esta camada, enquanto Kiehl (1998a) indica 30 cm.

O sistema de aeração forçada permite a formação de leiras em duas configurações, ou seja: leiras isoladas, onde pode ser formada uma leira a cada dia e na outra forma de leiras

agrupadas, onde a massa de resíduos é colocada em blocos compactos de grandes dimensões, sendo a primeira alternativa de melhor controle (FERNANDES; SILVA, 1999).

Nas estáticas, a compostagem é realizada com o insuflamento de ar forçado na massa de degradação. Com isso, tornam-se necessários equipamentos de controle, bem como de dispositivos adequados à perfeita difusão do ar na leira, que é conseguido com a utilização de tubulações de PVC de DN de 150 mm, com furos de ½” a 1” a cada 10cm (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Nessas leiras, devido ao insuflamento mecânico de ar, a degradação ocorre em menor tempo, sendo essa uma das grandes vantagens desse processo (NÓBREGA; PEREIRA NETO, 1990)

Os sistemas de Leiras Estáticas Aeradas – Aeração Forçada – têm se constituído um dos mais eficientes processos, de baixo custo, para o tratamento de resíduos orgânicos (lixo urbano, lodos de esgoto, etc.) (SCHULZE, 1981).

Os modos de aeração nas leiras de compostagem são por injeção de ar (modo positivo) e por sucção de ar (modo negativo), sendo que, o modo positivo, de acordo com Finstein *et al* (1985), é o que apresenta mais vantagem.

A aeração de leiras de composto é bem discutida e utilizada por vários autores (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1994a; NÓBREGA, 1991; VITORINO; PEREIRA NETO, 1994; PEREIRA NETO, 1996; SILVA *et al.*, 2000). Vários modelos de equipamentos, mecânicos ou não, podem ser utilizados em leiras de compostagem para promover a aeração e, por conseguinte, o aumento da temperatura e a aceleração do processo.

3.10. Vantagens e desvantagens dos sistemas

Uma compostagem eficiente não depende necessariamente de utilização de tecnologia sofisticada. É necessário um controle da qualidade dos resíduos que serão processados e monitoramento do processo, como forma de garantir a produção ambientalmente correta de um composto orgânico. Para a determinação da tecnologia a ser utilizada, é necessário avaliar os critérios técnicos e econômicos. As principais vantagens e desvantagens dos três sistemas são apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras Revolvidas	1. Baixo investimento inicial;	1. Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas;
	2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos;	2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento;
	3. Simplicidade de operação;	3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito;
	4. Uso de equipamentos simples;	4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura;
	5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade;	
	6. Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento;	
Leiras estáticas aeradas	1. Baixo investimento inicial;	1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem;
	2. Melhor controle de odores;	2. Operação também influenciada pelo clima;
	3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema de leiras revolvidas	
	4. Possibilidade de controle da temperatura e da aeração;	
	5. Melhor uso da área disponível que o sistema de leiras revolvidas	
Compostagem em reatores biológicos	1. Menor demanda de área	1. Maior investimento inicial;
	2. Melhor controle do processo de compostagem;	Dependência dos sistemas mecanizados especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção;
	3. Independência de agentes climáticos;	3. Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos;
	4. Facilidade para controlar odores;	4. Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada;
	5. Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema).	

Fonte: Fernandes & Silva (1999)

3.11. Fontes potenciais de resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos podem ser classificados em duas categorias, tais como resíduos agroindustriais e derivados de áreas urbanas (Sharma *et al.*, 1997). Dentre estes, os principais grupos são os dejetos de animais, os resíduos de colheitas, os restos de frutas e vegetais, a biomassa aquática, os resíduos de peixes e similares, os resíduos industriais e os resíduos de habitação humana, entre outros apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Fontes potenciais de matéria orgânica

N°	Matéria orgânica
1	Resíduos de agricultura (da colheita e de dejetos de animais): esterco e urina de animais, casca de arroz, bagaços e outros resíduos de cereais.
2	Resíduos urbanos: fração orgânica do resíduo sólido domiciliar, lodos de tratamento de esgotos, resíduos verdes (podas e limpeza de praças)
3	Resíduos de processamento de madeira: serragem, cavacos e cascas de madeira.
4	Resíduos de processamento de alimentos: indústria da cana, maltarias, leiteira, processamento de peixes, resíduos de indústria de doces, vinhos, óleos, etc.
5	Outros resíduos industriais: resíduos de fermentação, resíduos da indústria de papel e celulose, lodo de tratamento de efluentes da indústria de tanino, etc.
6	Outros resíduos locais e especiais: casca de coco, bagaços, ervas de chás.
7	Resíduos humanos de habitações: fezes e urina
8	Biomassa aquática: macrófitas.

Fonte: Sharma *et al.* (1997)

Os resíduos gerados em atividades rurais estão facilmente disponíveis, no entanto localmente de forma dispersa, para serem reaproveitados conjuntamente. Os resíduos orgânicos urbanos podem mais facilmente ser utilizados conjuntamente em unidades de tratamento. Lodos de esgoto, por exemplo, são uma fonte potencial importante de nitrogênio, fósforo e potássio, que são elementos fundamentais para o crescimento das plantas (REIS *et al.*, 2003).

O manejo intensivo de solos com aplicações sucessivas de culturas e mau uso de fertilizantes minerais têm causado efeitos adversos ao ambiente. Diante disto, é crescente a busca de alternativas que promovam a fertilidade do solo com o mínimo impacto ambiental. Produtores têm avaliado a indicação de complementos minerais e orgânicos como forma consorciada de fertilização. Com base nesta situação, a reciclagem da matéria orgânica tem se tornado muito importante. A aplicação de fertilizante orgânico pode melhorar as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, elevando a sua produtividade. Lodos de esgoto possuem quantidades consideráveis de nutrientes necessárias às plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio e outros metais, que podem valorizar o seu potencial fertilizante (Sharma *et al.*, 1997).

É importante salientar que a produção de um composto orgânico de boa qualidade requer matéria orgânica que não esteja contaminada com substâncias tóxicas. Entre os principais problemas apresentados em compostos orgânicos não produzidos adequadamente estão a presença de metais pesados, os materiais inertes e a instabilidade biológica. Porém, não há contaminação que não possa ser evitada com uma separação na fonte ou uma “catação” (triagem) e/ou peneiramento eficientes na unidade de triagem e compostagem. Portanto, para produzir um composto de boa qualidade, é necessário adotar processos de purificação da matéria orgânica com implantação de tecnologias apropriadas, tais como: triagem manual, separador magnético, separador balístico (PEREIRA NETO, 1989 *apud* REIS *et al.*, 2000).

Segundo Gouvêa e Pereira Neto (1997), o aproveitamento de resíduos urbanos como alternativa de corretivos e fertilizantes mais baratos e, paralelamente, diminuição dos impactos ambientais, ocasionados pelo acúmulo e não aproveitamento destas fontes poluidoras parece ser uma solução pautada para o problema.

3.11.1. Resíduos sólidos urbanos

Há um elevado potencial para reaproveitamento da matéria orgânica nos resíduos sólidos urbanos, provenientes de diversas fontes, tais como resíduos sólidos domiciliares, resíduos verdes de podas urbanas, resíduos de coletas especiais em estabelecimentos comerciais, industriais e feiras, entre outros. A seleção dos resíduos e métodos deve levar em consideração os seguintes aspectos: a proteção ambiental, o gerenciamento do processo, a comercialização dos subprodutos e a sustentabilidade da solução adotada (SHARMA *et al.*, 1997).

Segundo Sharma *et al.* (1997), os resíduos sólidos urbanos podem ser divididos em três categorias:

- ✓ Matéria orgânica facilmente decomposta: restos de alimentos e similares.
- ✓ Matéria orgânica de difícil biodegradabilidade: madeiras, galhos verdes, papel e papelão não plastificado.
- ✓ Materiais inertes: plásticos, vidros, metais e outros sintéticos.

Os diversos processos de tratamento em unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos envolvem etapas de purificação para garantir a máxima recuperação e qualidade da matéria orgânica (REIS *et al.*, 2003).

3.11.2. Resíduo sólido domiciliar

Considerando-se as características dos resíduos sólidos no Brasil, observa-se o grande potencial de reciclagem destes, com o aproveitamento da matéria orgânica. O grande problema das chamadas “Usinas de Reciclagem de Lixo” é a triagem dos materiais na esteira ou local de separação dos resíduos recicláveis secos e rejeitos. Os materiais considerados rejeitos, como plásticos não recicláveis, madeiras, isopor e outros, são encaminhados ao pátio de compostagem juntamente com a matéria orgânica, prejudicando a operação no pátio, dificultando o peneiramento e interferindo negativamente na qualidade final do composto produzido. A qualidade do composto orgânico produzido é função de três fatores básicos: a característica da matéria prima, o tipo de sistema e a eficiência do controle operacional (REIS, 2005).

3.11.3. Resíduos “verdes”

Os resíduos sólidos “verdes”, caracterizados neste contexto como aqueles provenientes das práticas de podas urbanas e de sobras de produtos hortifrutigranjeiros, representam uma considerável fração dos resíduos orgânicos gerados em um município. Estes resíduos, principalmente os de podas, apesar de sua grande concentração de lignina, são biodegradáveis, sendo classificados pela norma da ABNT (ABNT, 2004) como resíduos Classe II A – não inertes, podendo, desta forma, receber tratamento e destinação final similares aos dispensados aos resíduos domiciliares (BIDONE *et al.*, 2001).

Um composto de excelente qualidade pode ser obtido na compostagem dos chamados “resíduos verdes” provenientes de coletas especiais, contendo restos de frutas, verduras e principalmente materiais resultantes da limpeza de jardins, como gramas, folhas e galhos. Entre as fontes principais destes resíduos, estão as indústrias de alimentos, os supermercados, as feiras e os serviços de limpeza de áreas verdes. É possível a presença de fitopatógenos em qualquer resíduo, que geralmente são destruídos na compostagem. A presença de contaminantes químicos é evitada pela adequada segregação na origem. A característica principal dos resíduos provenientes das podas é alta relação C/N, a mistura com

resíduos ricos em nitrogênio pode resolver o problema na compostagem, como resíduos vegetais que possuem alto poder de fermentação (SHARMA *et al.*, 1997).

3.11.4. Resíduos provenientes de centrais de abastecimento

Restos orgânicos provenientes de centrais de abastecimento e de processamento de alimentos possuem grande potencial de reaproveitamento via compostagem. A compostagem deste tipo de resíduo tem sido avaliada em vários países, pelo fato deste processo converter o resíduo em um produto estável e livre de patógenos. Segundo Van Heerden *et al.* (2002), o processo de compostagem, quando corretamente executado, destrói os patógenos e as ervas daninhas através do calor metabólico gerado pelos microrganismos durante o processo (REIS *et al.*, 2003).

3.11.5. Resíduos provenientes da indústria de alimentos

Shaub & Leonard (1996) estimaram que o percentual de resíduos na indústria de alimentos poderia chegar a 30% da matéria-prima, que tradicionalmente são destinados em aterros sanitários. Os restos orgânicos provenientes de diversas fontes apresentam-se de várias formas, como folhas, talos, cascas, polpas, brotos e lodos. Na maioria dos casos, é necessário ajustar alguns fatores para a destinação destes resíduos ao processo de compostagem. Muitos apresentam elevada umidade, de até 90% e pH ácido. Portanto, é necessário acrescentar agentes estruturantes que ajustam estes fatores, além de proporcionar outras vantagens.

3.11. 6. Lodos de esgoto

De acordo com Sharma *et al* (1997), o lodo de esgoto é um dos resíduos mais estudados nos seus aspectos de aplicação no solo e nas interações solo-planta-animal com o Homem.

Em 1978, aproximadamente 23% do lodo produzido nas estações de tratamento nos EUA eram aplicados ao solo e, em 1986 o percentual passou a mais de 50%. O lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos domésticos pode ser uma apreciável fonte de N e P para as plantas, apresentando às vezes, entretanto, altos teores de elementos tóxicos e organismos patogênicos (TEDESCO; STAMMEL, 1986).

Fatores como alta umidade, baixa relação C/N e granulometria muito fina dos lodos de esgoto dificultam a compostagem deste resíduo isoladamente; portanto, é necessário agregar resíduos estruturantes que possuem baixa umidade, maior granulometria e alta relação C/N. A compostagem de lodos com outros resíduos estruturantes permitirá que o processo desenvolva-se com maior eficiência. A adição de materiais de maior granulometria facilitará a aeração e ajustes de umidade e nutrientes. O lodo é um resíduo rico em nitrogênio, apresentando relação C/N entre 5 e 11 (ANDREOLI *et al* 2001).

Sharma *et al.* (1997) mencionam que muitos países na Europa obtiveram sucesso na compostagem de lodos, devido às muitas vantagens deste processo, quando se tratando especificamente de lodos. Entre estas, citam as vantagens econômicas, tanto de investimentos quanto operacionais, e a produção de composto de boa qualidade, devido principalmente à codisposição de resíduos e à recuperação/tratamento adequado dos mesmos.

Britto Júnior (2003) estudou a produção de um composto orgânico usando lodo da estação de tratamento de esgoto e folhagens oriundos da CEASA-CE. Dos resultados auferidos ao final de sua pesquisa pode-se observar um produto de excelente qualidade física, de coloração escura, com odor agradável, com modificações acentuadas em suas características físicas e químicas, apresentando um produto estabilizado, com aporte de nutrientes com padrões de higienização de conformidade com parâmetros adotados no Brasil podendo ser utilizado principalmente na agricultura, sem causar poluição ambiental.

3.11.7. Resíduos provenientes de animais

A compostagem de resíduos provenientes de dejetos de animais deve ser considerada quando não há alternativa sanitária de disposição no solo. Estes resíduos possuem alto potencial de contaminação ambiental, pela carga de nutrientes e pela presença de patógenos. Assim, em termos sanitários e ambientais, é interessante tratá-los através do processo de decomposição aeróbia (REIS, 2005).

Os principais tipos de resíduos de animais são os esterco de animais, a ração, as carnes e os restos de comida secas. Estes resíduos possuem algumas semelhanças com o lodo de esgoto pela elevada umidade e conteúdo de nitrogênio, necessitando, portanto, de incorporação de estruturantes na compostagem (SHARMA *et al.*, 1997).

3.12. Controle dos impactos associados ao processo de compostagem

Como na compostagem de qualquer material orgânico, poderão surgir alguns impactos ambientais, caso a operação não atenda os critérios técnicos recomendados para o processo. É necessário que haja preocupação e cuidados nos seguintes casos: sistema mal operado, falta de reviramento de acordo com os prazos estabelecidos e sistemas que utilizam tecnologias inadequadas (KIEHL, 1998b).

De acordo com Pereira Neto (1996), basicamente, são três os agentes que poderão causar, de fato, impactos ambientais durante a operação do processo de compostagem: emissão de odores, proliferação de vetores e produção de chorume.

3.12.1. Emissão de odores

O lixo urbano tem características heterogêneas, ou seja, é composto por uma série de substâncias orgânicas, inclusive as mercaptanas e outros sólidos voláteis. Aliado aos hábitos da população e às condições climáticas do país, observa-se que os resíduos orgânicos domiciliares entram em putrefação ainda na fonte de produção (PEREIRA NETO, 1994).

Todo lixo domiciliar emana odores. Essas emissões fétidas poderão ser maiores para a população quanto maior for a quantidade de lixo existente nas unidades de compostagem, sem receber de imediato a temperatura adequada (PEREIRA NETO, 1999b)

Segundo Pereira Neto (1996), durante o período da compostagem, só haverá emissão de odores caso o sistema utilizado não esteja sendo operado tecnicamente, visto que a emissão de odores é sinal que o processo tornou-se anaeróbio, motivado, geralmente, pelos seguintes fatores:

- a) má definição do ciclo de reviramento;
- b) excesso de umidade;
- c) tamanho da partícula do material maior que 50mm;
- d) leiras de compostagem com configuração geométrica irregular.

3.12.2. Proliferação de vetores

A operacionalidade do processo de compostagem depende essencialmente do seu monitoramento. Por isso, na prática de compostagem devem ser monitorados os parâmetros que influenciam na compostagem: ciclo de reviramento, umidade, temperatura, granulometria e configuração geométrica das leiras (KIEHL, 1998b).

A maioria dos vetores biológicos está associada ao lixo urbano pelo fato de a fração orgânica do lixo se constituir um “habitat” propício à proliferação desses vetores, tendo em vista a existência constante de alimentos e abrigos. Assim, sempre que acontecer um destino final inadequado de resíduos sólidos urbanos, irá ocorrer atração e proliferação de vetores (PEREIRA NETO, 1989).

De acordo com Pereira Neto (1996), como a proliferação desses vetores representa problemas de ordem sanitária e ambiental, devem ser tomadas medidas para minimizá-la, tais como:

- a) estabelecer um rigoroso controle do sistema de compostagem a fim de que as leiras operem sempre na faixa termofílica, com a temperatura variando entre 45 a 60°C;
- b) cobrir a leira pelo menos por oito dias com uma camada de 10 a 20cm, de material inerte proveniente do peneiramento do composto maturado;
- c) limpar criteriosamente a usina de compostagem, incluindo lavagem de pisos, de equipamentos e ferramentas, utilizando detergentes biodegradáveis específicos.

3.12.3. Produção de chorume

O chorume é um líquido que se forma como resultado da decomposição dos resíduos, acrescido das águas da precipitação pluviométrica. Tem grande quantidade de matéria orgânica (elevada DBO), sendo, por isso, de alto potencial poluidor (MOTA, 2000).

De acordo com Kiehl (1998b), a produção de chorume é uma ocorrência biológica natural na massa de compostagem durante o processo de bioestabilização ativa, em quantidade resumida, o que por si não causa, em absoluto, nenhum impacto ambiental.

Quando o processo de compostagem é gerenciado corretamente, com certeza evitará qualquer problema relacionado ao chorume, mesmo porque a causa não está no chorume em si, mas em outros fatores externos, tais como: umidade, aeração e temperatura, que desagregam o comportamento da pilha ou leira e, conseqüentemente, originam a produção de chorume (PEREIRA NETO, 1994b).

De acordo com Pereira Neto (1980), dentre os fatores externos causadores da liberação do chorume, têm-se:

- a) falta de critérios na operação do sistema;
- b) excesso de umidade na massa de compostagem superior a 55%.

Segundo Pereira Neto (1996), para controlar as causas acima mencionadas, devem ser tomadas as seguintes medidas:

- a) as leiras de compostagem devem ser tratadas mantendo a umidade na faixa de 45 a 55%, durante a fase ativa, evitando-se, assim, a produção de chorume;
- b) aumentar o ciclo de reviramento para as leiras que apresentam umidade acima de 55%, adicionando composto orgânico já maturado e seco, na quantidade necessária para o equilíbrio da umidade;
- c) operar as leiras no limite máximo de umidade, em torno de 45%, durante o inverno na região.

3.13. Fases de compostagem

Segundo Pereira Neto *et al* (1986) e Kiehl (1985), a compostagem da matéria orgânica, é realizada em duas fases distintas: a de degradação ativa e a de maturação ou cura do composto.

3.13.1. Primeira Fase – Degradação Ativa

É nessa fase em que ocorrem as reações químicas mais intensas. É uma fase essencialmente termofílica, onde a temperatura influi consideravelmente no processo de compostagem (FINSTEIN, 1980).

De acordo com Pereira Neto (1996), logo que a matéria a ser compostada é empilhada, a flora mesofílica inicia o processo de degradação dos compostos imediatamente degradáveis e a energia liberada na forma de calor fica retida na massa de compostagem por causa das características térmicas do material, resultando um aumento de temperatura. Devido a condições favoráveis, tais como: nutrientes, umidade, aeração etc, a colônia mesofílica multiplica-se, aumentando a atividade de degradação e a temperatura atinge rapidamente a faixa termofílica, ou seja, em torno de 45°C. Quando a temperatura atingir valores acima de 40°C, a atividade microbiológica mesofílica, começa a ser substituída pela termofílica, e o pH, que inicialmente é ácido, passa para a faixa alcalina.

Logo que a temperatura atingir valores entre 55 a 60°C, as bactérias termofílicas, fungos e actinomicetos multiplicam-se, iniciando o ataque aos polissacarídeos (amido e celulose), transformando-se em subprodutos (açúcares simples, aminoácidos), que são utilizados por várias espécies de microrganismos (KIEHL, 1998a).

Essa faixa de temperatura (55 – 60°C) caracteriza a fase de degradação ativa. Dependendo do processo utilizado, constitui-se no principal mecanismo responsável pela eliminação de organismos patogênicos (ALEXANDER, 1977).

Na fase de degradação ativa, objetiva-se basicamente maximizar a degradação e eliminar os microrganismos patogênicos (PEREIRA NETO, 1996).

3.13.2. Segunda Fase – Maturação

A fase de maturação ou de cura do composto tem duração aproximada de 60 dias, com a temperatura ainda em decréscimo, variando entre 45°C e 30°C (PEREIRA NETO *et al*, 1989).

De acordo com Pereira Neto (1996), durante a fase de maturação, os fungos e, principalmente, os actinomicetos, tornam-se os grupos dominantes, dando continuidade à degradação de substâncias mais resistentes, como a celulose e a lignina. Ocorrerão complexas reações enzimáticas, levando à produção de húmus por meio, principalmente, da condensação entre ligninas e proteínas.

A fase de maturação é caracterizada pela decomposição bioquímica de substâncias mais complexas, pela ação dos fungos e dos actinomicetos, que provocam a humificação dessas substâncias, no decorrer das reações bioquímicas (PEREIRA NETO, 1993).

Segundo Kiehl (1985), esta fase inicia-se quando a temperatura interna da pilha ou leira permanece com 45°C. Neste período em que se inicia a maturação, os actinomicetos e fungos, que estão situados nas zonas periféricas da pilha ou leira, invadem a massa em decomposição, degradando as substâncias mais resistentes (celulose, óleos, gorduras, ligninas) e outros de estrutura mais complexas dando, assim, continuidade ao processo e liberando elementos químicos como o Cálcio, o Fósforo, o Magnésio e o Nitrogênio, que passam da forma conhecida como mobilizada para nutrientes minerais na forma mineralizada.

De acordo com Pereira Neto *et al* (1989), o material compostado só poderá ser chamado de composto e utilizado como fertilizante orgânico quando a matéria orgânica for estabilizada até atingir a humificação.

Segundo Pereira Neto (1996), o uso do material não saturado poderá ocasionar vários efeitos nocivos às plantas cultivadas, tais como:

- a) interferência no crescimento das plantas;
- b) produção de toxinas inibidoras ao metabolismo das plantas;
- c) alta relação C/N, ocasionando a redução bioquímica do Nitrogênio do solo;

3.14. Composto orgânico: produção e aplicação

De acordo com Silveira, *et al.*, 2005 a qualidade do composto depende dos resíduos utilizados para sua produção e da evolução das condições do processo de compostagem. Na avaliação da qualidade do composto é importante considerar os parâmetros físicos, químicos e biológicos, para que o mesmo possa ser utilizado.

Ao final de todo o processo de compostagem, tem-se o composto, também chamado de material húmico, como resultado, que em razão de suas propriedades coloidais, tem grande importância na agregação do solo, para o qual é uma considerável fonte de nutrientes para a vegetação, favorecendo sua estrutura e a retenção de água e estabilizando os nutrientes com o tempo (BARREIRA, 2005).

Barreira (2005, p.47) afirma que:

Este composto desempenha o papel de fornecedor de nutrientes para as plantas, pois possui macronutrientes (absorvidos em maior quantidade), tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, e macronutrientes (absorvidos em menores quantidades) com ferro, zinco, cobre e manganês, boro. Esses nutrientes, ao contrário do que ocorre com os adubos minerais, liberando os nutrientes de acordo com as necessidades das plantas. Além de neutralizar várias toxinas e imobilizar metais pesados, tais como cádmio e chumbo, diminuindo a absorção desses metais prejudiciais às plantas, o composto funciona também como uma solução tampão impedindo que o solo sofra mudanças bruscas de acidez ou alcalinidade.

De acordo com Pereira Neto (1996), devido ao fato de o composto ter propriedades que ajudam o solo, este pode ter sua aplicação e uso em diversas atividades como: horticultura, fruticultura, produção de grãos, parques, jardins, em projetos paisagísticos, reflorestamento, hortos e produção de mudas, recuperação de solos esgotados, controle de erosão, proteção de encostas e taludes, cobertura de aterros etc.

De acordo com o mesmo autor, as aplicações variam de acordo com as características do próprio composto, do solo, do clima, com o tipo de cultura, a atividade agrícola, a forma de adubação, dentre outros aspectos. Desse modo, para cada uso do composto é requerida uma taxa de aplicação, como nas atividades agrícolas, o valor médio de aplicação tem sido de 15 t/ha, para a aplicação por lance. As aplicações por cova restringem-se a taxas de 2 a 10 litros por cultura.

Peixoto (1988), Pereira Neto (1993) e Costa (1994) relatam em seus trabalhos que os compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos em nosso país vêm sendo empregados na horticultura (fruticultura, olericultura, hortas e jardins, projetos paisagísticos, reflorestamento, hortos e produção de mudas), controle da erosão, proteção de encostas e taludes, recuperação de solos esgotados e coberturas de aterro.

O composto orgânico é formado de húmus e proteínas resultantes da compostagem da matéria orgânica. Sua produção satisfatória é obtida somente por meio de processos aeróbios controlados (PEREIRA NETO; CUNHA, 1995).

Um composto orgânico de qualidade, além de ter perfeita maturidade, deve apresentar características e propriedades que não torne o produto inadequado para o uso agrícola, visto que exerce profundos efeitos nas propriedades do solo, os quais, por sua vez, resultam no aumento da produtividade vegetal (KIEHL, 1979).

Segundo Pereira Neto (1989), o composto orgânico, assim definido, é obtido e indicado para aplicações e usos múltiplos em diversas atividades, como:

- a) agricultura – produção de grãos, horticultura e floricultura;
- b) paisagismo – parques, vias públicas, jardins e “playgrounds”;
- c) reflorestamento – hortos e produção de mudas;
- d) solo – recuperação de solos esgotados, controle de erosão, proteção de taludes e encostas e coberturas de aterros.

Os adubos orgânicos devem ser usados periodicamente e por longo tempo, pois seus efeitos são cumulativos, melhorando as propriedades físicas do solo e fertilizando as culturas (SCHALCH *et al*, 1995).

3.15. Benefícios e vantagens provenientes da utilização do composto orgânico

Stevenson (1982), Berton (1996), Pereira Neto (1996) e Monteiro (2005) relatam que, dentre os inúmeros benefícios e vantagens da utilização do composto orgânico, nas atividades agrícolas, merecem destaque:

- b) retenção de umidade do solo, aumentando a permeabilidade e a porosidade, e melhorando a aeração e drenagem;
- c) prevenção de erosão e de lixiviação do nitrogênio orgânico;
- d) melhoria das propriedades biológicas do solo;
- e) fornecimento de macronutrientes (N, P, K);
- f) fornecimento de micronutrientes (Fe, Zn, Cu);
- g) melhoria da consistência do solo;
- h) aumento da capacidade de troca iônica;
- i) aumento da ação quelatante dos metais;
- j) melhoria da estrutura do solo, tornando-o poroso e agregando suas partículas que se transformam em grânulos;
- k) incremento, de 20 a 70 %, da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo;
- l) aumento da capacidade de absorção e armazenamento de água e solo;
- m) redução radicalmente a erosão, evitando o deslocamento violento de água e amortece o impacto das gotas de chuva na superfície dos solos;
- n) aumento da estabilidade do pH do solo;
- o) aumento da retenção dos macronutrientes, impedindo seu arraste pela chuva;
- p) fornecimento de nutriente às plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, quantidade total em torno de 6% de seu peso;
- q) aumento da aeração do solo, necessária à oxigenação das raízes;
- r) melhoria da drenagem de água no solo;
- s) aumento da retenção do nitrogênio no solo;
- t) estímulo da vida microbiana, aumentando a homeostase do solo, reduzindo o risco de pragas e doenças;

3.16. Classificação dos compostos orgânicos

Segundo Kiehl (1979b), os compostos orgânicos foram classificados como:

- a) **Composto cru:** É aquele que está ainda em início de decomposição e é danoso às sementes e raízes se colocado em contato com elas. Antes de utilizá-lo, deve-se deixar curtir em montes durante, no mínimo, 30 dias;

b) Composto bioestabilizado (semi-curado): É aquele que apresenta $\text{pH} < 7,0$ (Kiehl, 1979a) e não mais causa danos às sementes ou às raízes quando em contato, porém, ainda não é um condicionador perfeito do solo, pois seu conteúdo em colóides é baixo; no solo, irá continuar seu processo de cura, enriquecendo-se em húmus;

c) Composto humificado (curado): É o produto que possui $\text{pH} > 7,0$ e sofreu processo completo de fermentação, sendo o mais rico em nutrientes que passaram de forma orgânica para mineral, assimilável pelas raízes e com maior teor de material coloidal, responsável pela sua capacidade de melhoria do solo. (KIEHL 1980; KIEHL; PORTA, 1981)

De acordo com Kiehl (1998a), os conceitos de maturidade e qualidade do composto orgânico são os seguintes:

a) Maturidade do composto: É o resultado de uma correta decomposição microbiológica da matéria orgânica, originando nutrientes e húmus;

b) Composto de qualidade: Além de perfeita maturidade, o composto deve apresentar características e propriedades que não torne o produto inadequado para o uso agrícola.

3.17. Contaminação do composto orgânico por metais pesados

Vários autores (Grossi, 1993; D. King, 1996; Cravo *et al.*, 1998; Kiehl, 1998a) reportam, em seus trabalhos, que as principais fontes antropogênicas de metais pesados no ambiente são as atividades industriais, agricultura e a queima de combustíveis fósseis.

Outro aspecto deste problema, que vem merecendo atenção das autoridades e pesquisadores de vários países, é o gerenciamento da disposição das pilhas e baterias que estão em nosso dia a dia como fonte de energia para relógios, brinquedos, telefones, veículos automotores e computadores (MAZUR, 1997).

Pesquisas realizadas pelo IPT (2000), com amostras de composto de usinas do Estado de São Paulo, apresentaram valores médios de metais pesados: cobre (Cu) = 182 mg/Kg, zinco (Zn) = 433 mg/kg, chumbo (Pb) = 188 mg/kg, cromo (Cr) = 54 mg/kg, níquel (Ni)

= 22mg/Kg e cádmio (Cd) = 6 mg/Kg. Ainda ressalta a pesquisa que, de acordo com a legislação de alguns países, esse composto poderia ser aplicado em solos da França, Áustria e Itália, sendo proibido na Suíça, pela concentração de cádmio e chumbo.

Nesse sentido, é oportuno citar o trabalho de Rousseaux (1988), em que as pilhas colaboram com 90% do Hg, 45% do Cd e 20% do Ni, no lixo francês, embora só representem 0,17% em peso do total deste lixo.

De acordo com Van Heerden *et al.* (2002), são dois os mecanismos de contaminação de matéria orgânica por metais pesados, durante a compostagem. O primeiro mecanismo é a contaminação direta, por meio da incorporação de partículas finas, como óxidos metálicos, cinzas e limalhas à matéria orgânica úmida. E por último, a contaminação por lixiviação de íons metálicos da parte inorgânica para a matéria orgânica.

A literatura especializada registra que o beneficiamento de compostos orgânicos com baixos teores de metais depende, fundamentalmente, de uma melhor separação dos inertes do lixo, desde a fonte geradora até o processo de compostagem (EGREJA FILHO; PEREIRA NETO, 1995). Ainda segundo os autores, é necessário controlar a ocorrência de metais pesados (Hg, Cd e Pb) no composto orgânico, em virtude de não possuírem “interesse agrônômico” e produzir composto orgânico de alta toxicidade.

Como em nosso país o material a ser compostado não recebe o tratamento de separação adequado, entende-se, então, os motivos pelos quais, Grossi (1993) e Egreja Filho & Pereira Neto (1995) recomendam o monitoramento dos metais pesados neste tipo de produto.

De acordo com Pereira Neto (2001), os principais problemas de contaminação na compostagem são devidos a determinados elementos químicos, a exemplo dos metais pesados, porém vários trabalhos desmistificaram cientificamente os erros de interpretação e exageros sobre esse tema, principalmente porque pouquíssimos resíduos orgânicos de uso na compostagem são contaminados por metais pesados (GOLUEKE 1977; EGREJA FILHO 1993 e FERNANDES, 1999).

3.18. Composto Orgânico e Legislação Brasileira

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública, com exceção dos resíduos radioativos que são de competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear. A norma atualizada distingue quatro classes: Classe I – resíduos perigosos, Classe II – resíduos não perigosos, subdivididos em Classe IIA e Classe IIB, não inertes e inertes, respectivamente. Portanto a maioria dos resíduos orgânicos *in natura* ou “crus”, por serem biodegradáveis, será classificada como Classe II A – não inerte. O teste de solubilização determinará se o resíduo é não inerte.

O composto orgânico humificado pode ser considerado um fertilizante orgânico e definido com sendo todo produto de origem vegetal ou animal que, aplicado ao solo em determinadas quantidades, em épocas e formas adequadas, proporciona melhorias de suas qualidades físicas, químicas e biológicas, podendo atuar como um corretivo da acidez, um complexante de elementos tóxicos e uma fonte de nutrientes às plantas, garantindo a produção de colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ao ambiente (KIEHL, 1985).

Até 1982 não havia regulamentação para os fertilizantes orgânicos produzidos ou comercializados no Brasil. O decreto federal nº 75.583, de 09/04/75, que regulamentou a Lei 6.138 de 08/04/74, referiu estes insumos agrícolas em seu artigo 13 como: “Ficam dispensados de registro: esterco curado, lixo fermentado, cinzas, turfas, fuligens e outros resíduos, quando vendidos com sua denominação exata” (BIDONE *et al.* 2001).

Na legislação brasileira, o decreto federal nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, regulamenta os fertilizantes organominerais. Nesse decreto, estabelece-se a definição “Fertilizante organomineral – fertilizante proveniente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”. Complementam este decreto a portaria nº 31 do Ministério da Agricultura, de 8 de junho de 1982, que aprova os métodos analíticos que passaram a constituir os métodos padrões e oficiais para análise de fertilizantes, e a Portaria nº 1 do mesmo Ministério, de 4 de março de 1983, que fixa especificações, garantias e tolerâncias dos produtos. Esta portaria define alguns parâmetros que devem ser respeitados para o composto em geral, que é colocado à venda no mercado. São fixados parâmetros genéricos, sendo que

um bom composto de lodo de esgoto pode apresentar características muito superiores aos critérios nela definidos. Por outro lado, a Portaria não toca em questões importantes para a qualidade de compostos, como os metais pesados e microrganismos patogênicos (REIS, 2005).

O composto não deve ser visto como um substituto do adubo mineral, mas sim como um condicionador de solos, cujo uso permite melhorar suas condições gerais a longo prazo, fazendo com que as plantas aproveitem melhor o adubo mineral incorporado (FERNANDES; SILVA, 1999).

Em 14 de janeiro de 2004, foi aprovado o Decreto 4954, que regulamentou a Lei 6894 sobre a inspeção e fiscalização de produção e comércio de fertilizantes.

A literatura norte americana e européia classifica o composto orgânico como melhorador ou condicionador do solo, enquanto que a legislação brasileira o classifica como fertilizante orgânico (KIEHL, 1998a).

O composto orgânico produzido a partir de resíduos urbanos domiciliares é enquadrado na lei como fertilizante orgânico. Os textos legais que dispõem sobre o assunto são: Legislação Brasileira, do Ministério da Agricultura, Decreto-Lei 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, que condiciona a comercialização de composto a seu prévio registro no Ministério da Agricultura e várias portarias. A Portaria MA-84, de 29 de março de 1982, e a Portaria 01, da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura, de 4 de março de 1983, fixam parâmetros físicos, químicos e de granulometria, juntamente com as tolerâncias admitidas, conforme mostram as Tabelas 3.6 e 3.7

Tabela 3.6 - Valores dos principais parâmetros físicos e químicos para o controle de composto orgânico conforme a legislação em vigor no Brasil.

Parâmetro	Valor	Tolerância
pH	mínimo de 6,0	Até 5,4
Matéria orgânica	máximo de 40%	Até 36%
Nitrogênio Total	mínimo 1,0	Até 0,9%
Umidade	máximo 40%	Até 44%
Relação C/N	máximo 18/1	Até 21/1

Fonte: KIEHL (1985)

Tabela 3.7 – Especificação para a granulometria

Granulometria	Exigência (o produto deve passar)	Tolerância
Farelado	100% em peneira de 4,8mm 90% em peneira de 2,8mm	Até 85%
Farelado Grosso	100% em peneira de 38mm 90% em peneira de 25mm	Não admite

Fonte: KIEHL (1985)

Após a Portaria nº 1 do Ministério da Agricultura foram aprovadas as seguintes instruções normativas (IN):

- IN Nº 10 de 10, de maio de 2004: classifica os fertilizantes de acordo com a natureza, quantidade de nutrientes, por categoria e modo de aplicação;
- IN Nº 10, de 18 de outubro de 2004: aprova as definições e normas para fertilizantes minerais;
- IN Nº 15, de 22 de dezembro de 2004: aprova as definições e normas para fertilizantes orgânicos e outros. De acordo com esta instrução normativa, o composto de “lixo” é definido como fertilizante orgânico composto, obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes; ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. E este pertence à classe C, ou seja, fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura. Para esta classificação, são determinados os limites e tolerâncias apresentados na tabela 3.7. Observa-se que ainda não foram determinados os limites para contaminantes químicos ou biológicos.

Tabela 3.8 – Especificações dos Fertilizantes orgânicos, misto e composto.

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (min.)			1		
CO (min)		15			10
CTC					
pH (min.)	6,0	300		6,0	6,0
C:N (máx.)		6,5			12
CTC/C (MIN.)		18		30	20
Soma NPK			2		

Fonte: REIS (2005)

Convém frisar que a legislação brasileira é omissa para o composto orgânico, quanto à presença de metais pesados, fator que preocupa os países desenvolvidos, quando se trata de composto oriundo do lixo urbano, que contém baterias, lâmpadas opacas, cerâmicas, tinta de impressão, couro, entre outros.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Cenário da pesquisa

A pesquisa foi realizada no Banco de Mudanças da Prefeitura Municipal de Sobral, situado entre as coordenadas geográficas $3^{\circ} 41' 10''\text{S}$ e $40^{\circ} 20' 59''\text{W}$, localizado na região Norte do Estado do Ceará, em pleno domínio do tipo climático tropical quente semi-árido, caracterizado por apresentar apenas duas estações climáticas ao longo do ano, uma chuvosa e outra seca. A média geral das precipitações pluviométricas alcança cerca de 820 mm, com temperaturas médias de 22°C , na época mais fria, e $33,3^{\circ}\text{C}$, na época mais quente⁴.

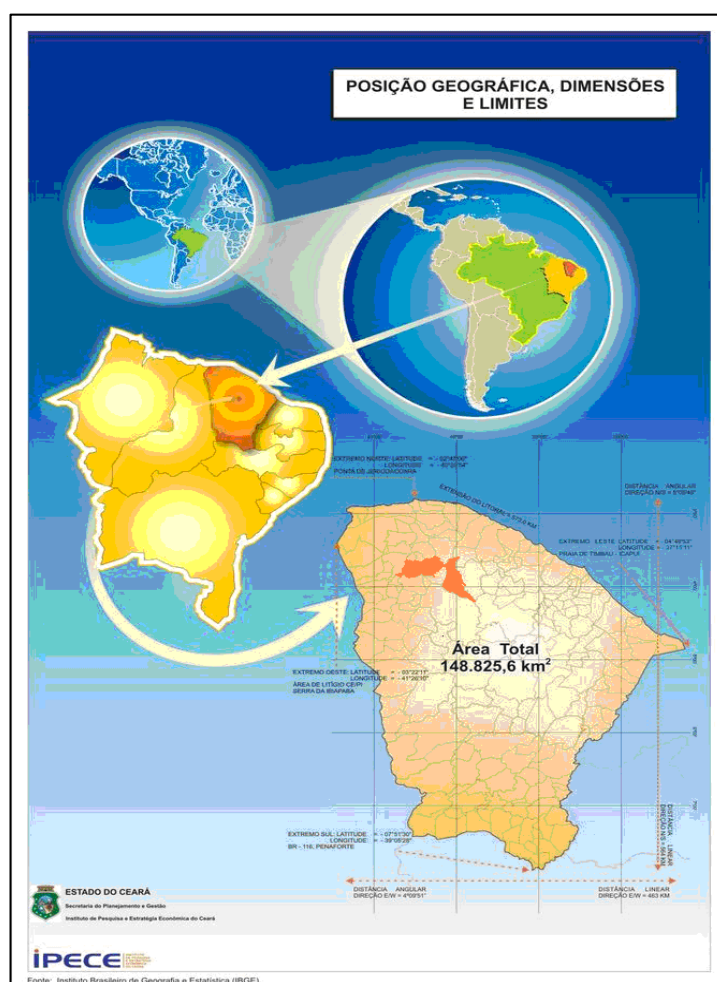


Figura 4.1 - Posição geográfica do município de Sobral no Estado do Ceará

Fonte: IPECE/FUNCEME - Adaptado pelo autor

⁴ Disponível em: < <http://www.sobral.ce.gov.br> >. Acesso em 21 de Jan. 2008

O Município de Sobral ocupa uma área de 2.129 Km² e possui uma população, estimada pelo IBGE (2000), de 155.276 habitantes. A cidade produz diariamente, em média, 100 (cem) toneladas de resíduos sólidos que são recolhidos pelos serviços de coleta e encaminhados ao aterro sanitário do local, que possui uma área de 30 hectares e está localizado na estrada de acesso do Distrito de Jordão, no km 7⁵.

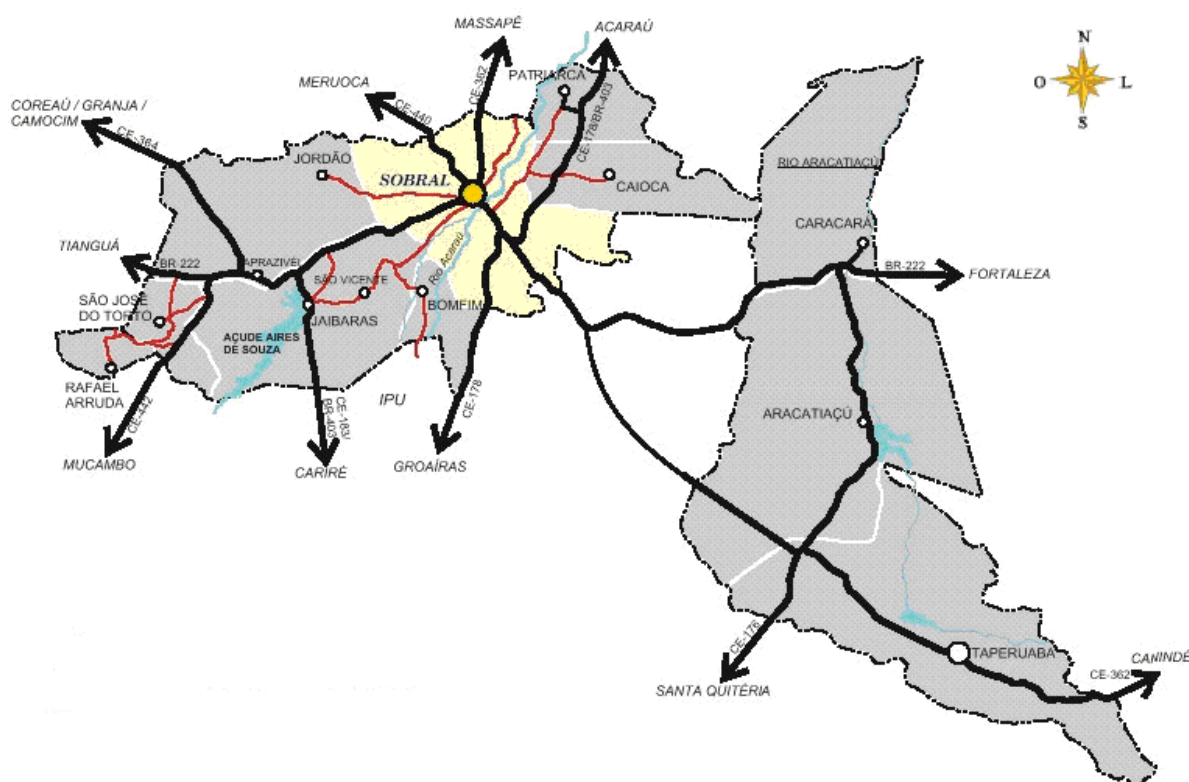


Figura 4.2 – Mapa do município de Sobral - Ceará

Fonte: IPECE/FUNCEME - Adaptado pelo autor

O banco de mudas, vinculado a AMMA - Autarquia Municipal de Meio Ambiente de Sobral, faz parte do programa municipal de arborização e conservação ambiental do referido município, produzindo mudas de espécies florestais nativas, frutíferas, ornamentais e exóticas adaptadas. Para atender a essa demanda, é produzido um composto de resíduos sólidos orgânicos com o material disponibilizado pela Prefeitura: esterco equino, folhagens de podas de árvores, raspa de madeira e palhas de carnaúba, utilizando-se um sistema de compostagem com reviramentos periódicos, que demanda maior tempo e menor quantidade de adubo produzido no final do processo do que o de leiras estáticas aeradas proposto neste

⁵ Disponível em: < <http://www.sobral.ce.gov.br> >. Acesso em 21 de Jan. 2008.

estudo.

A Figura 4.3 mostra uma vista frontal do Banco de Mudas do Município de Sobral, no Ceará.



Figura 4.3 – Banco de Mudas – Sobral, Ceará – 2006

4.2 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada para a montagem dos experimentos e obtenção do composto orgânico foi esterco equino e palhas de carnaúba trituradas, com partículas de 20 a 50 mm, *in natura*, obedecendo a uma proporção de 30% de esterco e 70% de palhas, sendo o experimento conduzido em duas fases distintas: degradação ativa e maturação.

4.3. Experimento

O experimento foi instalado com três tratamentos, sendo 1 (um) sob o modo positivo; 1 (um) sob o modo negativo e 1 (um) sob o modo híbrido, envolvendo a seguinte proporção: 30% de esterco equino e 70% de palhas, para todos os tratamentos, de acordo com Leitão (2002)

Cada tratamento foi repetido 3 (três) vezes, perfazendo assim, um total de 9 (nove) parcelas, conforme descrição abaixo:

- a) LMTA – 01P: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Positivo
- b) LMTA – 02P: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Positivo
- c) LMTA – 03P: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Positivo
- d) LMTA – 01N: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Negativo
- e) LMTA – 02N: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Negativo
- f) LMTA – 03N: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Negativo
- g) LMTA – 01H: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Híbrido
- h) LMTA – 02H: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Híbrido
- i) LMTA – 03H: Leira de Material Triturado Aerada – Modo Híbrido

4.4. Montagem da leiras

A montagem das leiras (Figuras 4.4 e 4.5) foi feita manualmente e imediatamente após a mistura íntima dos materiais a serem compostados e logo após a correção da umidade para valores médios de 60,42%, para as leiras operacionalizadas sob o modo positivo, de 60,77%, para as leiras operacionalizadas sob o modo negativo e de 61,07%, para as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido, sobre um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, perfurado com furos de ½” a cada 10 cm, protegido por uma camada de capim, cuja finalidade era evitar entupimentos no tubo e distribuir melhor o ar na massa de compostagem, seguindo as recomendações feitas por Pereira Neto (1987a). Este tubo era conectado a uma bomba de aeração (soprador de ar) de ½ HP de potência por meio de um tubo de mesmo diâmetro sem perfuração.



Figura 4.4 – Montagem das Leiras. Sobral, Ceará, 2006

As referidas leiras foram montadas com aproximadamente as seguintes dimensões: 2,00m de largura, 4,00m de comprimento e 1,20m de altura, com uma seção reta triangular, seguindo o próprio ângulo de atrito dos materiais utilizados. Logo após a montagem, as mesmas foram cobertas com uma camada de palha com 10 cm de espessura, com a finalidade de protegê-las e filtrar os gases e odores emanados das leiras, de evitar atração de vetores e de permitir uma melhor distribuição da temperatura na massa de compostagem conforme descrito por Pereira Neto (1989).



Figura 4.5 – Montagem das Leiras. Sobral, Ceará, 2006

4.5. Sistema de aeração

Os sistemas de aeração utilizados nas leiras da referida pesquisa foram desenvolvidos segundo descrito na bibliografia especializada (PEREIRA NETO *ET AL*, 1986; NÓBREGA, 1991; VITORINO, 1991; PEREIRA NETO, 1992; FERNANDES, 1993). Neste processo, um soprador de ar, com motor de $\frac{1}{2}$ HP de potência, injetava ar na massa de compostagem, segundo o controle de um mecanismo eletromecânico em *feedback*, por uma sonda de controle (termistor) que informava ao sistema eletrônico (relé/termostato), a temperatura da massa de compostagem. Quando esta temperatura informada ao sistema era maior do que a temperatura máxima de controle das leiras (65° C), o sistema eletrônico acionava o soprador e a leira era automaticamente aerada. O sistema também era composto por um temporizador (*timer*) que acionava o soprador (por 2 minutos a cada ciclo de 30 minutos), nos casos em que a temperatura máxima das leiras fosse menor que 65° C.

4.5.1. Leiras sob o modo positivo ou com injeção de ar

As leiras sob o modo positivo foram as LMTA – 01P, LMTA – 02P, LMTA – 03P cujas características encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características das Leiras de Compostagem – Pesquisa realizada em Sobral-CE, 2006.

EXPERIM.	DIMENSÕES				VOL. (m ³)	DENS. (Kg/ m ³)	TEMPO DE DURAÇÃO (dias)	
	PESO (Ton)	LARG. (m)	ALT. (m)	COMP. (m)			FASE ATIVA	MATUR
LMTA – 01 P	5,50	2,00	1,20	4,20	5,05	506,16	40	60
LMTA – 02 P	5,85	2,10	1,20	4,10	5,17	489,20	40	60
LMTA – 03 P	5,72	2,05	1,10	4,00	4,52	470,28	40	50
LMTA – 01 N	5,50	2,00	1,20	4,20	5,05	513,62	50	60
LMTA – 02 N	5,85	2,10	1,20	4,10	5,17	492,50	50	60
LMTA – 03 N	5,72	2,05	1,10	4,00	4,52	478,32	50	50
LMTA – 01 H	5,50	2,00	1,20	4,20	5,05	521,82	30	60
LMTA – 02 H	5,85	2,10	1,20	4,10	5,17	505,70	30	60
LMTA – 03 H	5,72	2,05	1,10	4,00	4,52	488,76	30	50

O sistema de aeração que foi instalado nas três leiras de compostagem sob o modo positivo era constituído de um soprador de ar com motor elétrico trifásico de ½ HP de potência, o qual injetava o ar em uma tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro, não perfurada, da qual derivava uma outra de mesmo diâmetro, porém, perfurada com furos de ½” a cada 10cm, protegida por uma camada de capim, que conduzia o ar para dentro das leiras (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Leiras sob o modo positivo - Sobral, Ceará, 2006.

4.5.2. Leiras sob o modo negativo ou com sucção de ar

As leiras sob o modo negativo foram as LMTA – 01N, LMTA – 02N, LMTA – 03N cujas características também se encontram na Tabela 4.1.

Com as referidas leiras foram montadas pilhas - filtros de forma cônica, com composto maturado, produzido no próprio banco de mudas, com a finalidade de filtrar os gases emanados das leiras de compostagem, conforme recomendações de PEREIRA NETO (1987).

O sistema de aeração que foi instalado nas três leiras de compostagem sob o modo negativo era constituído de um soprador de ar com motor elétrico trifásico de $\frac{1}{2}$ HP de potência, o qual succionava o ar em uma tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro, não perfurada, protegida por uma camada de capim, que conduzia o ar para fora das leiras, da qual derivava uma outra tubulação de mesmo diâmetro para a pilha-filtro (Figura 4.5).



Figura 4.7. – Leiras sob o modo negativo-Sobral, Ceará, 2006

4.5.3. Leiras sob o modo híbrido

As leiras sob o modo híbrido foram as LMTA – 01H, LMTA – 02H, LMTA – 03H cujas características encontram-se na Tabela 4.1.

O sistema de aeração que foi instalado nas três leiras de compostagem sob o modo híbrido era constituído de um soprador de ar com motor elétrico trifásico de $\frac{1}{2}$ HP de potência, o qual injetava o ar, quando o sistema funcionava no modo positivo, em uma tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro, não perfurada, da qual derivava uma outra de mesmo diâmetro, porém, perfurada com furos de $\frac{1}{2}$ ” a cada 10cm, protegida por uma camada de capim, que conduzia o ar para dentro das leiras. Quando a bomba de aeração funcionava no modo negativo, a exaustão era conectada a um tubo flexível, não perfurado de 100 mm de diâmetro, o qual era conectado a um tubo perfurado radialmente de mesmo diâmetro e colocado na parte superior da leira, que funcionava como pilha-filtro (Figura 4.6).

As leiras sob o modo híbrido foram primeiramente operadas sob o modo positivo seguido do modo negativo, obedecendo a um ciclo pré-estabelecido de 6 (seis) dias para cada modo de aeração, no período de 30 (trinta) dias, pois, segundo Pereira Neto (1987a), operando-se os primeiros dias sob o modo negativo, há problemas de chorume, emanação de odores e atração de vetores.



Figura 4.8 – Leiras sob o modo híbrido - Sobral, Ceará, 2006

4.6. Amostragem

As amostras para as análises físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas foram coletadas de acordo com recomendações feitas por KIEHL (1985)

Nas leiras de compostagem, as amostras foram coletadas durante a fase ativa, em três pontos: topo, centro e base, recolhendo-se, deste modo, material submetido a diferentes zonas de temperatura. Na fase de maturação, as amostras foram coletadas desde o ponto central da pilha (zona de temperatura mais alta), até a camada sub-superficial (5 cm da superfície) sujeita a temperaturas mais baixas.

De acordo com o tipo de análises, as amostras foram divididas em dois tipos:

a) Amostra 1

Retirada do material *in natura*, que, logo após a coleta, foi bem misturado e quarteado, com a finalidade de obter-se uma amostra representativa. Com esta amostra, foram feitas as análises bacteriológicas, físicas e determinação do pH.

b) Amostra 2

Retirada do material ou massa de compostagem, após secagem em estufa a 70°C, durante 24 horas. Com esta amostra, foram feitas as determinações de umidade e as seguintes análises: matéria orgânica total, carbono total e nitrogênio total.

4.7. Operacionalidade do processo

O monitoramento dos experimentos foi realizado por meio de análises físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas na matéria-prima e durante o período de compostagem, seguindo um calendário pré-estabelecido.

4.7.1. Análises físicas

4.7.1.1. Densidade

Estas análises foram realizadas de acordo com as recomendações feitas por KIEHL (1985).

4.7.1.2. Temperatura

O controle da temperatura das leiras foi feito por meio de um equipamento de controle “*feedback*” conectado a uma sonda colocada no centro da leira, que comandava o funcionamento da bomba de aeração em função da temperatura desejada de controle.

A temperatura das leiras durante a fase ativa foi medida em três diferentes pontos: topo, centro e base, para obtenção de valores médios representativos e para que fosse observado o desenvolvimento do processo, bem como a necessidade de se aplicar qualquer medida corretiva (PEREIRA NETO, 1996).

Durante a fase de maturação a temperatura foi medida em um único ponto, no centro da leira, atendendo a recomendações feitas por PEREIRA NETO (1987).

4.7.2. Análises físico-químicas

Teor de umidade a 100-110°C, matéria orgânica total, carbono orgânico total e pH em CaCl₂.

4.7.2.1 Teor de umidade a 100 – 110°C

Essa determinação teve a finalidade de se preparar a amostra para se obter o teor de matéria orgânica total. (KIEHL, 1998b).

4.7.2.2. Matéria orgânica total

A matéria orgânica total foi determinada de acordo com a literatura especializada - (KIEHL, 1985) e Método Oficial (BRASIL, 1983a).

4.7.2.3. Carbono total

A porcentagem do carbono total da amostra foi obtida dividindo-se a porcentagem da matéria orgânica total pelo fator 1,8, previsto na legislação brasileira (KIEHL 1998a).

4.7.2.3. pH em água

As análises de pH em água foram feitas de acordo com as recomendações de KIEHL (1985).

4.7.2.5. pH em CaCl₂

As análises de pH em CaCl₂ foram feitas de acordo com as recomendações de Kiehl (1985). Para sua determinação foi utilizado o método oficial da legislação brasileira por meio de solução de CaCl₂ a 0,01 molar (APHA, 1992).

4.7.3. Análises químicas: nitrogênio total

4.7.3.1. Nitrogênio total

A metodologia utilizada seguiu as recomendações sugeridas por Kiehl (1985), utilizando-se o método convencional Kieldahl.

4.7.4. Análises bacteriológicas: Coliformes totais e Coliformes fecais ou termotolerantes

As análises foram feitas pelo método dos tubos múltiplos (MACEDO, 2005).

4.8. Término da fase ativa

O término da fase ativa foi definido em função da temperatura (valores $< 40^{\circ}\text{C}$).

4.9. Término da fase de maturação

O término da fase de maturação foi analisado por meio da relação C/N (KIEHL, 1985).

A tabela 4.2 apresenta um resumo dos métodos analíticos utilizados e das frequências de análises do presente estudo.

Tabela 4.2 - Parâmetros analisados, métodos utilizados e frequência das amostras retiradas das leiras nos processos de compostagem do presente estudo. Sobral – CE, 2006

PARÂMETROS/UNIDADES	MÉTODOS ANALÍTICOS	FREQUÊNCIA ANÁLISES
Temperatura (°C)	Equipamento de controle de temperatura em “ <i>feedback</i> ” (PEREIRA NETO, 1987a)	Diária
pH em água	Potenciométrico (APHA, 1992)	Semanal
pH em CaCl ₂	Potenciométrico (KIEHL, 1985)	Semanal
Umidade (%)	Estufa por 24 horas, 65 ± 5 °C (APHA, 1995)	Semanal
Matéria orgânica	Mufla a 550 °C por 2 horas (APHA, 1995).	Semanal
Carbono Total (%)	(KIEHL, 1985)	Semanal
Nitrogênio total (%)	Método micro-Kjeldahl (KIEHL, 1998)	Semanal
Relação C/N	(KIEHL, 1985)	Semanal
Coliformes Totais (UFC/g ⁻¹)	(MACEDO, 2005)	Semanal
Coliformes fecais ou termotolerantes (UFC/g ⁻¹)	(MACEDO, 2005)	Semanal
Fósforo (µg g ⁻¹)	KIEHL (1985).	Fase de maturação (mensal)
Potássio (µg g ⁻¹)	TEDESCO <i>et al.</i> (1995)	Fase de maturação (mensal)
Cálcio (µg g ⁻¹)	TEDESCO <i>et al.</i> (1995)	Fase de maturação (mensal)
Magnésio (µg g ⁻¹)	TEDESCO <i>et al.</i> (1995)	Fase de maturação (mensal)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando a uma melhor compreensão dos dados obtidos, optou-se por relatar cada parâmetro separadamente.

5.1. Análises físicas

5.1.1. Densidade

Os dados obtidos para a densidade encontram-se na Tabela 5.1, que apresenta sua variação durante as fases de degradação ativa e de maturação, com seus respectivos tempos de duração durante o processo de compostagem.

Tabela 5.1: Valores médios da densidade da matéria-prima e variação durante o período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAM.	Densid. Matéria-prima (kg/m ³)	DENSIDADE (kg/m ³)					
		Densid. Inicial (kg/m ³)	FASE ATIVA		FASE DE MATURAÇÃO		
			Densid. Final (kg/m ³)	Tempo de Duração (dias)	Densid. Inicial (kg/m ³)	Densid. Final (kg/m ³)	Tempo de Dur. (dias)
LMTA – 01 P	516,32	542,83	419,71	40	506,16	451,37	60
LMTA – 02 P	492,20	517,60	404,32	40	489,20	440,60	60
LMTA – 03 P	473,12	497,62	397,26	40	470,28	504,14	50
LMTA – 01 N	521,14	547,22	402,23	50	513,62	456,70	60
LMTA – 02 N	498,62	524,57	395,62	50	492,50	443,80	60
LMTA – 03 N	481,65	507,76	387,46	50	478,32	516,68	50
LMTA – 01 H	528,76	556,39	403,26	30	521,82	464,21	60
LMTA – 02 H	502,16	529,72	396,20	30	505,70	455,18	60
LMTA – 03 H	490,10	516,81	389,36	30	488,76	532,40	50

Pode-se observar que em todos os tratamentos, independente do modo de aeração utilizado, houve uma redução da densidade durante a fase de degradação ativa. Isto ocorreu devido à influência da redução do teor de umidade, fato peculiar no processo de Leiras Estáticas Aeradas (Pereira Neto, 1987), aliado à degradação da matéria orgânica. Estes resultados confirmam pesquisas realizadas anteriormente por outros autores (NÓBREGA & PEREIRA NETO, 1990; LELIS, 1998; LELIS; PEREIRA NETO, 1999; LEITÃO, 2002; BRITTO Jr, 2003, REIS, 2005).

As leiras operacionalizadas sob o modo positivo (LMTA - 01 P, LMTA - 02 P e LMTA - 03 P) apresentaram uma redução da densidade média de 21,46%, no período de 40

(quarenta) dias; as leiras sob modo negativo (LMTA - 01 N, LMTA - 02 N e LMTA - 03 N) de 24,96%, no período de 50 (cinquenta) dias, enquanto que as do modo híbrido (LMTA - 01 H, LMTA - 02 H e LMTA - 03 H) de 26,56%, no período de 30 (trinta) dias. Esta redução acentuada da densidade nas leiras sob o modo híbrido foi devido à alta redução do teor de matéria orgânica (Tabela 5.5), o que está de acordo com pesquisa realizada por NÓBREGA (1991).

Durante a fase de maturação, quando todas as leiras foram previamente umedecidas, até atingirem valores compreendidos entre 55 e 58%, todas apresentaram redução da densidade no final do processo, também referenciado nos resultados apresentados por (KIEHL, 1998a; PEREIRA NETO *et al*,1989; PEREIRA NETO,1993)

Durante toda esta fase, as leiras LMTA - 03 P, LMTA - 03 N e LMTA - 03 H foram reviradas, manualmente, uma vez por semana, sendo a umidade corrigida, quando necessário (valores inferiores a 40%), seguindo as recomendações feitas por Pereira Neto(1996) e Kiehl (1985). Observou-se que houve um aumento médio de 8,05% na densidade, nas referidas leiras, devido às correções sucessivas da umidade. Estudos realizados anteriormente por Pereira Neto (1987) confirmam que há aumento da densidade nesta fase, quando são feitas correções na umidade durante o processo.

5.1.2. Temperatura

A presença de aeração na primeira fase, dadas às condições impostas nos sistemas utilizados, permitiu uma redução do tempo de compostagem e uma aceleração do processo, impedindo aumentos expressivos da temperatura, confirmando trabalhos realizados por (COSTA *et al*, 2005b; COSTA *et al*, 2006)

Em todos os tratamentos, independentemente do modo de aeração utilizado, a temperatura máxima das leiras, logo após a montagem, variou de 35 a 39°C. (Figuras 5.1 a 5.9). Estes resultados confirmam trabalhos realizados por Pereira Neto (1996), Aragão; Stentiford (1999), Reis *et al* (2001), Souza *et al*. (2002), Leitão (2002), Britto Jr. (2003) Leitão *et al* (2006) que afirmam que a razão da temperatura se elevar nas leiras de compostagem, independente do modo de aeração, é devido ao alto teor calorífico do material, associado às condições satisfatórias na massa de compostagem (umidade, aeração, relação C/N, população microbiana, etc.).

Nas leiras operacionalizadas sob o modo positivo (LMTA - 01 P, LMTA - 02 P e LMTA - 03 P), as temperatura atingiram a fase termofílica após quarenta e oito horas de sua montagem, sendo que no topo das mesmas os valores das temperaturas apresentaram-se maiores que no centro e na base, devido ao insuflamento de ar que ocorria durante o processo, mantendo-se nesta faixa por um período médio de dois a trinta e cinco dias. (Figuras 5.1; 5.2 e 5.3)

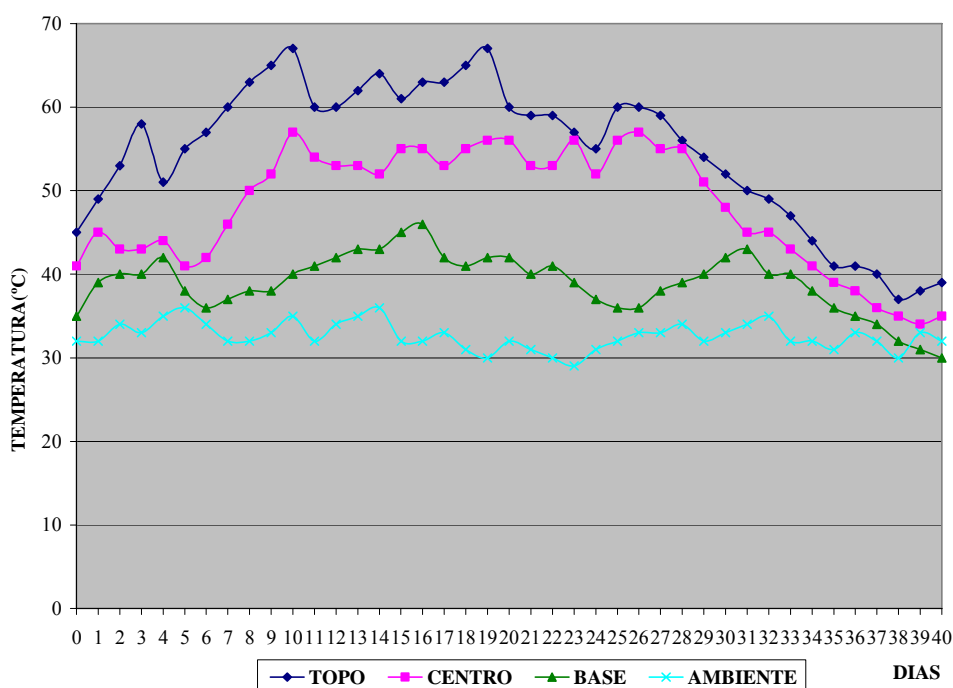


Figura 5.1- Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LTMA - 01 P).Sobral - CE. 2006

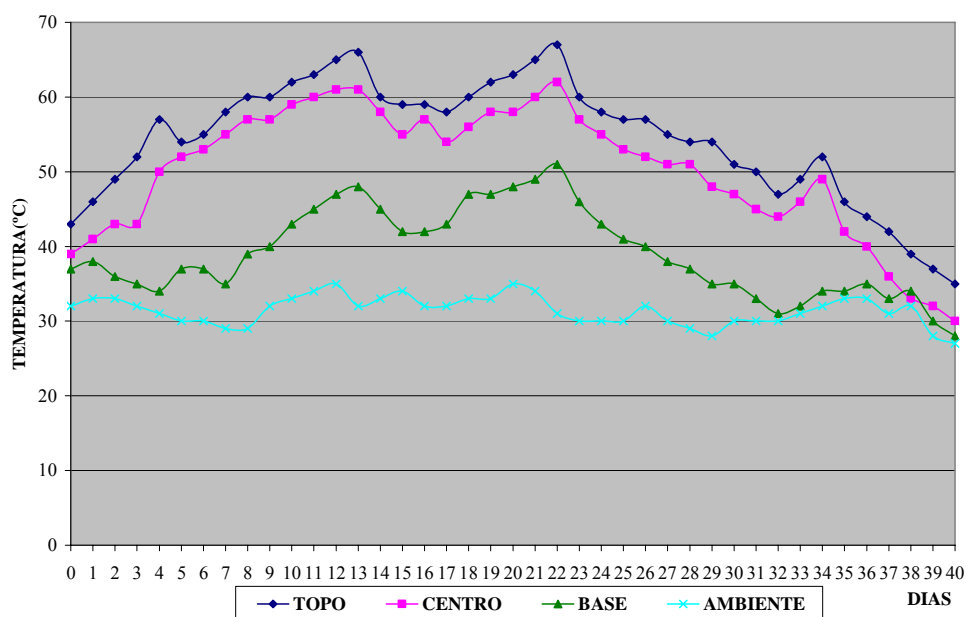


Figura.5.2 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA - 02 P). Sobral -CE. 2006

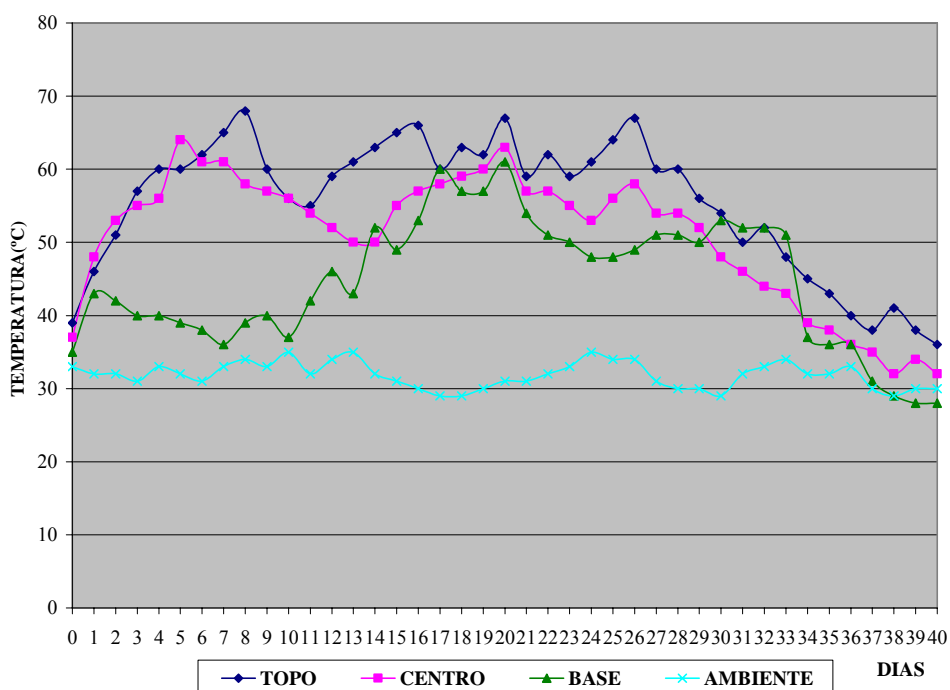


Figura 5.3 -Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA - 03 P). Sobral - CE. 2006

Nas leiras operacionalizadas sob modo negativo (LMTA - 01 N, LMTA - 02 N e LMTA - 03 N), as temperatura atingiram a fase termofílica após setenta e duas horas, sendo que na base e no centro das mesmas os valores das temperaturas apresentaram-se maiores que

no topo, devido à sucção de ar que ocorria durante o processo, mantendo-se nesta faixa por um período médio de três a quarenta e quatro dias (Figuras 5.4; 5.5 e 5.6).

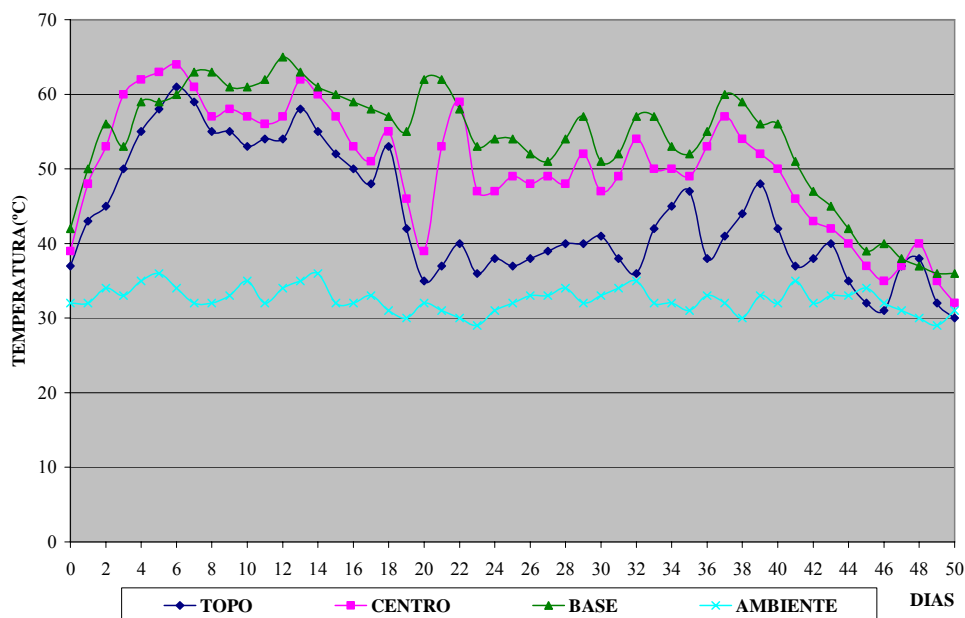


Figura 5.4 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA - 01 N). Sobral - CE. 2006

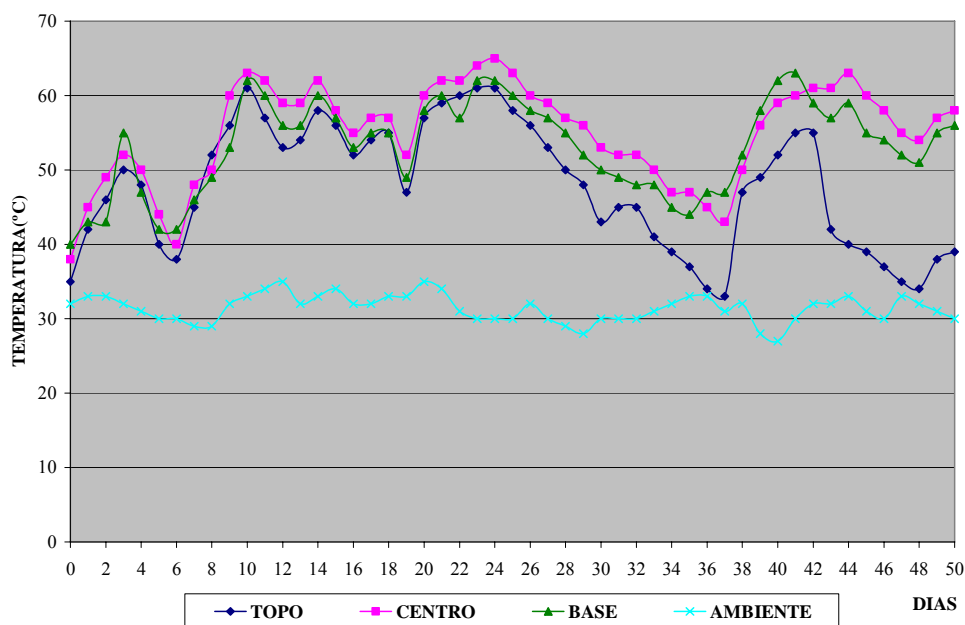


Figura 5.5 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa (LMTA - 02 N). Sobral - CE. 2006

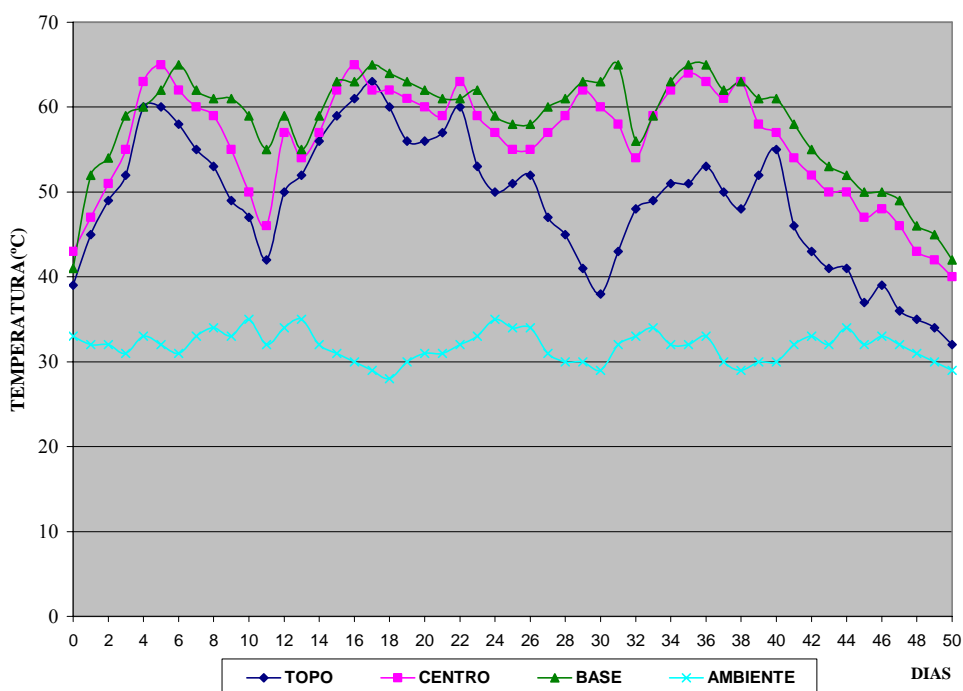


Figura 5.6 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA - 03N).Sobral - CE. 2006

Nas leiras operacionalizadas sob modo híbrido (LMTA - 01 H, LMTA - 02 H e LMTA - 03 H), as temperaturas atingiram a fase termofílica após vinte e quatro horas, sendo que, no topo, no centro e na base das mesmas, os valores das temperaturas apresentaram variações conforme o modo de aeração empregado. Pode-se observar nas figuras 5.7, 5.8 e 5.9, que, quando o sistema funcionava no modo positivo (injeção de ar), as maiores temperaturas eram registradas no topo das leiras e, quando o sistema funcionava no modo negativo (sucção de ar), as maiores temperaturas apresentaram-se na base das mesmas, oscilando por um período de dois a vinte e cinco dias, refletindo a eficiência do processo.

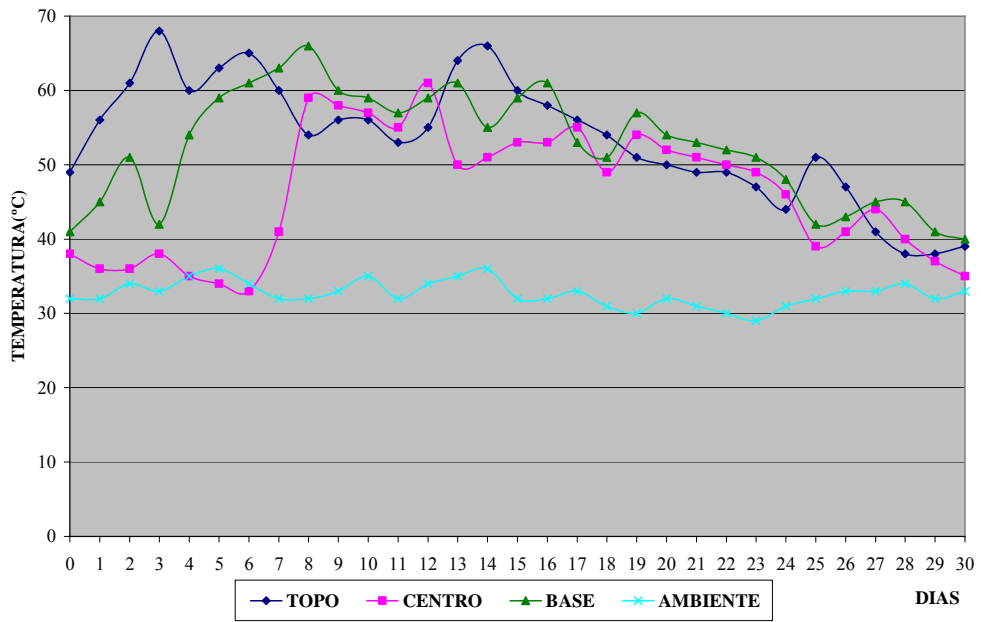


Figura 5.7 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA 01 H).Sobral - CE. 2006

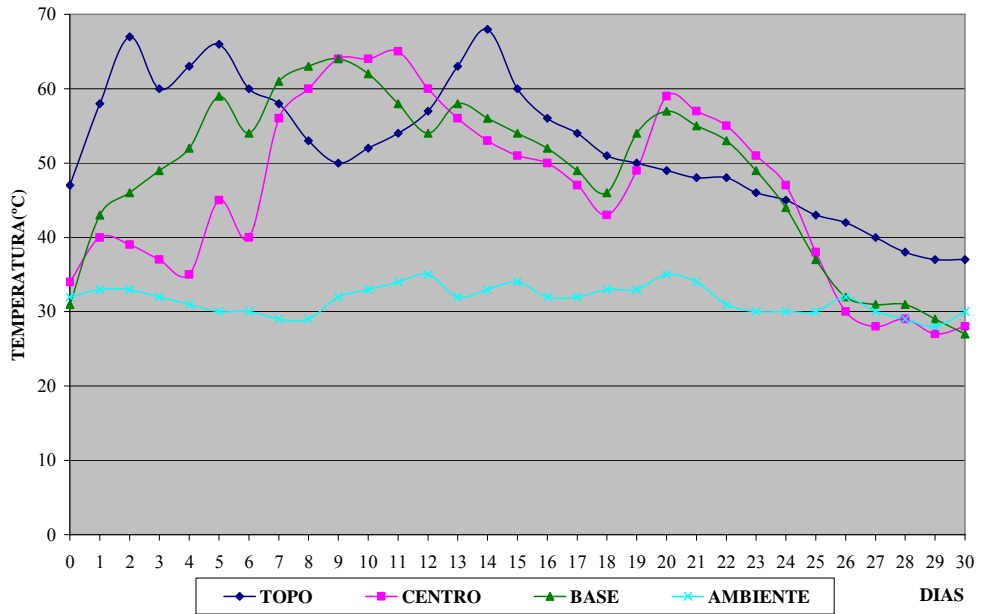


Figura 5.8 - Variação da temperatura durante a Fase Ativa - (LMTA - 02H). Sobral - CE. 2006

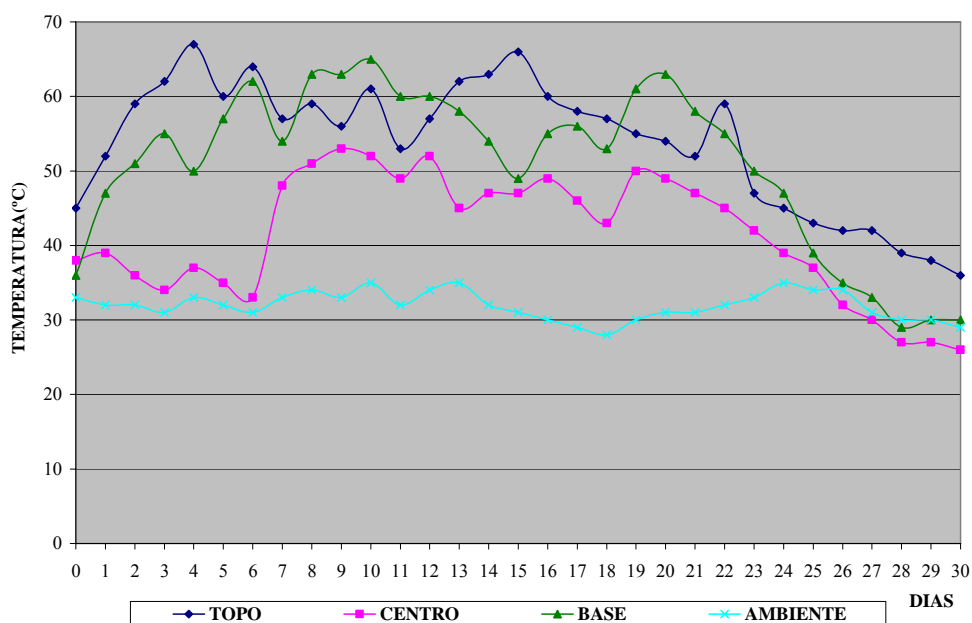


Figura 5.9 - Variação da Temperatura Durante a Fase Ativa - (LMTA 03H).Sobral - CE. 2006

Nas leiras operacionalizadas sob modos positivo e negativo, pode-se observar que as temperaturas mais altas são encontradas em áreas extremas da seção transversal das leiras, ou seja, na base e no topo, enquanto que as leiras sob o modo híbrido revelaram, com relação à distribuição da temperatura, as características dos modos positivos e negativos juntos.

Os resultados encontrados mostram que, durante a fase ativa, a distribuição da temperatura em cada leira é consequência de vários fatores, tais como: modo de aeração, tamanho das partículas, dimensões e teor de umidade inicial, o que confirma trabalhos realizados por Pereira Neto (1987), Bertoldi *et al* (1991) Kiehl (1998), Leitão *et al* (2007) e Leitão (2008c) que afirmam, em suas pesquisas, que as leiras estáticas aeradas se comportam de forma contrária às leiras sob compostagem natural, pois estas não apresentam variações significativas de temperatura durante a fase ativa do processo.

O resfriamento das leiras sob o modo positivo ocorreu, em média, no trigésimo quinto dia de sua montagem, com uma temperatura registrada de 39°C. Este resultado confirma pesquisas realizadas anteriormente por Finstein *et al* (1983) e Pereira Neto (1987) que indicam ser este o tempo médio para a fase de degradação ativa nos processos de compostagem de leiras estáticas aeradas.

O resfriamento das leiras sob o modo negativo ocorreu, em média, no quadragésimo segundo dia de sua montagem, com uma temperatura registrada de 38°C. Este

resultado confirma pesquisas realizadas por FINSTEIN (1980), FINSTEIN *et al* (1983) PEREIRA NETO (1987), FERNANDES (1999) e LEITÃO *et al* (2007) e LEITÃO *et al* (2008c).

O resfriamento das leiras sob o modo híbrido ocorreu, em média, no vigésimo quarto dia de sua montagem, com uma temperatura registrada de 39°C. Este resultado confirma pesquisas realizadas por NÓBREGA; PEREIRA NETO (1990) e NÓBREGA (1991).

Todas as leiras, na fase de maturação, apresentaram temperaturas iniciais em torno de 38°C, atingindo temperaturas em torno de 45°C no decorrer desta fase. (Figuras 5.10; 5.11; 5.12; 5.13; 5.14 e 5.15), permanecendo nesta faixa até o final do processo.

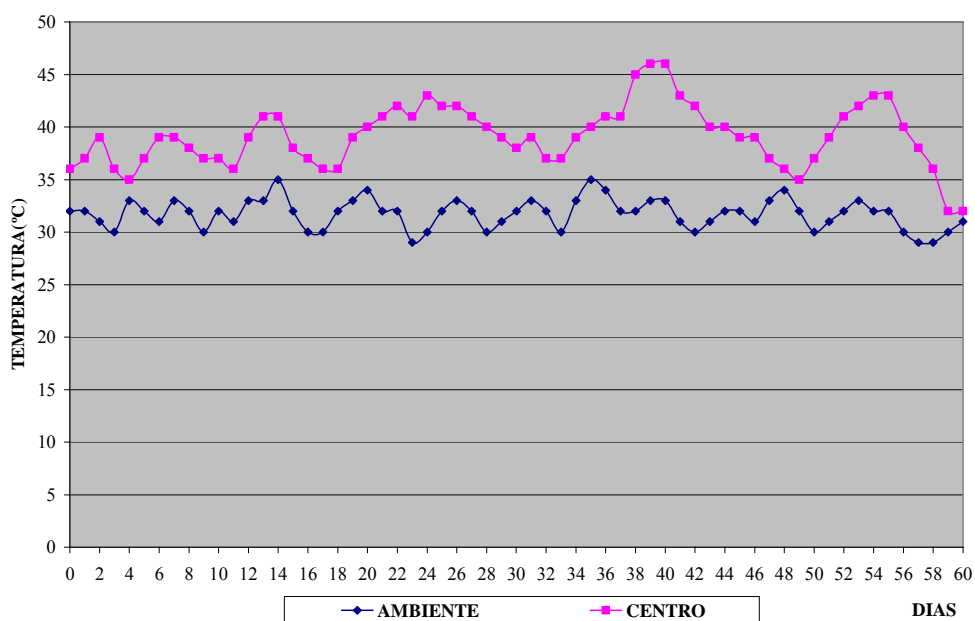


Figura.5.10 - Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA -01 P). Sobral -CE. 2006

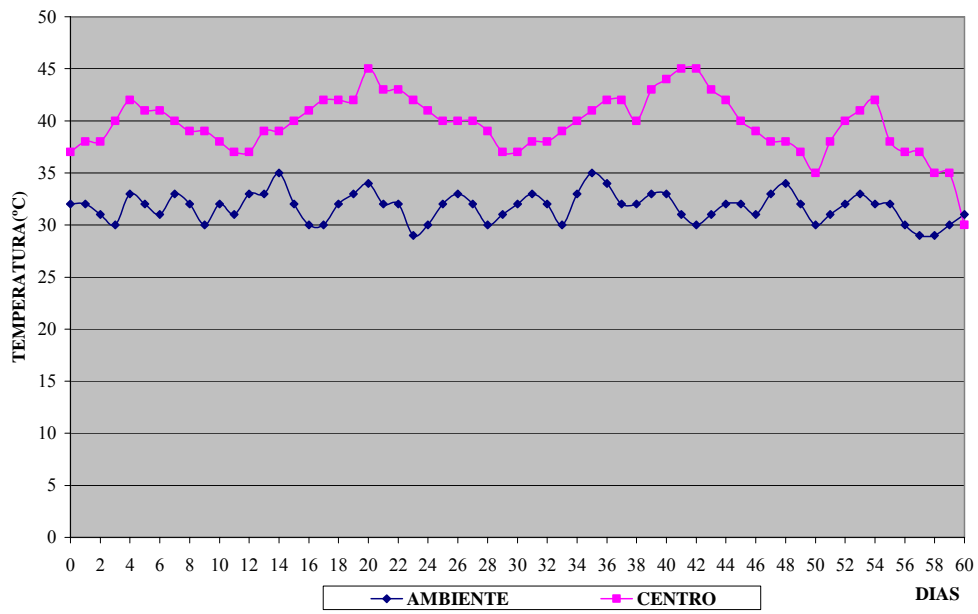


Figura 5.11- Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA 01 N). Sobral -CE. 2006

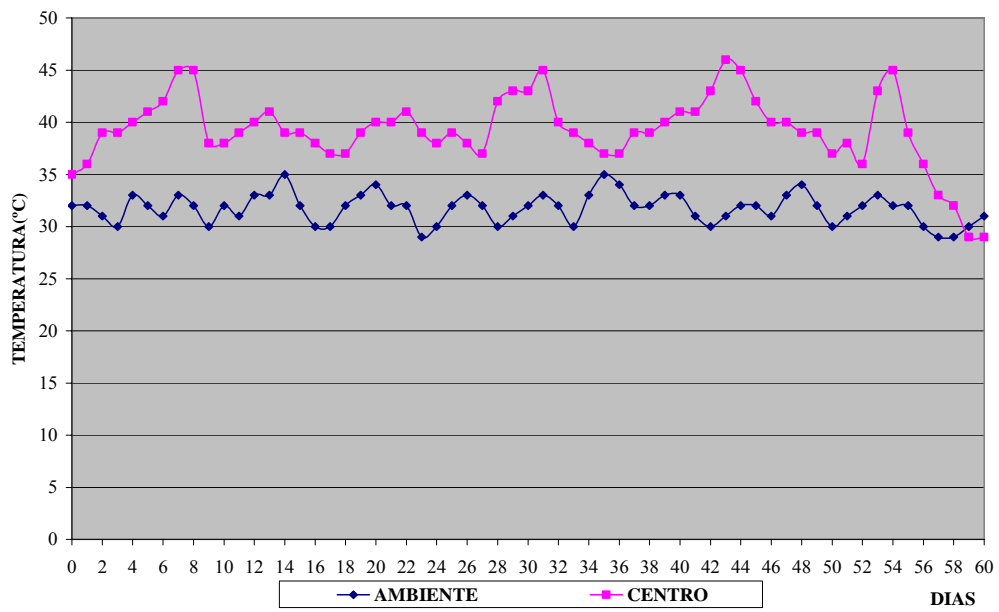


Figura 5.12- Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA - 01 H). Sobral -CE. 2006

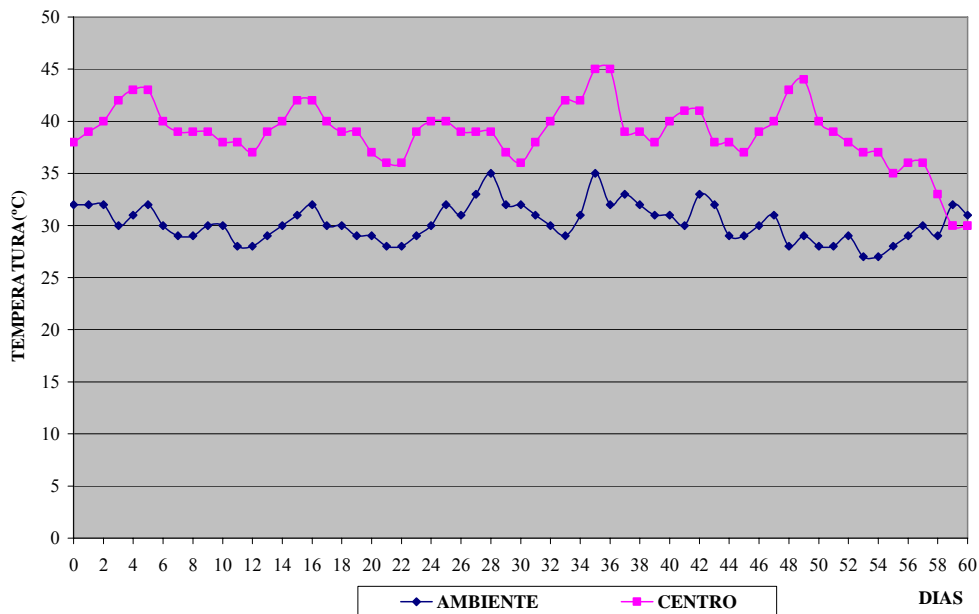


Figura 5.13 - Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA 02 P). Sobral -CE. 2006

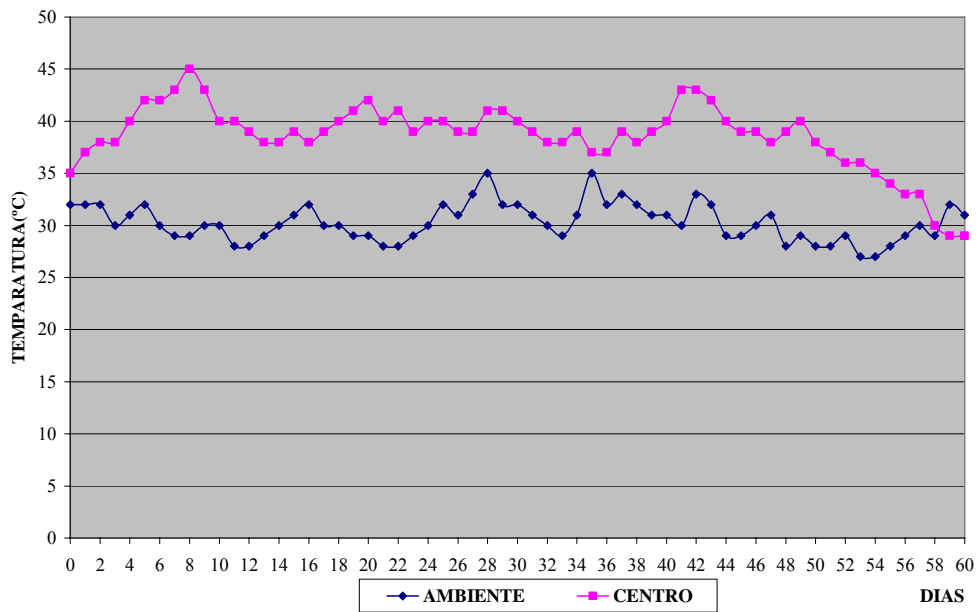


Figura 5.14 - Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA 02 N). Sobral -CE. 2006

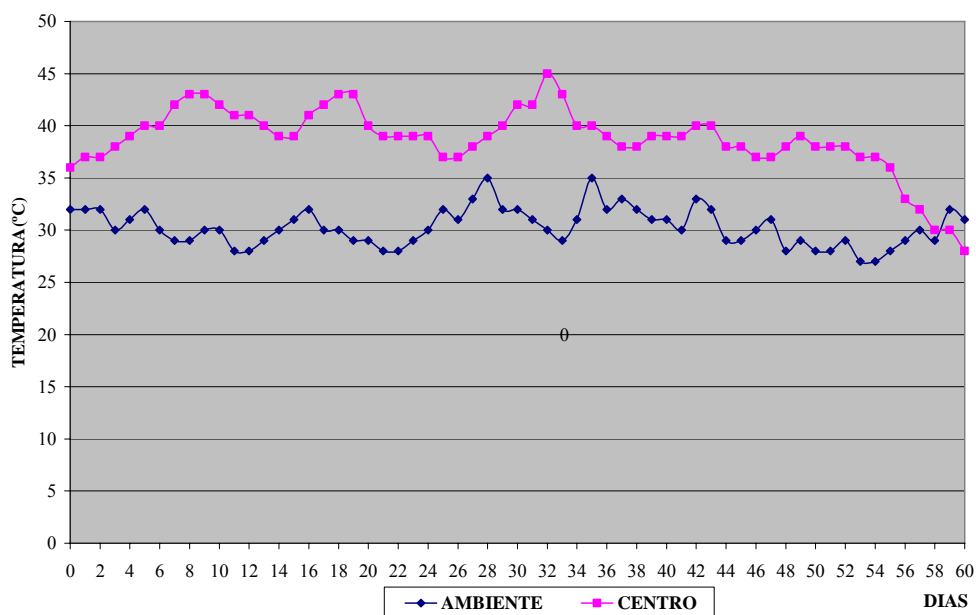


Figura 5.15- Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA 02 H). Sobral -CE. 2006

Durante toda esta fase, as leiras LMTA - 03 P, LMTA - 03 N e LMTA - 03 H, registraram valores superiores a 55 °C (Figuras 5.16; 5.17 e 5.18), devido à oxigenação que ocorria semanalmente durante o reviramento, e à correção da umidade, quando necessário, apresentando, desta forma, uma melhor taxa de degradação de matéria orgânica que as demais, confirmando resultados de pesquisa realizadas por PEREIRA NETO (1990) e LEITÃO *et al* (2008b).

Tradicionalmente os processos de compostagem têm sido controlados estritamente pela temperatura, pois esta confirma que a biodegradação está se desenvolvendo adequadamente. No entanto, os resultados desta pesquisa demonstraram que é necessário também o controle efetivo da umidade. Analisando os resultados da pesquisa de Liang *et al* (2003) na compostagem de biosólidos foi verificado que a manutenção da umidade na faixa de 50 a 70% é quando ocorreu a maior atividade microbiana. Portanto, com os resultados desta pesquisa, é comprovado que a umidade também afetou a estabilização da matéria orgânica, principalmente em relação à fase termofílica do processo.

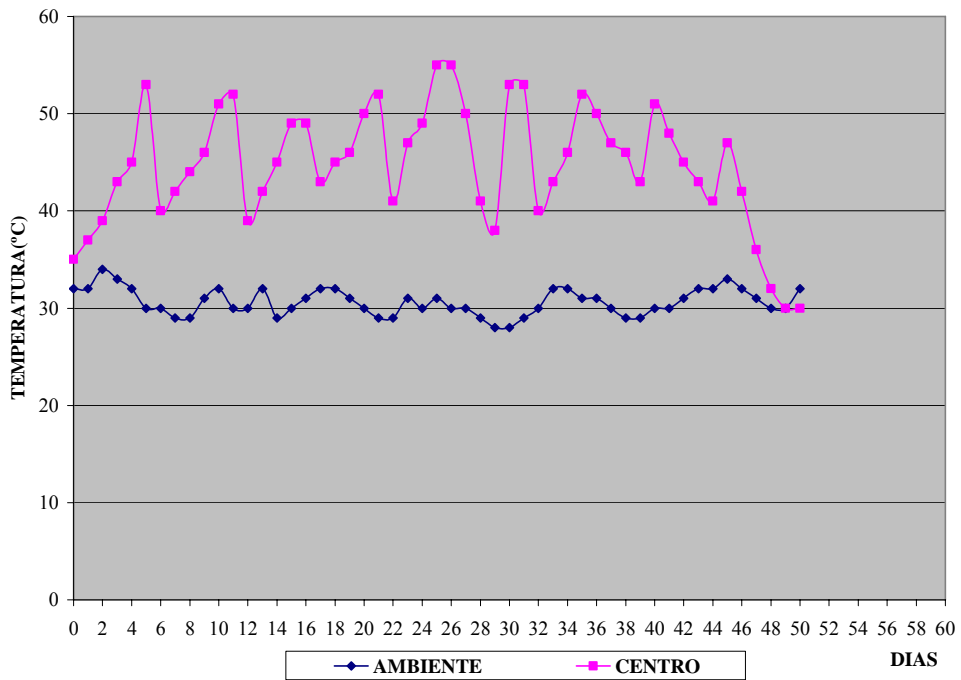


Figura.5.16 - Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA -3P). Sobral -CE.2006

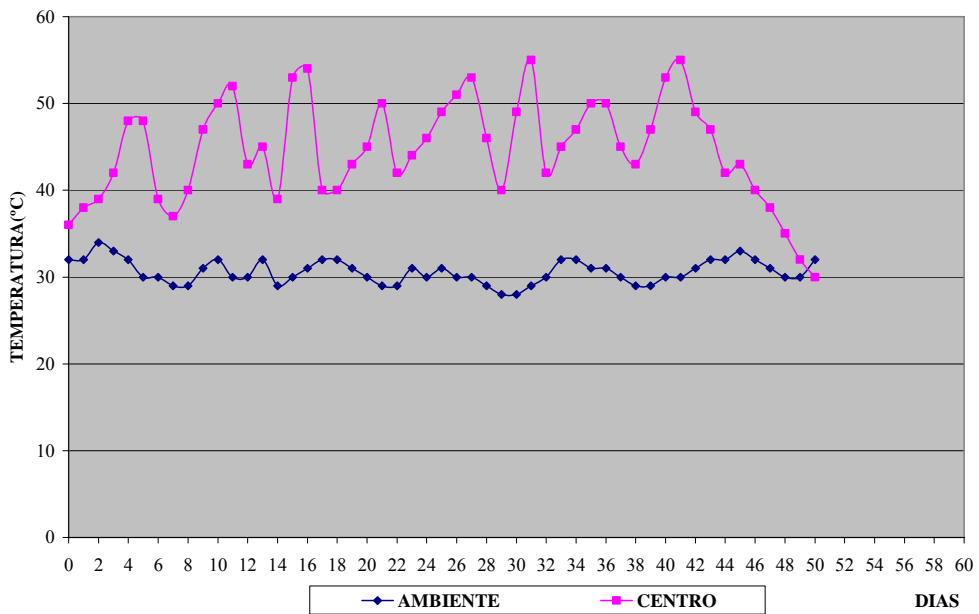


Figura.5.17- Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA- 03N). Sobral -CE.2006

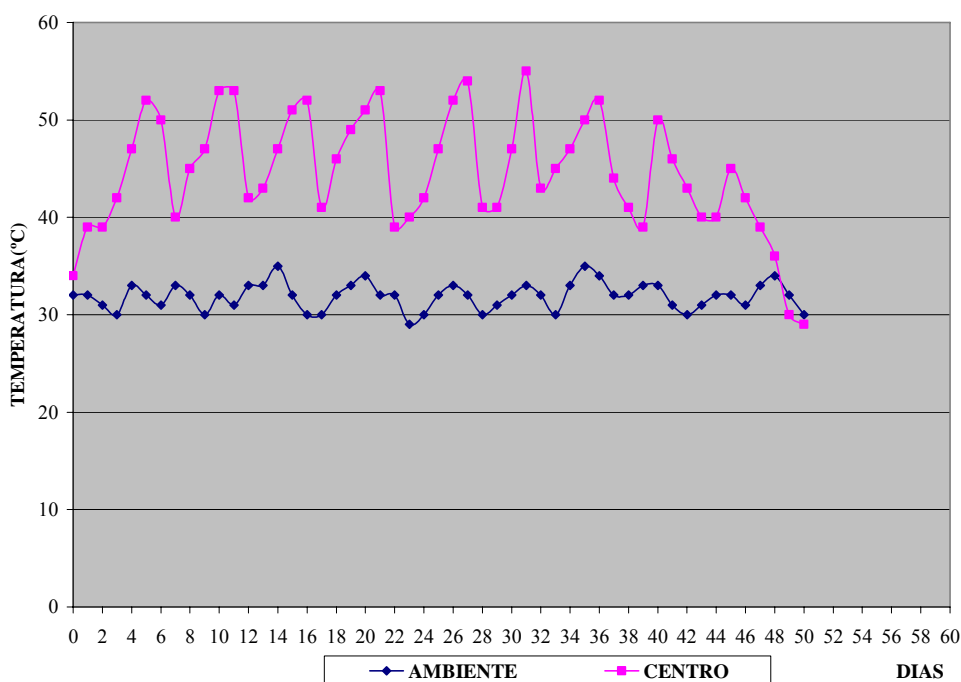


Figura 5.18- Variação da Temperatura na Fase de Maturação - (LMTA - 03H). Sobral -CE.2006

Neste trabalho, foi confirmada a sugestão feita por Bertoldi *et al* (1991) e Leitão *et al* (2007) que revelam que a temperatura é o parâmetro mais importante para ser utilizado como indicador da eficiência do processo de compostagem.

5.2. Análises físico-químicas

Os dados obtidos na pesquisa foram submetidos à análise de variância, e a posterior comparação das médias fez-se pelo Teste de Tukey a 5%, com o intuito de comparar todos os tratamentos entre si, durante o período de 30 dias da montagem das leiras, para que houvesse uma uniformidade de dados. Os valores atribuídos às variáveis na tabela referem-se aos quadrados médios (com ou sem significância)

5.2.1. Teor de umidade

A Tabela 5.2 apresenta os resumos das análises de variância referentes à umidade, durante a fase de degradação ativa, para todos os tratamentos. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável a 0 e 5 dias após a montagem das leiras. Por outro lado, com relação às observações nos dias 10, 15, 20, 25 e 30 após a

montagem das mesmas, observaram-se diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, entre os tratamentos.

Tabela 5. 2 - Resumo das análises de variância do teor de umidade da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Teor de umidade							
		Fase de degradação ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
Tratamento	2	0,03ns	0,31 ns	0,98ns	5,18**	6,48**	12,78**	13,91**	20,90**
Resíduo	6	1,45	0,27	0,38	0,82	0,92	1,23	1,63	1,4
CV		2,43	0,85	1,05	1,62	1,8	2,21	2,69	2,63

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Pode-se observar, na Tabela 5.3, que, no início do processo (dia 0), a matéria-prima a ser compostada apresentou um teor de umidade de aproximadamente 60%, para todos os tratamentos, valor coerente para o início do processo de compostagem com leiras estáticas aeradas (PEREIRA NETO, 1996; LELIS, 1998; LELIS & PEREIRA NETO, 1999).

Verifica-se que, na mesma tabela, o valor médio do teor de umidade das leiras operacionalizadas sob o modo positivo (LMTA - 01 P, LMTA - 02 P e LMTA - 03 P), no dia da montagem (dia 0), foi de 60,43%; para as leiras sob o modo negativo (LMTA - 01 N, LMTA - 02 N e LMTA - 03 N), foi de 60,77%; e para as sob o modo híbrido (LMTA - 01 H, LMTA - 02 H e LMTA - 03 H), foi de 61,07%.

Como mencionado anteriormente, os valores de matéria prima, a 0 e 5 dias da aplicação dos tratamentos, não apresentaram diferenças significativas quando submetidos aos tratamentos positivo (LMTA-P); negativo (LMTA-N) e híbrido (LMTA-H), porém, aos 10 a 30 dias eles foram significativos

Aos 10 e 15 dias da montagem das leiras, os tratamentos híbrido e negativo apresentaram valores semelhantes estatisticamente entre si. Os tratamentos sob o modo positivo, por sua vez, não diferiram do negativo. Assim pode-se afirmar que o modo híbrido seguramente apresentou menores valores de umidade, aos 10 e 15 dias. Aos 20 dias o tratamento que proporcionou maior valor de umidade foi o sistema híbrido, que não diferiu

significativamente do modo positivo, no período de 20 dias, porém o foi em relação ao negativo.

Aos 25 e 30 dias, o comportamento da umidade com relação aos tratamentos foi semelhante, uma vez que o modo híbrido apresentou valores inferiores aos modos positivo e negativo que não diferem entre si. Assim, observa-se uma tendência do teor de umidade ser inferior a partir de 10 dias. (Tabela 5.3) o que significa que no modo híbrido proposto no presente estudo houve uma maior redução da umidade.

Tabela 5. 3 - Médias da umidade da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)							
	Matéria-prima	0 dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30dias
LMTA – P	49,62	60,43	58,63	56,42 b	54,51b	50,68ab	48,47b	46,47b
LMTA – N	49,51	60,77	58,5	56,38ab	54,19ab	52,05b	49,17b	46,70b
LMTA – H	49,70	61,07	57,58	54,13 a	51,82a	47,99a	45,13a	42,02a
Dms	3,02	1,3	1,54	2,26	2,41	2,78	3,2	2,97

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante a fase ativa, a redução média da umidade das leiras sob o modo positivo foi de 30,47%, em quarenta (40) dias. As leiras sob o modo negativo registraram uma redução média de 44,49% em cinquenta (50) dias, enquanto que para as leiras sob o modo híbrido a redução média foi de 31,20%, em trinta (30) dias, com relação ao teor de umidade inicial no processo (Anexo 01).

A figura 5.19 apresenta a variação do teor de umidade das leiras em função do tempo, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H) durante a fase de degradação ativa.

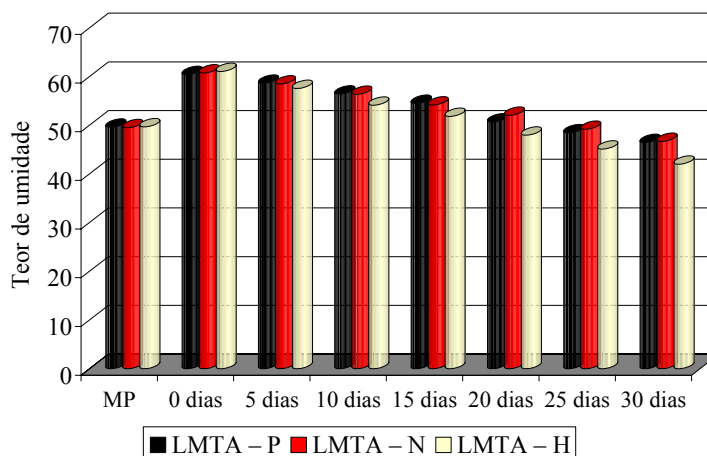


Figura 5.19: Teor de umidade nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) durante a fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE, 2006.

Segundo Pereira Neto (1987), a perda de água é uma das desvantagens do processo, sob o modo negativo, porém alguns pesquisadores, como Finstein *et al* (1983), consideram que, no modo positivo, há mais perdas de água que no negativo. Os resultados obtidos neste estudo indicam, entretanto, que, no modo negativo, houve uma tendência de maior perda de água, pois o material a ser compostado, no final da fase ativa, apresentou teor de umidade baixo (inferior a 40%) no período de cinquenta (50) dias (Anexo 5.1). Estes resultados contrariam as recomendações feitas por Kiehl (1985), Pereira Neto *et al* (1986) e Lelis (1998), que afirmam que o teor de umidade não pode ser inferior a 40%, pois inibe a atividade microbiana, acarretando uma lenta degradação de matéria orgânica. Por outro lado, estudos realizados por Nóbrega (1991), utilizando resíduos sólidos urbanos da cidade de Belo Horizonte - MG mostram que, no modo negativo, há maior perda de água que, no modo positivo, confirmando, portanto, os resultados encontrados no presente estudo.

Suler & Fistein (1977), Bertoldi *et al* (1983) e Pereira Neto (1987) afirmam que a menor perda do teor de umidade acontece em leiras operacionalizadas sob o modo positivo de aeração, porém, esta pesquisa mostrou que a menor perda da umidade aconteceu no modo híbrido observado no presente estudo.

A Tabela 5.4 apresenta os resumos das análises de variância referentes à umidade, durante a fase de maturação, para todos os tratamentos. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis durante toda esta fase.

Tabela 5.4 - Resumo das análises de variância dos dados referentes ao teor de umidade de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE, 2006.

Causa de variação	GL	Teor de umidade - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	0,09ns	0,09ns	0,06ns	13,81ns	0,47ns	0,02ns	0,10ns
Resíduo	6	1,04	6,19	0,89	7,38	6,58	1,69	0,10
CV		1,81	4,83	1,83	5,63	5,35	2,88	1,07

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Como se observa na Tabela 5.4, todos os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao teor de umidade desde 0 dia a 60 dias correspondentes a fase de maturação. Isto significa dizer que não houve variações significativas na umidade das leiras que não foram reviradas durante esta fase.

Na Tabela 5.5 pode-se observar que a média do teor de umidade inicial (dia 0), para as leiras que não foram reviradas foi de 56,58%, para as leiras operacionalizadas sob o modo positivo, de 56,22%, para as sob o modo negativo e de 56,35%, para as sob o modo híbrido, decrescendo para valores próximos a 41%, no final do processo.

Durante toda esta fase, a redução da umidade das leiras que foram reviradas, LMTA - 03 P, LMTA - 03 N e LMTA - 03 H (Anexo 2), foram 16,82%, 17,47% e de 16,12%, respectivamente, confirmando estudos realizados por Pereira Neto (1989), Kiehl (1998a) e Jahnel *et al* (1999), que afirmam que o reviramento é importante na fase de maturação, pois facilita a correção da umidade sempre que necessário, acelerando a degradação da matéria orgânica e obtendo um melhor composto no final do processo.

Tabela 5.5 - Médias do teor de umidade de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	56,58	51,75	51,63	49,10	47,51	45,13	41,79
LMTA – N	56,22	51,46	51,41	45,85	48,03	44,99	41,94
LMTA – H	56,35	51,42	51,68	49,90	48,29	45,15	42,16
Dms	2,55	6,23	2,36	6,80	6,42	3,26	1,13

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para ilustrar, a Figura 5.20 apresenta a variação do teor de umidade das leiras em função do tempo, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N), (LMTA – H), durante a fase de maturação.

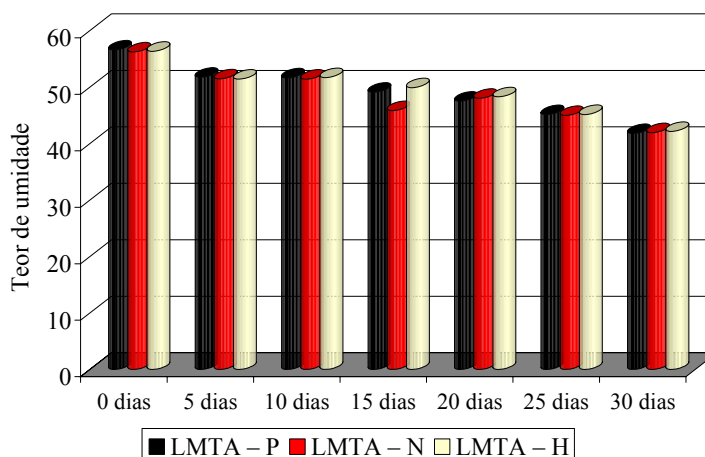


Figura 5.20 - Teor de umidade nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

5.2.2. Matéria orgânica total

Na Tabela 5.6, são apresentados os resumos das análises de variância referentes à matéria orgânica na fase de degradação ativa. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável ao 0 dia, aos 5 e aos 10 dias da montagem das leiras. Por outro lado, aos 15 a 30 dias após montagem das leiras, verificou-se diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1%.

Tabela 5.6 - Resumo das análises de variância da matéria orgânica da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Matéria Orgânica - Fase de degradação ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
Tratamento	2	27,04ns	11,6 9ns	7,94ns	12,18ns	83,39**	98,34**	81,05*	117,52**
Resíduo	6	16,9	8,3	10,17	11,24	9,18	9,99	14,91	15,19
CV		5,01	3,42	3,88	4,16	3,96	4,35	5,54	5,88

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Durante a fase de degradação ativa, as leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram redução de 26,55%, enquanto que para as leiras sob o modo negativo

foi de 21,78%. Esta diferença revela que o modo negativo é variável e que um teor de umidade baixo (valor inferior a 40%) inibe a atividade microbiana e resulta em uma lenta degradação de matéria orgânica. As leiras, operacionalizadas sob o modo híbrido, apresentaram redução média de 31,21%. Este método mostrou-se ser mais eficiente com relação à degradação da matéria orgânica que os demais métodos observados.

Na Tabela 5.7, observa-se que o valor médio do teor de matéria orgânica para as leiras operacionalizadas sob o modo positivo (LMTA - 01 P, LMTA - 02 P e LMTA - 03 P), no dia da montagem (dia 0), foi de 82,03%; nas leiras sob o modo negativo (LMTA - 01 N, LMTA - 02 N e LMTA - 03 N) foi de 85,68%; e nas sob o modo híbrido (LMTA - 01 H, LMTA - 02 H e LMTA - 03 H) foi de 85,15%.

Na referida tabela, observa-se que a matéria orgânica, ao 0 dia, aos 5 e aos 10 dias de montagem das leiras, foram semelhantes estatisticamente quando submetidos aos tratamentos positivo, negativo e híbrido, conforme já constatado na análise de variância.

Aos 15, 20, 25 e 30 dias da montagem das leiras, os tratamentos híbrido e positivo apresentaram uma maior redução do teor de matéria orgânica, não diferindo significativamente entre si, enquanto que o modo negativo apresentou valores menores de degradação aos demais sistemas, embora não diferindo significativamente do modo positivo.

Desta maneira, houve uma tendência de maior redução do teor de matéria orgânica entre 15 e 30 dias, na fase de degradação ativa. Assim pode-se afirmar que os modos híbridos e positivos seguramente apresentaram, aos 30 dias maior redução do teor de matéria orgânica.

Tabela 5.7 - Médias do teor de matéria orgânica da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE, 2006.

Tratamento	Matéria-prima	Médias (%)						
		0 dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30dias
LMTA – P	79,1	82,03a	82,17	80,49	77,30ab	73,70ab	69,87ab	67,14ab
LMTA – N	85,11	85,68a	83,93	82,65	81,40b	77,85b	74,88b	72,98b
LMTA – H	82,02	85,15b	80,68	78,62	70,93a	66,53a	64,48a	58,57a
Dms	10,3	7,22	7,99	8,4	7,59	7,92	9,67	9,76

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estes resultados revelam a importância do teor de umidade manter-se acima de 40%, pois evita uma inibição da atividade microbiana e acelera a degradação da matéria orgânica, conforme também observaram (KIEHL, 1998a; FERNANDES, 1999; SOUZA, 2002; LEITÃO, 2002 e REIS, 2005).

Uma visão em gráfico é apresentada, na Figura 5.21, sobre a variação da matéria orgânica das leiras em função do tempo de compostagem para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H) durante a fase de degradação ativa.

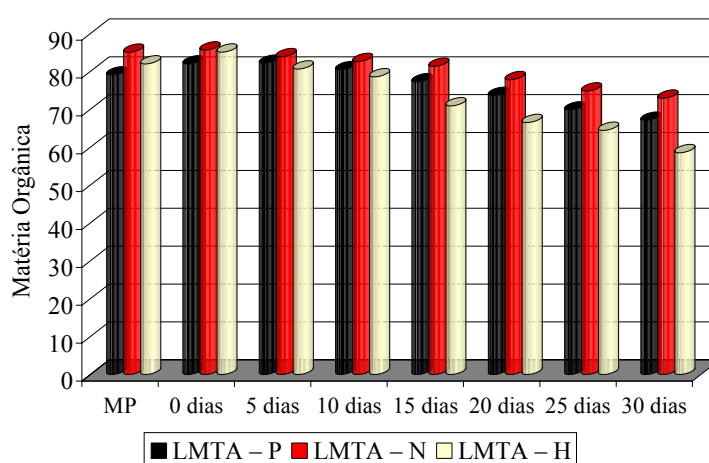


Figura 5.21: Degradação da matéria orgânica nas leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Na Tabela 5.8, a seguir, é apresentada a análise de variância dos dados referentes à degradação da matéria orgânica, durante todo o período da fase de maturação, para as leiras que não sofreram reviramentos, no período de 60 dias.

Tabela 5.8 - Resumo das análises de variância dos dados referentes à matéria orgânica de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE, 2006.

Causa de variação	GL	Matéria Orgânica - Fase de Maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	8,12ns	9,43ns	18,82ns	15,74ns	17,59ns	23,35ns	2,75ns
Resíduo	6	10,15	33,76	51,11	60,53	80,83	86,34	2,09
CV		4,29	8,66	11,67	13,79	17,56	19,99	3,20

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

A análise de variância dos dados revelou que todos os tratamentos foram semelhantes entre si quanto ao teor de matéria orgânica ao longo dos 60 dias na fase de maturação, para as leiras que não sofreram reviramento. Estes resultados confirmam experimentos realizados por Egreja Filho (1993), que afirma que a degradação da matéria orgânica sofre processo de mineralização diminuindo sua quantidade à medida que a degradação ocorre.

Na Tabela 5.9, observam-se as médias dos tratamentos, todas estatisticamente semelhantes entre si, em cada período.

Tabela 5.9 – Médias do teor de matéria orgânica de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	73,61	66,75	59,92	55,27	49,72	44,84	44,52
LMTA – N	76,14	69,07	64,15	59,05	54,00	49,70	46,31
LMTA – H	73,06	65,59	59,72	54,93	49,90	44,89	44,83
Dms	7,98	14,55	17,90	19,48	22,51	23,27	3,62

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas leiras que sofreram reviramento durante a fase de maturação (LMTA – 03 P, LMTA – 03 N e LMTA - 03 H). (Anexo 5.4), a redução média foi de 50,63% em 50 dias; as demais apresentaram redução média de 39,54%, em 60 dias. Este resultado revela que, quando o material, nesta fase, também é aerado, há uma considerável redução adicional do teor de matéria orgânica. Pesquisa desenvolvida por Nóbrega & Pereira Neto (1991) mostra que esta redução ocorre também ao se utilizar outro tipo de material para compostar, confirmando a importância do reviramento na fase de maturação.

A Figura 5.22 apresenta graficamente a variação do teor de matéria orgânica das leiras em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de maturação.

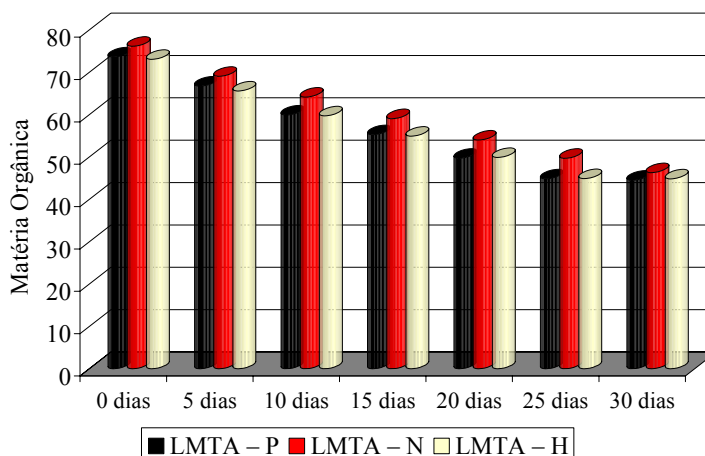


Figura 5.22: Degradação da matéria nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação, em função do tempo. Sobral, CE, 2006.

5.2.3. Carbono orgânico total

Na Tabela 5.10, são apresentadas as análises de variância referentes aos dados do carbono total. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos ao 0, aos 5 e aos 10 dias da montagem das leiras. No entanto, as variações do carbono orgânico total dos 15 aos 30 dias após montagem das leiras foram significativamente diferentes.

Estes resultados revelam também a importância do teor de umidade se manter acima de 40%, pois acelera a degradação da matéria orgânica e conseqüentemente redução do carbono orgânico total, conforme observaram (FERNANDES, 1999; CUNHA QUEDA, 2000; COSTA, 2005a e LEITÃO *et al*, 2006)

Tabela 5. 10 - Resumo das análises de variância do carbono total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.

Causa de variação	GL	Carbono Orgânico Total - Fase Degradação Ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
			3,63n						
Tratamento	2	6,59ns	s	2,47ns	3,77ns	25,68**	30,33**	24,98*	48,65**
Resíduo	6	5,29	2,57	3,13	3,46	2,84	3,08	4,6	4,68
CV		5,03	3,42	3,87	4,16	3,96	4,35	5,54	5,88

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Na Tabela 5.11, observa-se que aos 15, 20, 25 e 30 dias da montagem das leiras, os tratamentos híbrido e positivo apresentaram uma maior redução de carbono total, não

diferenciando significativamente entre si, e sendo superior ao negativo, que por sua vez não deferiu significativamente do modo positivo.

Tabela 5. 11 – Médias do carbono total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Matéria-prima	Médias (%)						
		0dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30dias
LMTA – P	44,33	45,57	45,65	44,72	42,94ab	40,95ab	38,82ab	37,30ab
LMTA – N	47,28	47,62	46,63	45,92	45,22b	43,24b	41,59b	40,54b
LMTA – H	45,56	47,3	44,82	43,68	39,41a	36,96a	35,83a	32,54 ^a
Dms	5,76	4,01	4,43	4,66	4,22	4,4	5,37	5,42

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante a fase ativa, as leiras sob o modo positivo apresentaram, em média, redução de 26,55%; as leiras sob o modo negativo, de 21,78%; e as leiras sob o modo híbrido de 31,21%, confirmando, assim, a superioridade deste processo em relação à degradação de material carbonatado.

Durante a fase ativa as leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram, em média, redução de 26,55%, no período de 40 dias, as leiras sob o modo negativo de 21,78%, no período de 50 dias, e as leiras sob o modo híbrido de 31,21%, no período de 30 dias (Anexo 5), confirmando a superioridade deste processo com relação à degradação de material carbonatado.

Para ilustrar, a Figura 5.23 apresenta a variação do carbono total das leiras em função do tempo de compostagem para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H) durante a fase de maturação.

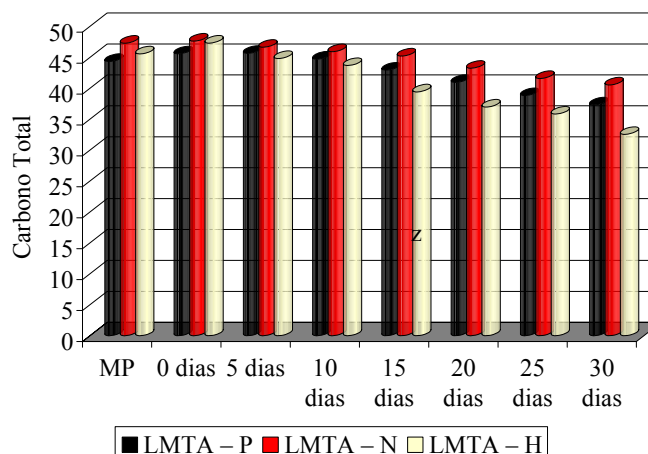


Figura 5.23 – Carbono Total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa, em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Tabela 5.12 - Resumo das análises de variância dos dados do Carbono total de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006

Causa de variação	GL	Carbono total - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	2,50ns	3,01ns	5,81ns	4,57ns	5,43ns	7,21ns	0,84ns
Resíduo	6	3,14	10,42	15,78	19,16	24,95	26,63	0,65
CV		4,30	8,66	11,67	13,95	17,56	19,99	3,20

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Como se observa na Tabela 5.12, todos os tratamentos de 0 a 60 dias apresentaram comportamentos semelhantes entre si, não sendo detectada nenhuma diferença significativa nesta fase, quanto ao carbono total.

A Tabela 5.13 apresenta as médias dos tratamentos, a título de ilustração, observa-se que os tratamentos positivo e híbrido apresentaram maior redução de carbono orgânico, durante todo o período da fase de maturação, para as leiras que não sofreram reviramentos, no período de 60 dias.

Tabela 5.13 - Médias do carbono orgânico de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	40,90	36,97	33,29	30,70	27,62	24,91	24,73
LMTA – N	42,30	38,37	35,64	32,81	30,00	27,61	25,73
LMTA – H	40,59	36,43	33,18	30,63	27,72	24,94	24,91
Dms	4,44	8,08	9,95	10,96	12,51	12,92	2,01

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante esta fase, a redução média de carbono foi de 50,63% para as leiras (LMTA – 03 P, LMTA – 03 N e LMTA - 03 H), que sofreram reviramento nesta fase, no período de 50 dias, enquanto que as demais apresentaram uma redução média de 39,54%, no período de 60 dias (Anexo 6), o que revela a importância do reviramento na fase de maturação. Estes resultados decorrem da degradação da matéria orgânica e confirmam resultados encontrados por Kiehl (1985), Ballesterro, *et al* (2000) e Tiquia & Tam (2000), que afirmam que ocorre redução de teores de carbono por respiração e acréscimo nos teores dos demais nutrientes, devido à disponibilização ocorrida pela ação microbiana no material.

A Figura 5.24 apresenta graficamente a variação do carbono total das leiras em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de maturação.

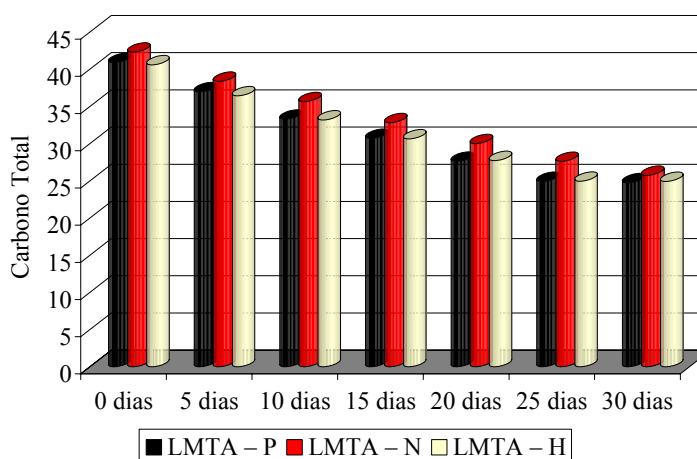


Figura 5.24: Carbono Total nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

5.2.4 pH

Na Tabela 5.14, são apresentados os resumos das análises de variância dos dados referentes ao pH em água. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável ao 0 e aos 5 dias da montagem das leiras. Por outro lado, aos 10 a 30 dias após montagem das leiras, verificou-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1%, o que significa dizer que o pH sofreu alterações significativas em virtude dos tratamentos.

Tabela 5.14 - Resumo das análises de variância do pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE, 2006.

Causa de variação	GL	pH em água - Fase de degradação ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
Tratamento	2	0,01ns	0,04 ns	0,08ns	0,23**	0,29**	0,37**	0,76**	1,14**
Resíduo	6	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,004	0,01
CV		3,78	3,84	3,52	2,75	2,16	1,92	1,06	1,38

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.15, observa-se que, aos 10 dias da montagem das leiras, os tratamentos positivo e negativo não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo primeiro ao híbrido e foram superiores ao negativo, que por sua vez não deferiu significativamente do modo negativo. Aos 15 e 20 dias, os modos positivo e negativo não apresentaram diferenças significativas entre si e foram inferiores ao modo híbrido. Aos 25 e 30 dias, todos os modos apresentaram diferenças significativas entre si, sendo que o modo híbrido apresentou valores superiores no período de 30 dias.

Tabela 5. 15 – Médias do pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE, 2006.

Tratamento	Médias (%)							
	Matéria prima	0dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30dias
LMTA – P	5,24	5,36	5,49	5,64ab	5,76a	5,89a	6,08b	6,27b
LMTA – N	5,26	5,34	5,4	5,47a	5,57a	5,66a	5,80a	5,91a
LMTA – H	5,33	5,54	5,73	6,01b	6,17b	6,35b	6,78c	7,11c
Dms	0,5	0,52	0,49	0,39	0,32	0,29	0,17	0,22

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O pH se mostrou ácido no material e no início do processo de compostagem, em todas as leiras. Os resultados obtidos (Anexos 7 e 8) mostram que os valores médios do índice pH foram aumentando de acordo com a degradação da matéria orgânica, ou seja, o pH foi gradativamente crescendo da faixa ácida para a alcalina, em todos os tratamentos, independente do modo de aeração utilizado, confirmando resultados de experimentos feitos por KIEHL (1998a), LEITÃO (2002) REIS (2005) e LEITÃO *et al* (2007)

A Figura 5.25 mostra graficamente a variação do pH em água das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de degradação ativa.

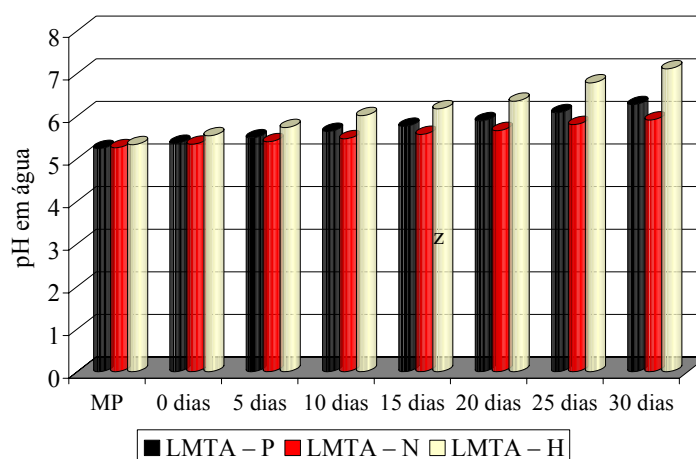


Figura 5.25: Variação do pH em água nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Na Tabela 5.16, são apresentados os resumos das análises de variância referentes aos dados de pH em CaCl_2 . Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável aos 0 e 5 dias da montagem das leiras, mas tais variações de 10 a 30 dias após montagem das leiras, apresentaram diferenças significativas ao nível de 1%.

Tabela 5.16 - Resumo das análises de variância dos dados referentes ao pH em CaCl₂ da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	pH em CaCl ₂ - Fase de degradação ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
Tratamento	2	0,03ns	0,05ns	0,08ns	0,23**	0,33**	0,38**	0,83**	0,91**
Resíduo	6	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
CV		4,87	3,28	3,41	2,92	2,45	2,06	1,34	1,53

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.17, observa-se que aos 10 dias da montagem das leiras, os tratamentos positivo e híbrido não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo o valor do híbrido superior ao superior ao negativo, que por sua vez não diferiu significativamente do modo positivo. Aos 15 e 20 dias, os modos positivo e negativo não apresentaram diferenças significativas entre si e foram significativamente inferiores ao modo híbrido. Aos 25 e 30 dias, todos os modos apresentaram diferenças significativas entre si, sendo que o modo híbrido apresentou valores superiores, porém não atingindo a alcalinidade.

Tabela 5. 17 – Médias do pH em CaCl₂ da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Matéria-prima	Médias (%)						
		0 dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30 dias
LMTA – P	5,04	5,15	5,34	5,51ab	5,62a	5,74a	5,86b	6,14b
LMTA – N	5,06	5,19	5,26	5,33a	5,39a	5,51a	5,65a	5,78a
LMTA – H	5,21	5,4	5,58	5,87b	6,04b	6,21b	6,65c	6,86c
Dms	0,62	0,43	0,46	0,41	0,35	0,3	0,2	0,24

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No final dos 30 dias da fase ativa, as leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram valores médios de pH em água de 6,27 e em CaCl₂ de 6,14; as leiras operacionalizadas sob o modo negativo apresentaram valores médios de pH em água da ordem de 5,91 e em CaCl₂ de 5,78; e as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram valores médios de pH em água de 7,11 e em CaCl₂ de 6,86. No final da fase de degradação ativa, todas as leiras apresentaram pH alcalino com valores próximos aos recomendados pela legislação brasileira vigente. Os resultados obtidos nos experimentos nesta fase foram coerentes com estudos realizados por outros pesquisadores, como (BERTOLDI 1983; CAMPBELL, 1999; LEITÃO, 2002).

A Figura 5.26 apresenta a variação do pH em CaCl_2 das leiras em função do tempo de compostagem para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de degradação ativa.

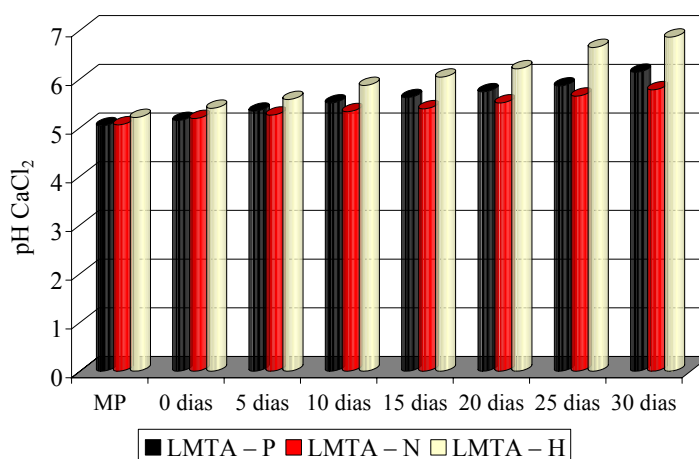


Figura 5.26: Variação do pH em CaCl_2 nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE, 2006.

Na Tabela 5.18, a seguir, é apresentado o resumo das análises de variância dos dados referentes ao pH em água durante todo o período da fase de maturação, para as leiras que não sofreram reviramentos, no período de 60 dias. Verifica-se que, nesta fase, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos para esta variável, durante o período de 0 a 50 dias da montagem das leiras e somente aos 60 dias os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 5.18 - Resumo das análises de variância dos dados referentes ao pH em água da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	pH em água - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	0,01ns	0,02ns	0,03ns	0,01ns	0,02ns	0,05ns	0,12**
Resíduo	6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
CV		1,01	1,17	1,05	1,59	1,44	1,87	0,91

Obs: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.19, observa-se que os tratamentos positivo e híbrido apresentaram maiores valores para o pH em água durante o período de 0 a 50 dias da fase de maturação.

Aos 60 dias da fase de maturação, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, sendo que o modo híbrido apresentou valores superiores aos demais.

Tabela 5.19- Médias do pH em água de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	7,08	7,26	7,44	7,84	7,92	8,12	8,27b
LMTA – N	7,05	7,17	7,28	7,78	7,93	8,07	8,07a
LMTA – H	7,17	7,32	7,46	7,75	8,06	8,31	8,48c
Dms	0,18	0,21	0,19	0,31	0,29	0,38	0,18

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 5.27 apresenta a variação do pH em água das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H) durante a fase de maturação.

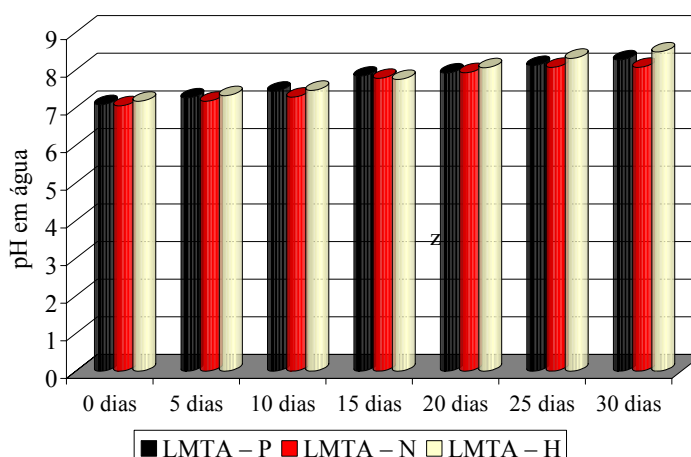


Figura 5.27: Variação do pH em água nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

A Tabela 5.20 apresenta o resumo das análises de variância referentes ao pH em CaCl_2 durante todo o período da fase de maturação, para as leiras que não sofreram reviramentos, no período de 60 dias. Observa-se que, nesta fase, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos para esta variável, durante o período de 0 a 50 dias da montagem das leiras e que aos 60 dias houve diferença significativa ao nível de 1%.

Tabela 5.20 - Resumo das análises de variância do pH em CaCl₂ da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.

Causa de variação	GL	pH em CaCl ₂ - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	0,01ns	0,05ns	0,65ns	0,004ns	0,01ns	0,04ns	0,09**
Resíduo	6	0,01	0,15	0,97	0,018	0,02	0,02	0,01
CV		1,03	5,38	13,17	1,78	1,62	1,72	1,07

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.21, observa-se que os tratamentos positivo e híbrido apresentaram maiores valores para o pH em CaCl₂ durante o período de 0 a 50 dias da fase de maturação. Aos 60 dias desta fase, os tratamentos positivo e híbrido também apresentaram valores de pH em CaCl₂ superiores ao negativo, não diferenciando significativamente entre si, sendo que o modo negativo, por sua vez, também não diferiu significativamente do modo positivo.

Tabela 5.21 - Médias do pH em CaCl₂ de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	6,86	7,02	7,21	7,59	7,74	7,88	8,07ab
LMTA – N	6,82	7,24	8,01	7,55	7,70	7,83	7,87a
LMTA – H	6,92	7,01	7,19	7,52	7,82	8,05	8,22b
Dms	0,18	0,95	2,46	0,34	0,31	0,34	0,22

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Figura 5.28, é apresentada graficamente a variação do pH em CaCl₂ das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de maturação.

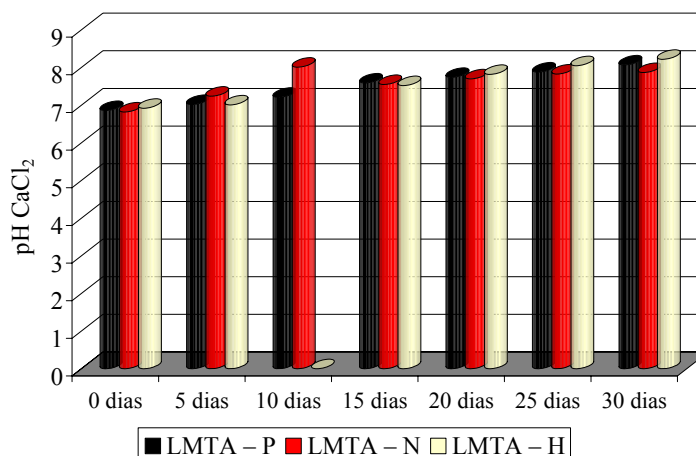


Figura 5.28: Variação do pH em CaCl₂ nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Na fase de maturação, o pH permaneceu na faixa alcalina. As leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram valores médios de pH em água de 8,26 e em CaCl₂ de 8,07, após 60 dias; as leiras operacionalizadas sob o modo negativo apresentaram valores médios de pH em água de 8,07 e em CaCl₂ da ordem de 7,87, após 60 dias; e as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram valores médios de pH em água de 8,48 e em CaCl₂ de 8,22, após 60 dias. As leiras (LMTA – 03 P, LMTA – 03 N e LMTA - 03 H), que foram reviradas durante esta fase, apresentaram valores médios de pH em água de 8,32 e em CaCl₂ de 8,06, permanecendo também na faixa alcalina, sendo que essas variações ocorreram no período de 50 dias (Anexos 9 e 10).

Os valores médios do pH em CaCl₂ apresentaram valores inferiores aos de pH em água em todos os tratamentos e nas duas fases, confirmando pesquisas realizadas por (KIEHL, 1985; LEITÃO, 2002).

Os resultados obtidos nos experimentos foram coerentes com estudos realizados por outros pesquisadores, PEREIRA NETO (1989); EGREJA FILHO (1993) e KIEHL (1998a).

Com relação a este parâmetro, observa-se que, independentemente do modo de aeração utilizado, os valores encontrados estão acima da neutralidade, característica dos compostos estabilizados. Outros trabalhos em que se utilizaram diferentes tipos de resíduo também apresentam valores de pH na faixa alcalina, GEORGACAKIS *et al.* (1996);

BERNAL *et al.* (1998); VILLAS BÔAS *et al.* (1999); TEJADA *et al.* (2001) e LEITÃO *et al.* (2007)

Os resultados sugerem que a temperatura não exerceu influência na variação de pH, em todos os tratamentos, o que foi também observado nos estudos de KIEHL (1985) e PEREIRA NETO (1989).

5.3. Análises químicas

Os dados obtidos na pesquisa foram submetidos à análise de variância, e a posterior comparação das médias fez-se pelo Teste de Tukey a 5%, com o intuito de comparar todos os tratamentos entre si, durante o período de 30 dias da montagem das leiras, para que houvesse uma uniformidade de dados. Os valores atribuídos às variáveis na tabela referem-se aos quadrados médios (com ou sem significância).

5.3.1. Nitrogênio total

Na Tabela 5.22, são apresentados os resumos das análises de variância referentes aos dados do nitrogênio total durante a fase de degradação ativa. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável ao 0 e aos 10 dias da montagem das leiras. Entretanto ao período de 5 a 30 dias após montagem das leiras, verificaram-se diferenças significativas ao nível de 1%.

Tabela 5.22- Resumo das análises de variância do nitrogênio total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Nitrogênio Total - Fase de degradação ativa								
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias	
Tratamento	2	0,0001ns	0,00	2ns	0,004**	0,009	0,022**	0,027**	0,043**	0,028**
Resíduo	6	0,001	0,00	1	0,001	0,0003	0,001	0,0005	0,001	0,002
CV		2,68	2,38	1,79	1,26	1,96	1,56	1,72	2,66	

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Dos 5 a 30 dias da montagem das leiras, os tratamentos positivo e negativo apresentaram uma menor redução do teor de nitrogênio, não diferenciando significativamente

entre si, e sendo inferior ao modo híbrido, que, por sua vez, apresentou diferenças significativas com relação aos demais modos.

Tabela 5.23 – Médias do nitrogênio total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)							
	Matéria prima	0dia	5dias	10 dias	15dias	20dias	25 dias	30dias
LMTA – P	1,11	1,15	1,19a	1,23a	1,29a	1,34a	1,39a	1,45a
LMTA – N	1,12	1,15	1,19a	1,22a	1,26a	1,30a	1,33a	1,38a
LMTA – H	1,12	1,19	1,26b	1,32b	1,42b	1,48b	1,56b	1,57b
Dms	0,07	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,09

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante a esta fase (Anexo11), o teor de nitrogênio cresceu, em média, 41,12% nas leiras operacionalizadas sob o modo positivo, no período de 40 dias, 54,21% nas leiras operacionalizadas sob o modo negativo no período de 50 dias e 32,05% nas leiras operacionalizadas sob o modo híbrido. Segundo Bertoldi (1983) e Pereira Neto (1987), o aumento da concentração de nitrogênio acontece, provavelmente, por causa da fixação do nitrogênio pelas bactérias fixadoras de nitrogênio, que participam do processo de compostagem. O decréscimo do nitrogênio ocorre, provavelmente, devido à volatilização da amônia, sendo este fenômeno mais acentuado em meios com temperatura alta e pH alcalino (KIEHL, 1998a).

A Figura 5.29 apresenta graficamente a variação do nitrogênio total das leiras em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de degradação ativa.

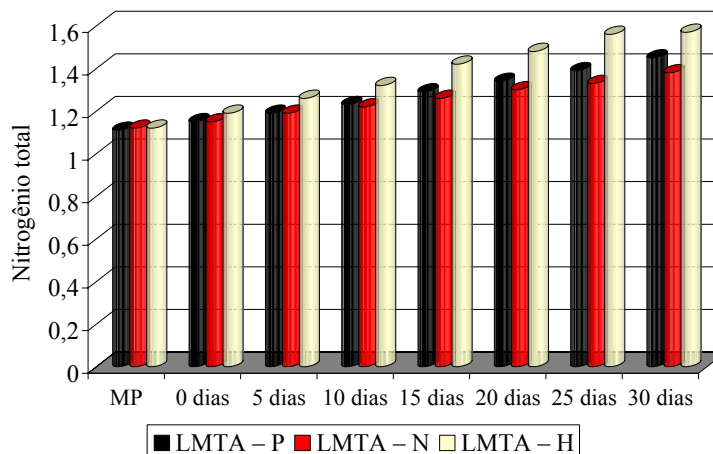


Figura 5.29: Variação do nitrogênio total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Na Tabela 5.24, observa-se que, na fase de maturação, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos, para o nitrogênio total, durante o período de 0 a 50 dias da montagem das leiras e que aos 60 dias houve diferença significativa ao nível de 1%.

Tabela 5.24 Resumo das análises de variância do Nitrogênio Total da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Nitrogênio Total - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	0,012ns	0,02ns	0,03ns	0,06ns	0,11ns	0,09ns	0,38**
Resíduo	6	0,003	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01
CV		3,11	6,14	10,55	9,89	12,62	13,17	4,29

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.25, observa-se que os tratamentos positivo e híbrido apresentaram maiores valores para nitrogênio total durante o período de 0 a 50 dias da fase de maturação, porém não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos neste período. Aos 60 dias desta fase, os tratamentos positivo e híbrido também apresentaram valores de nitrogênio total superiores ao modo negativo, diferenciando significativamente entre si, sendo que o modo híbrido apresentou melhor resultado.

Tabela 5.25 - Médias do Nitrogênio Total de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	1,64	1,63	1,58	1,64	1,65	1,62	1,60b
LMTA – N	1,55	1,47	1,44	1,42	1,36	1,35	1,29a
LMTA – H	1,67	1,63	1,63	1,69	1,73	1,69	1,99c
Dms	0,13	0,24	0,41	0,39	0,50	0,51	0,17

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Durante a fase de maturação, (Anexo 5.12) os teores de nitrogênio em todas as leiras, independente do modo de aeração utilizado, apresentaram resultados bastante variados. Estes resultados confirmam afirmação de Pereira Neto (1989) que a concentração do nitrogênio total, dependendo do meio, poderá aumentar diminuir ou ter algumas variações durante a compostagem.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam pesquisas realizadas anteriormente por BERTOLDI *et al.* (1983), BISHOP; GODFREY (1983) e LEITÃO *et al* (2006), utilizando outros tipos de materiais para compostar.

Para ilustrar, a Figura 5.30 apresenta a variação do nitrogênio total das leiras em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H), durante a fase de maturação.

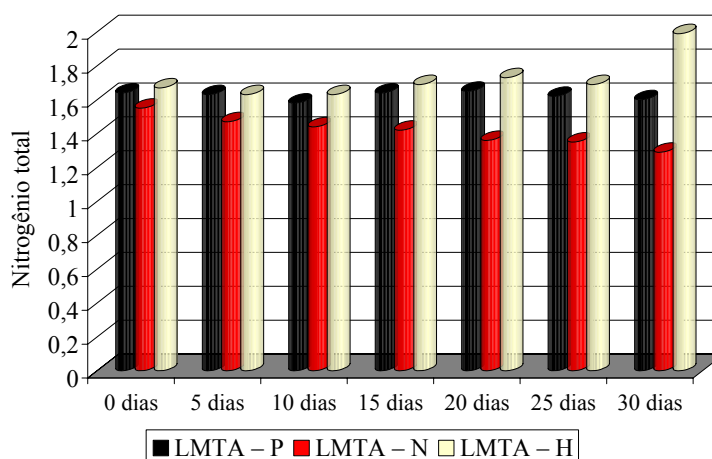


Figura 5.30: Variação do Nitrogênio Total nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

5.3.2. Relação C/N

Na Tabela 5.26, são apresentados os resumos das análises de variância referente aos dados da relação C/N, durante a fase de degradação ativa. Observa-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para esta variável no dia da montagem das leiras (dia 0). Por outro lado, entre o período de 5 a 30 dias do início do processo, verificou-se diferenças significativas entre todos os tratamentos ao nível de 1%.

Tabela 5.26 - Resumo das análises de variância da relação C/N da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Relação C/N - Fase de degradação ativa							
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
			2,78n						
Tratamento	2	4,33ns	s	10,78**	17,33**	49,78**	54,33**	52,78**	56,78**
Resíduo	6	2,56	1,33	1	1,22	1,44	1,89	2,44	2,33
CV		3,9	2,87	2,65	3,1	3,7	4,63	5,7	6,06

Obs.: ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Na Tabela 5.27, observa-se que dos 5 até os 30 dias da montagem das leiras, os tratamentos positivo e negativo apresentaram uma menor redução da relação C/N, não diferenciando significativamente entre si, e sendo superior ao modo híbrido, o que significa afirmar que, no modo híbrido, é necessário menor tempo para obter-se uma relação C/N compatível com a legislação brasileira vigente.

Tabela 5.27 – Médias da relação C/N da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase ativa. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)							
	Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
LMTA – P	40	39,67	38,33b	36,33b	33,33b	30,67b	28,00b	25,67b
LMTA – N	42,33	41,33	39,33b	37,67b	36,00b	33,33b	31,33b	29,33b
LMTA – H	40,67	39,67	35,67a	33,00a	28,00a	25,00a	23,00a	20,67a
Dms	4,01	2,89	2,5	2,77	3,01	3,44	3,92	3,83

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante esta fase, as leiras operacionalizadas sob o modo positivo apresentaram uma redução de 47,89%, em 40 dias; as leiras operacionalizadas sob o modo negativo, de

44,35%, em 50 dias; e as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido, de 48,33%, em 30 dias. (Anexo 13)

A Figura 5.31 apresenta graficamente a variação da relação C/N das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de degradação ativa.

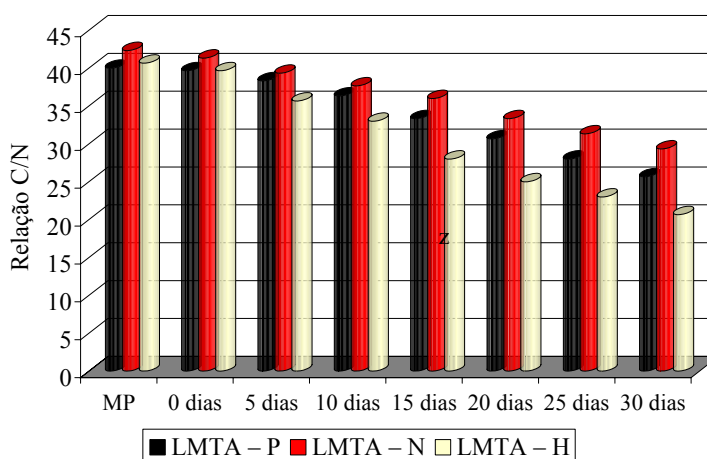


Figura 5.31: Variação da relação C/N nas Leiras (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Para que haja uma boa atividade microbiana na compostagem, Golueke (1977) e Kiehl (1985) recomendam que seja necessária uma relação C/N inicial na faixa de 30 a 40:1. Entretanto, Pereira Neto (1996) cita que, para alguns materiais celulósicos, uma relação C/N maior, até 30% do valor recomendado, pode ser utilizada sem que o processo seja significativamente afetado. No presente estudo, a relação C/N média inicial para as leiras sob o modo positivo foi de 39, para o modo negativo, de 41 e para o modo híbrido, de 40.

Pereira Neto (1987) afirma que a relação C/N é um parâmetro importante a ser observado no processo de compostagem, pois pode ser utilizado como um indicador do grau de maturação. Na fase de maturação das leiras que foram reviradas (LMTA – 03 P, LMTA – 03 N e LMTA - 03 H), apresentaram-se valores médios dentro da faixa recomendada por Pereira Neto (1996), que é de 10 a 15 no período de 50 dias. As leiras operacionalizadas sob o modo positivo também registraram valores dentro desta faixa, no período de 60 dias, enquanto que as leiras operacionalizadas sob o modo negativo registraram valores médios superiores ao recomendado, no período de 60 dias. (Anexo 14). Uma elevada relação C/N não

significa que o material não possa ser utilizado, pois, segundo Kiehl (1998a), em muitos compostos orgânicos o carbono não está biologicamente disponível.

Na Tabela 5.28, observa-se que, na fase de maturação, houve diferença significativa ao nível de 1% entre todos os tratamentos, para a relação C/N, durante o período de 0 a 50 dias da montagem das leiras e que, aos 60 dias, não houve diferença significativa.

Tabela 5.28 - Resumo das análises de variância da Relação C/N da matéria-prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006

Causa de variação	GL	Relação C/N - Fase de maturação						
		0 dia	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Tratamento	2	7,44**	12,33**	16,33**	22,11**	32,44**	28,78**	19,00ns
Resíduo	6	0,56	0,56	1,22	1,44	1,44	3,00	6,00
CV		2,92	3,15	5,03	6,04	6,60	10,32	15,97

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

Na Tabela 5.29, observa-se que os tratamentos positivo e híbrido apresentaram valores da relação C/N semelhantes entre si durante o período de 0 a 50 dias da fase de maturação. Aos 60 dias desta fase, os tratamentos positivo e híbrido também apresentaram valores da relação C/N superiores ao modo negativo, diferenciando significativamente entre si, sendo que o modo híbrido apresentou melhor resultado.

Tabela 5.29 - Médias da Relação C/N de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação. Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Tratamento	Médias (%)						
	0 dias	10 dias	20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
LMTA – P	25,00a	22,67a	21,00a	18,67a	16,67a	15,33a	15,67
LMTA – N	27,33b	26,00b	24,67b	23,00b	22,00b	20,33b	17,67
LMTA – H	24,33a	22,33a	20,33a	18,00a	16,00a	14,67a	12,67
Dms	1,87	1,87	2,77	3,01	3,01	4,34	6,13

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A Figura 5.32 apresenta a variação da relação C/N das leiras em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H), durante a fase de maturação

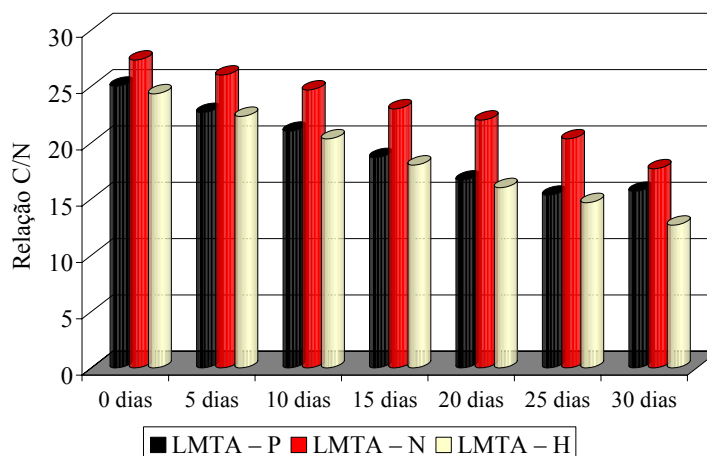


Figura 5.32: Variação da Relação C/N nas Leiras (LMTA - P),(LMTA - N) e (LMTA - H) na fase de maturação em função do tempo. Sobral, CE. 2006.

Neste sentido, pode-se observar que a relação C/N dos compostos produzidos nas leiras operacionalizadas sob os modos positivo e híbrido encontra-se dentro da faixa recomendada para se considerar um composto estabilizado. Kiehl (1985) comenta que a matéria orgânica bioestabilizada é caracterizada por apresentar, dentre outros parâmetros, uma relação C/N que indica o início do processo de mineralização do nitrogênio e, para o húmus, esse valor está em torno de 10:1. Vitorino; Pereira Neto (1994) verificaram redução da relação C/N para valores em torno de 10:1, em experimento com resíduos da agroindústria sucroalcooleira, utilizando inóculo com esterco bovino. Resultados de trabalhos realizados por Jeris & Regan (1985) e Leitão *et al* (2006) afirmam que a relação C/N final também deve situar-se nesta faixa.

5.4. Análise Bacteriológica

A análise microbiológica foi utilizada com o objetivo de verificar a qualidade sanitária no processo de compostagem e a qualidade do produto final em termos de microrganismos indicadores.

Os dados obtidos na pesquisa foram submetidos à análise de variância, e a posterior comparação das médias fez-se pelo Teste de Tukey a 5%, com o intuito de comparar todos os tratamentos entre si, durante o período de 20 dias da montagem das leiras. Os valores atribuídos às variáveis na tabela referem-se aos quadrados médios (com ou sem significância).

A Tabela 5.30 apresenta as análises de variância dos dados referentes aos coliformes totais, durante a fase de degradação ativa, para todos os tratamentos. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para essa variável durante toda esta fase, com exceção do dia da montagem (dia 0).

Tabela 5.30 - Resumo das análises de variância dos coliformes totais da matéria-prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15 e 20 dias de compostagem durante a fase ativa – Pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.

Causa de variação	GL	Coliformes Totais - Fase de degradação ativa					
		Matéria-prima	0 dias	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
Tratamento	2	5,73x10 ¹⁸ ns	5,73x10 ¹⁸ **	3,62x10 ¹⁶ ns	3,09x10 ¹⁴ ns	4,05x10 ¹⁰ ns	18,74x10 ⁵ ns
Resíduo	6	6,71x10 ¹⁸	6,71x10 ¹⁸	3,82x10 ¹⁸	3,04x10 ¹⁴	1,42x10 ¹¹	9,54x10 ⁵
CV		175,28	175,28	180,96	194,94	109,98	19,85

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Na Tabela 5.31, verifica-se que, na fase de degradação ativa não houve diferença significativa entre todos os tratamentos para os coliformes totais, durante o período de 0 a 20 dias da montagem das leiras.

Tabela 5.31 - Médias dos coliformes totais de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.

Tratamento	Médias					
	Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
LMTA – P	3,06x10 ⁹	3,06x10 ⁹	23,30x10 ⁷	20,61x10 ⁶	32,53x10 ⁴	5,8x10 ³
LMTA – N	8,23x10 ⁸	8,23x10 ⁸	64,0x10 ⁷	40,1x10 ⁶	46,7x10 ⁴	4,8x10 ³
LMTA – H	5,44x10 ⁸	5,44x10 ⁸	26,9x10 ⁶	22,03x10 ⁵	23,67x10 ⁴	4,2x10 ³
Dms	64,84x10 ⁹	64,84x10 ⁹	48,93x10 ⁷	43,65x10 ⁶	94,47x10 ⁴	2,4x10 ³

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para ilustrar a figura 5.33, apresenta-se a variação de coliformes totais das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H).

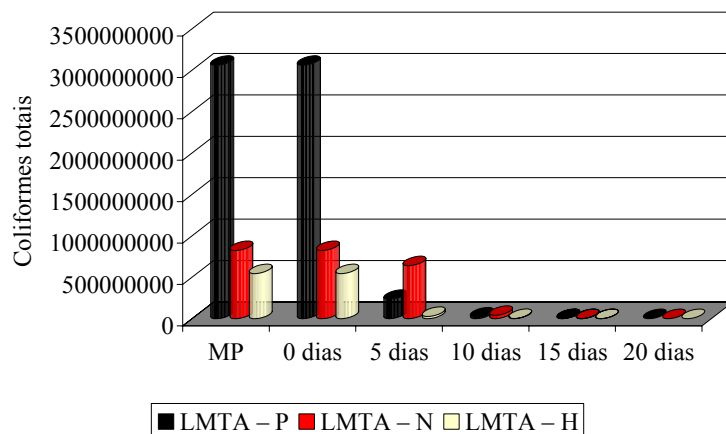


Figura 5.33: Variação dos coliformes totais nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo

A Tabela 5.32 apresenta as análises de variância referentes aos dados de coliformes fecais ou termotolerantes, durante a fase de degradação ativa, para todos os tratamentos. Verifica-se que todos foram estatisticamente semelhantes entre si.

Tabela 5.32 - Resumo das análises de variância dos dados de coliformes fecais ou termotolerantes da matéria prima e de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 5, 10, 15 e 20 dias de compostagem durante a fase ativa – Pesquisa realizada em Sobral – CE. 2006.

Causa de variação	GL	Coliformes Fecais - Fase de degradação ativa					
		Matéria-prima	0 dia	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
Tratamento	2	1,23x10 ¹⁷ ns	1,23x10 ¹⁷ ns	2,86x10 ¹⁴ ns	4,16x10 ¹² ns	2,47x10 ¹⁰ ns	11,9x10 ⁵ ns
Resíduo	6	6,59x10 ¹⁶	6,59x10 ¹⁶	6,21x10 ¹⁴	6,98x10 ¹²	5,85x10 ¹⁰	46,4x10 ⁴
CV		64,9	64,9	85,07	91,1	99,94	17,88

Obs.: ns não significativo, ** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F.

Na tabela 5.33, a título de ilustração, são apresentadas as médias (estatisticamente semelhantes) de todos os tratamentos até os 20 dias. Verifica-se que, na fase de degradação ativa, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos para os coliformes fecais ou termotolerantes, durante o período da montagem das leiras.

Tabela 5.33 - Médias dos coliformes fecais ou termotolerantes de todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) e (LMTA – H) ao 0, aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias de compostagem durante a fase de maturação – pesquisa realizada em Sobral – CE.2006.

Tratamento	Médias					
	Matéria-prima	0 dias	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
LMTA – P	$40,4 \times 10^7$	$40,4 \times 10^7$	$32,9 \times 10^6$	$34,1 \times 10^5$	$34,1 \times 10^4$	$40,3 \times 10^2$
LMTA – N	$59,3 \times 10^7$	$59,3 \times 10^7$	$36,7 \times 10^6$	$37,4 \times 10^5$	$22,2 \times 10^4$	$43,0 \times 10^2$
LMTA – H	$18,9 \times 10^7$	$18,9 \times 10^7$	$18,2 \times 10^6$	$15,5 \times 10^5$	$16,3 \times 10^4$	$31,0 \times 10^2$
Dms	$14,8 \times 10^7$	$14,8 \times 10^7$	$62,4 \times 10^6$	$66,2 \times 10^5$	$60,6 \times 10^4$	$17,1 \times 10^2$

Obs.: Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A figura 5.34 apresenta a variação de coliformes totais das leiras, em função do tempo de compostagem, para todos os tratamentos (LMTA – P), (LMTA – N) (LMTA – H).

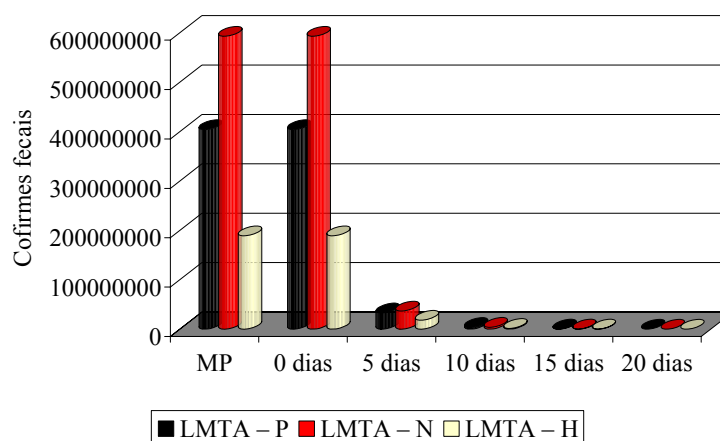


Figura 5.34:Variação dos coliformes fecais nas Leiras (LMTA – P),(LMTA – N) e (LMTA – H) na fase de degradação ativa em função do tempo

As Tabelas 5.31 e 5.33 apresentam os resultados das médias das análises de Coliformes Totais e Fecais ou Termotolerantes, respectivamente. Nestas tabelas, pode-se observar que em todos os sistemas estes microrganismos foram diminuindo durante toda a fase de aeração (fase de degradação ativa). As leiras operacionalizadas sob o modo positivo registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $9,1 \times 10^8$ a $5,0 \times 10^3$ UFC/g⁻¹ e de Coliformes Fecais da ordem de $6,2 \times 10^8$ a $3,1 \times 10^3$ UFC/g⁻¹; as leiras operacionalizadas sob o modo negativo registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $8,4 \times 10^8$ a $4,8 \times 10^3$ UFC/g⁻¹ e de Coliformes Fecais da ordem de $6,1 \times 10^8$ a $3,5 \times 10^3$ UFC/g⁻¹; e as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido registraram valores de Coliformes Totais da ordem de $9,2 \times 10^7$ a $4,1 \times 10^3$ UFC/g⁻¹ e de Coliformes Fecais, da ordem de $5,2 \times 10^8$ a $3,2 \times 10^3$ UFC/g⁻¹.

Estes resultados diferem daqueles encontrados na bibliografia especializada. Bishop *et al.*, (1983); Greenberg *et al.* (1986) relatam a destruição dos patógenos, no processo

de Leiras Estáticas Aeradas, num período de três dias, caso a temperatura interna da leira permaneça entre 55 e 60°C. Lelis (1998) e Lichtig *et al* (1998) afirmam que a manutenção de temperaturas termofílicas próximos a 60°C por uma hora elimina os agentes patogênicos. Nesta pesquisa, a eliminação dos patógenos ocorreu após o vigésimo dia da fase ativa.

Os valores de coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF) ou termotolerantes encontrados no presente estudo podem ser comparados a outros descritos na literatura consultada. Embora se refiram a outros tipos de resíduos e processos, foram utilizados como referência para comparação. Vuorinen; Saharinen (1997) comentam que a densidade de coliformes fecais para higienização é de 10^3 UFC g⁻¹ de sólidos, pois a *Salmonella* é considerada ausente em amostras que contêm quantidades de coliformes fecais menores que esta, segundo REIS (2000).

A diminuição dos valores de coliformes fecais (CF) ou termotolerantes durante o processo de compostagem é também constatada em outros trabalhos. Segundo Hassen *et al* (2001), a presença de coliformes é, de modo geral, utilizada como indicador da qualidade sanitária em amostras de solos e água. Em seu trabalho, os autores detectaram a presença de $2,5 \times 10^7$ UFC g⁻¹ amostra seca no início do processo de compostagem de resíduos sólidos municipais, diminuindo para $7,9 \times 10^3$ UFC g⁻¹ durante a fase termofílica.

Pagilla *et al* (2000), em estudo desenvolvido com esterco suíno submetido a processos aeróbios e anaeróbios de tratamento, constataram redução na densidade de coliformes fecais de $7,1 \times 10^8$ NMP g⁻¹ sólidos totais para menos de 10^3 NMP g⁻¹ sólidos totais. Kherrati *et al.* (1998), trabalhando com o aproveitamento de resíduos de frigorífico pelo processo de silagem, obtiveram uma contagem de CT variando de $7,0 \times 10^3$ a $7,0 \times 10^6$ UFC g⁻¹ no material “*in natura*”, para menos de 1 UFC g⁻¹ no produto final. Da mesma forma, a contagem de CF oscilou de $4,0 \times 10^3$ a $1,0 \times 10^6$ UFC g⁻¹ no material “*in natura*” para menos de 1 UFC g⁻¹, no produto final. Considera-se, portanto, que a principal característica ou finalidade da primeira fase da compostagem está em transformar, de maneira segura, do ponto de vista bacteriológico, a matéria-prima a ser compostada.

5.5. Término da fase ativa

O parâmetro utilizado, neste trabalho, para avaliar a eficiência do processo de compostagem, durante a fase de degradação ativa, foi a temperatura, pois, de acordo com Pereira Neto (1996) e Souza *et al* (2002), este parâmetro indica com precisão quando o material está próximo da fase de maturação.

O término da fase ativa das leiras sob o modo positivo ocorreu após 40 dias de sua montagem, para as leiras sob o modo negativo após 50 dias, enquanto que para as leiras sob o modo híbrido 30 dias, registrando-se que houve uma maior degradação da matéria orgânica, nas leiras sob o modo híbrido. Estes resultados confirmam estudos realizados por FINSTEIN (1980) e PEREIRA NETO (1996).

5.6. Término da fase de maturação

A maturação do composto dá-se pelos resultados do índice de pH e relação C/N que indicam se a decomposição da matéria orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade.

Neste trabalho, observa-se que ocorreram reduções dos teores de N e C, em razão das perdas por volatilização e respiração, respectivamente confirmando trabalhos realizados por Tiquia & Tam (2002), e acréscimos nos teores dos demais nutrientes, devido à disponibilização ocorrida pela ação microbiana no material a ser compostado.

O término da fase de maturação foi verificado por meio da relação C/N, por ser uma determinação rápida e precisa do grau de maturação do material, conforme recomendações feitas por KIEHL (1998a).

As leiras (LMTA – 03 P, LMTA – 03 N e LMTA - 03 H) que foram reviradas atingiram a fase de maturação após 50 dias de sua montagem, enquanto que as demais atingiram essa fase após 60 dias.

A Tabela 5.34 apresenta os teores dos nutrientes encontrados no composto na fase de maturação do processo de compostagem.

TABELA 5.34: Média das análises químicas na fase de maturação durante o período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

Tratamento	Fase de maturação						
	Parâmetros						
	C(%)	N(%) ⁴	P (mg g ⁻¹)	K(mg g ⁻¹)	pH(%)	Ca(mg g ⁻¹)	Mg(mg g ⁻¹)
LMTA – P	23,244	1,583	4228	19700	8,03	24325	4263
LMTA – N	23,951	1,215	4346	19250	7,93	23674	4196
LMTA – H	23,107	1,831	4558	19900	8,19	24680	4465

Analisando-se a composição química média dos compostos orgânicos produzidos neste trabalho, para as leiras operacionalizadas sob o modo positivo: pH em CaCl₂ = 8,03; C (%) = 23,244; N (%) = 1,583; P (mg g⁻¹) = 4228; K (mg g⁻¹) = 19700; Ca (mg g⁻¹) = 24325; Mg (mg g⁻¹) = 4196, para as operacionalizadas sob o modo negativo: pH em CaCl₂ = 7,93; C (%) = 23,244; N (%) = 1,583; P (mg g⁻¹) = 4346; K (mg g⁻¹) = 19250; Ca (mg g⁻¹) = 23674; Mg (mg g⁻¹) = 4196, e para as operacionalizadas sob o modo híbrido: pH em CaCl₂ = 8,19; C (%) = 23,244; N (%) = 1,583; P (mg g⁻¹) = 4558; K (mg g⁻¹) = 19900; Ca (mg g⁻¹) = 24680; Mg (mg g⁻¹) = 4465, pode-se compará-la com a composição de outros compostos relatados na literatura especializada. Silva *et al.* (1998), trabalhando com compostagem de resíduos sólidos de frigorífico, obteve a seguinte composição média para o composto: pH em CaCl₂ = 7,1 C (%) = 26,7; N (%) = 2,5; P (mg g⁻¹) = 7100; K (mg g⁻¹) = 9700; Ca (mg g⁻¹) = 7600; Mg (mg g⁻¹) = 1900. Costa *et al.* (2005a) trabalhando com compostagem de resíduos sólidos da indústria de desfibrilação de algodão, obtiveram a seguinte composição média para o composto pronto: pH (H₂O) = 7,9; C (%) = 20,8; N (%) = 2,7; P (mg g⁻¹) = 3554; K (mg g⁻¹) = 20400; Ca (mg g⁻¹) = 25827; Mg (mg g⁻¹) = 4625. Reis (2005), trabalhando com processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos da cidade de Porto Alegre - RS, obteve os seguintes resultados pH em água = 7,85 C (%) = 21,48; N (%) = 1,43; P (mg g⁻¹) = 3191; K (mg g⁻¹) = 27050; Ca (mg g⁻¹) = 20310; Mg (mg g⁻¹) = 3706. Costa *et al.* (2006), trabalhando com compostagem de carcaça de aves, obteve a seguinte composição média para o composto: pH (H₂O) = 7,63 C (%) = 27,1; N (%) = 2,6; P (mg g⁻¹) = 26881; K (mg g⁻¹) = 26750; Ca (mg g⁻¹) = 37750; Mg (mg g⁻¹) = 7356.

Esta comparação permite inferir sobre os teores de P, K, Ca e Mg encontrados no composto do presente estudo, porém sua utilização dependerá da cultura que irá recebê-lo e da capacidade suporte do ambiente.

Infere-se, portanto, que a composição química dos compostos orgânicos produzidos está diretamente relacionada ao material de origem, e que sua utilização como fonte de nutrientes e de matéria orgânica às culturas requer um estudo da capacidade de suporte do ambiente visando a garantir nutrição às plantas sem, no entanto, comprometer os recursos naturais.

6. CONCLUSÕES

As conclusões serão apresentadas seguindo a mesma ordem dos itens do capítulo anterior.

6.1. Análises Físicas

6.1.1. Densidade

Pode-se concluir que, na fase de degradação ativa, houve uma diminuição da densidade devido à redução do teor de umidade, bem como da taxa de degradação da matéria orgânica. As leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram maior redução da densidade que as demais, devido à alta taxa da matéria orgânica.

Na fase de maturação, pode-se concluir que o aumento da densidade nas leiras reviradas ocorreu devido às correções sucessivas da umidade do material, quando necessário, durante o período de 50 dias.

6.1.2. Temperatura

Neste trabalho, foi verificado que a temperatura é o parâmetro mais importante para ser utilizado como indicador da eficiência do processo de compostagem. Pode-se concluir, também, que o sucesso operacional na compostagem está diretamente ligado à manutenção de temperaturas termofílicas, em toda a massa de compostagem, por um maior tempo possível, durante a fase ativa, a qual promove uma série de vantagens, tais como: aumentar a taxa de degradação da matéria orgânica e ser um dos mais importantes mecanismos para a eliminação de patógenos.

Na fase de maturação, as leiras estáticas apresentaram temperaturas menores que as que sofreram reviramento, porém as leiras reviradas apresentaram maior taxa de degradação da matéria orgânica.

6.2. Análises físico-químicas

6.2.1. Teor de umidade

Neste trabalho, pode-se observar que a taxa de degradação da matéria orgânica depende do teor de umidade, o qual influi diretamente na atividade microbiana. As leiras operacionalizadas sob o modo negativo apresentaram um teor de umidade final baixo e, conseqüentemente, uma baixa degradação de matéria orgânica, enquanto que as leiras operacionalizadas sob o modo positivo e híbrido apresentaram um teor de umidade final superior a 40%.

Conforme experimentos analisados neste trabalho, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- a) Um teor de umidade inferior a 40% torna-se desfavorável à atividade microbiana nas leiras operacionalizadas sob processo de aeração forçada, tornando lenta a decomposição do material utilizado, conforme obsevou-se nas leiras sob o modo negativo.
- b) Para um material com características similares ao deste trabalho, o teor de umidade inicial deve situar-se em torno de 60%.
- c) Um fator que pode afetar o teor de umidade, durante a compostagem, é a taxa de aeração aplicada ao sistema.

6.2.2. Matéria orgânica total

Pode-se concluir que o teor de matéria orgânica das matérias-primas sujeitas à decomposição biológica diminui à medida que caminha para a humificação, e, na fase de maturação, a degradação da matéria orgânica se torna maior quando as pilhas são reviradas.

As leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram maior taxa de degradação da matéria orgânica, em menor tempo, do que as demais, durante a fase ativa, revelando, portanto, sua eficiência.

6.2.3. Carbono Orgânico Total

Durante a fase ativa, pode-se concluir que as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram maior redução de carbono que as leiras operacionalizadas sob os modos positivo e negativo. Na fase de maturação, as pilhas reviradas apresentaram uma redução de carbono em torno de 40%, o que revela a importância do reviramento, nesta fase.

6.2.4. pH

Este parâmetro forneceu uma boa informação sobre o estado de decomposição da matéria orgânica submetida a um processo de fermentação. O conhecimento do pH foi essencial para avaliar o estado das leiras, principalmente, no que se refere à variação de compostos nitrogenados. No final da fase ativa, todas as pilhas, independentemente do modo de aeração utilizado, apresentaram pH alcalino, mantendo-se até à maturação, dando uma vantagem ao composto orgânico como elemento de correção para solos ácidos.

6.3. Análises químicas

6.3.1. Nitrogênio total

Em todas as leiras, independente do modo de aeração utilizado, os resultados do nitrogênio total apresentaram valores bastante variáveis, devido às características da matéria orgânica utilizada. Durante a fase ativa, o teor de nitrogênio cresceu em todas as leiras enquanto que na fase de maturação todas as leiras apresentaram teor de nitrogênio bastante variável.

6.3.2. Relação C/N

Este parâmetro serviu para indicar o tempo de compostagem e o grau de decomposição da matéria orgânica. Durante a fase ativa, a relação C/N, em todas as leiras diminuiu, sendo que as leiras operacionalizadas sob o modo híbrido apresentaram maior redução em um menor tempo de degradação do material carbonatado.

Na fase de maturação, a relação C/N foi muito variável em todas as leiras, independentemente do modo de aeração utilizado, sendo que a relação C/N no final desta fase das leiras sob os modos híbrido e positivo apresentaram valores próximos aos recomendados pela legislação brasileira, enquanto que as leiras sob o modo negativo registraram valores superiores, indicando um estado não adequado de estabilização.

6.4. Análise Bacteriológica

A eliminação dos microrganismos patogênicos foi registrada após o vigésimo dia da montagem das leiras em todos os processos, durante a fase de aeração (fase ativa). No vigésimo quinto dia desta fase foi constatada a ausência dos mesmos nas leiras operacionalizadas sob o modo híbrido, o que mostra a eficiência deste processo em relação às demais.

6.5. Término da fase ativa

Como o término da fase ativa das leiras operacionalizadas sob os modos positivo e negativo ocorreu nos dias 40 e 50, respectivamente de sua montagem, e nas leiras sob o modo híbrido, o término desta fase ocorreu no trigésimo dia, reduzindo consideravelmente o período de compostagem, conclui-se que o método híbrido requer um menor tempo para decomposição da matéria orgânica e conseqüentemente menor tempo para produção de adubo.

6.6. Término da Fase de Maturação

Com relação à fase de maturação, pode-se concluir que, quando as leiras são reviradas (aeradas), apresentam melhores resultados no final desta fase, quanto ao grau de estabilização e, conseqüentemente, humificação do que as leiras estáticas.

6.7. Conclusão final

Pode-se concluir que os resultados apresentados mostram, com base nos experimentos criteriosamente monitorados, que não é válido avaliar a eliminação de microrganismos patogênicos no processo de compostagem com base em simples

recomendações que preconizam tempos de apenas uma hora ou dois a três dias sob temperaturas termofílicas, pois existem vários fatores intrínsecos aos processos de compostagem que jamais permitirão que a eliminação desses microrganismos ocorra em períodos tão curtos como preconiza boa parte da bibliografia especializada. Dentre esses fatores, estão: a heterogeneidade do material, o tamanho das partículas, a existência de zonas mortas nas leiras de compostagem e o tipo de sistema utilizado.

Para a obtenção de um produto final livre de contaminantes biológicos, é necessário manter um rígido controle do processo para os parâmetros oxigenação e umidade, onde o binômio “temperatura/tempo” torna-se de importante para a eliminação de contaminantes biológicos na compostagem.

A análise dos resultados obtidos para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nos três sistemas avaliados neste trabalho permite inferir sobre o desempenho positivo dos sistemas operacionalizados sob o modo positivo e híbrido. Com relação à aeração na primeira fase do processo (fase ativa), pode-se afirmar que seu efeito contribuiu satisfatoriamente, tanto na eliminação de patógenos como na diminuição do tempo de compostagem, acelerando a metabolização da matéria orgânica.

De posse dos resultados das análises dos experimentos e interpretação dos dados, observou-se que vários parâmetros encontrados nos sistemas utilizados estão dentro dos limites exigidos pela legislação brasileira. O sistema híbrido proposto neste trabalho apresentou ser mais eficiente que os demais (positivo e negativo). Este sistema tem como finalidade manter toda a massa de compostagem sob temperaturas termofílicas uniformes, obtendo um menor gradiente de temperatura e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do processo quanto à eliminação de microrganismos indicadores e à degradação da matéria orgânica. O uso deste sistema, seguido da fase de maturação, com reviramentos periódicos das leiras, constitui-se de alta eficiência, simples e de baixo custo.

Sabendo-se que, em qualquer projeto de tratamento de resíduos, existe o item custo (investimento/operação) como fator determinante na escolha do processo. Na avaliação do processo de compostagem proposto nesta pesquisa, verificou-se que, em leiras montadas e monitoradas em pátio descoberto, as condições operacionais são fatores importantes para o delineamento do projeto. Entre os aspectos importantes estão: o dimensionamento adequado

das leiras, a frequência de oxigenação e de irrigação, o controle da temperatura e o tipo de resíduo a ser utilizado.

Finalmente, conclui-se que a monitorização da compostagem por meio das análises físicas, químicas e biológicas são importantes quando se trata do produto final, ou seja, do composto orgânico humificado, como forma de classificá-lo segundo a legislação para a sua utilização adequada. Durante o processo de compostagem, é necessário controlar basicamente a temperatura, a umidade e o tempo de decomposição da matéria orgânica a ser compostada, visto que esses parâmetros são de fácil acompanhamento.

Espera-se que, com este sistema, os resultados do composto orgânico produzido no banco de mudas da cidade de Sobral – CE, seja satisfatório, melhorando sua produção e sua qualidade atual e, conseqüentemente, contribuindo para a melhoria do tratamento de outros resíduos.

Acredita-se que qualquer tentativa de propor soluções eficientes, simples e de baixo custo, para contribuir com a diminuição dos problemas ambientais relacionados à disposição inadequada dos resíduos sólidos, é válida, devido aos inúmeros impactos ambientais ocasionados pelos mesmos.

7. RECOMENDAÇÕES

Baseando-se no contexto sistematizado dos experimentos deste trabalho, considerando-se as necessidades de aprimorar-se o conhecimento com relação ao tema, e tendo em vista que o processo de compostagem é um tratamento de resíduos sólidos com as finalidades de redução e aproveitamento da matéria orgânica, recomenda-se, para futuras pesquisas e para produção de composto orgânico seguro no ponto de vista bacteriológico e ambiental, o seguinte:

- realizar medições regulares de temperatura e de umidade em campo para o controle efetivo em leiras em processos de compostagem;
- testar, em processos de compostagem, diferentes composições de resíduos orgânicos a serem processados, visto que cada resíduo possui características físicas, químicas e biológicas diferenciadas típicas de cada região;
- realizar a compostagem de resíduos sólidos domiciliares conjuntamente com resíduos de podas de árvores (fonte de carbono) e outros resíduos com maiores teores de nitrogênio, objetivando aumentar o teor da matéria orgânica e conseqüentemente do carbono orgânico e o nitrogênio do composto, como forma de adequar o produto a legislação de fertilizantes orgânicos (Portaria nº 1 do Ministério da Agricultura e instruções normativas complementares);
- fazer operação de controle de revolvimento das mesmas, para montagem de leiras em pátios descobertos, e adotar dimensões adequadas para a manutenção da temperatura na fase termofílica no início do processo por um maior tempo possível;
- segregar os lixiviados produzidos em processo de compostagem, de acordo com cada uma de suas fases, recirculando na fase de degradação ativa, onde as cargas são mais elevadas e, tratá-los durante a fase de maturação do composto.

- realizar pesquisa com projetos integrados: de coleta seletiva ao uso da compostagem para os resíduos sólidos orgânicos associando a agricultura urbana e a familiar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C. V.. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES. 2001
- ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; LARA, A. I. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2ª ed. Curitiba. 2001
- ALEXANDER, N. “**Microbial ecology**”. In: **Introduction soil microbiology**, 2ª.adição, New York, 1977.
- ARAGÃO J.M. de S.; STENTIFORD, E. I. **A influência da temperatura na perda de nitrogênio durante a compostagem**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Recife. **Anais**. Recife: ABES, 1999. p. 1884-1887.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18ª edição. Washington: American Public Health Association, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, RJ. p. 71
- AUSINA, M.C.; MATOS, A.T.; SEDIUAMA, M.A.N.; COSTA, L.M. **Dinâmica da decomposição de resíduos orgânicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD ROM
- BAETA-HALL, L. et al. **A compostagem como Processo de Valorização dos Resíduos Produzidos na Extração de Azeite em Contínuo**. Lisboa, 2002. (Boletim de Biotecnologia)
- BALLESTERO, S. D. *et al.* **Avaliação do composto de lixo urbano para uso agrícola: índice de produção de CO₂ e maturidade**. Campinas: EMBRAPA, 2000

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos da produção.** Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2005.

BARRINGTON, S.; CHOINIÈRE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W.. **Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses.** *Bioresource Technology*, Canadá, n. 83, p. 189-194, 2002

BERNAL, M.P.; PAREDES, C.; SANCHEZ-MONEDERO, M.A.; CEGARRA, J. **Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes.** *Bioresource Technology*, Kidlington, v.63, n.1, p.91-9, 1998.

BERTOLDI, M. de, VALENNI, G; PERA, A. E **“Comparison of three windrow compost Systems”** *Biocycle*, vol. 23 (12), pp. 45-50.. 1982

BERTOLDI, M. de; VALENNI, G. e PERA, A. **The biology of composting: a Review** In: **waste management & research.** Vol. 1.1983

BERTOLDI, M.; ZUCCONI, F.; CIVILINI, M. **Temperature pathogen control and product quality.** In: **THE BIOCYCLE Guide to the art & science of composting.** Emmaus: J.G. Press, 1991.

BERTON, R.S. **Utilização do composto de lixo na agricultura.** In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Comissão de Poluição do Solo e Qualidade do Ambiente, 1996. (CD-ROM)

BIDDLESTONE, A.J., BALL; D. e GRAY, K.R.: **“Compost and urban waste recycling”.** *Advances in Food Producing System for and Semiarid Lands.* Academic Press. pp. 191-224.1991

BIDONE, F. R. A.. **Tratamento e disposição final de resíduos sólidos domésticos.** Apostila. Porto Alegre: UFRGS. 1996

BIDONE, F. R. A. & POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BIDONE, F. R. A.; GEHLING, G. R.; SOUZA, L. F.; REIS, M. F. P.; MACHADO, R. M.; MIRANDA, A. R.; MARTINS, A.; BARRELLA, K. M.; ALVES, K. C. G.; SOARES, S. R.; ROCHA, J. C. 2001. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: ABES. 2001

BISHOP, P.L. e GODFREY, C. "Nitrogen Transformation During Sludge Composting". *Biocycle* July/August, Vol.24(4), pp.34-39. 1983

BÜTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC**. Dissertação (Mestrado) – Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de Corretivos, Fertilizantes e Inoculantes: Métodos Oficiais**. Brasília, 1983a, 104 p.

BRASIL. Ministério de Agricultura. **Portaria n° 01, de 4 março de 1983**. Brasília: 1983b.

BRASIL. Ministério de Agricultura. **Portaria n° 31, de 8 junho de 1982**. Brasília: 1982

BRASIL/Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. 2000

BRITTO JÚNIOR, A. O. S. **Produção de composto usando lodo de estação de tratamento de esgoto: caso da CEASA-CE**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003.

BORÉM, A **pequeno glossário de termos agrônômicos**. Viçosa - MG: A.Borém. 1998.169p.

CABRAL, Nájila. R.A.J; SANTOS, Fernando J.P.N; **Estudo da viabilidade do uso de gás de aterros sanitários nos municípios cearenses**. Relatório Técnico, Fortaleza: SECITECE, 2007

CAMPBELL, D.J.V. **Na universal approach to landfill management acknowledging local criteria for site desing** In: INTERNATIONAL LANDFILL SYMPOSIUM, Caligari, Sardinia, Italy. Proceedings... Caligari: CISA, 1991.

CAMPBELL, S. **Manual de compostagem para hortas e jardins**. São Paulo: Nobel, 1995.

CAMPOS, A.L. de O.; BLUNDI,C.E. **Avaliação da matéria orgânica em compostagem: Metodologia e Correlações**. São Paulo: USP,2000.

CARDENAS, JR. R.R. e WANG, L.K **“Cosposting process”**. Handbook of Enviromental Engineering; Humana Press. Clifton N.J., U.S.A., pp 269-327. 1980

CARNES, R.A. E LOSSIN, R.D.: **“A investigation of the pH characteristics os compost”**. Compost Science, vol. 11(5), pp 18-21.1990.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ,M.F. Carcaterização química de composatos de lixo urbano de algumas usina brasileiras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº 22, seção IX, p. 547 – 553.1998.

CENTRO DE DEMONSTRAÇÃO DE COMPOSTAGEM – Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa. **Introdução a compostagem**. Disponível em: [http:// www.esb.ucb.ucp.pt/compostagem/compost/intro2.html](http://www.esb.ucb.ucp.pt/compostagem/compost/intro2.html) - Acesso 27 de Jan. de 2006

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM - CEMPRE. **Cadernos de Reciclagem 6: Compostagem – A outra metade da reciclagem**. 2ª edição. São Paulo, 2001.

COSTA, M.B.B.da (Org.). **Adubação orgânica**, São Paulo, 102p. 1989

COSTA, C. A. **Crescimento e teores de sódio e de metais pesados da alface e da cenoura adubadas com composto orgânico de lixo urbano**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 1994.

COSTA, Mônica S. S. de M., COSTA, Luiz A. de M., SESTAK, Marcelo *et al.* **Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão**. *Eng. Agríc.*, maio/ago. 2005a, vol.25, no.2, p.540-548. ISSN 0100-6916

COSTA, Mônica S. S. de M., COSTA, Luiz A. de M., OLIBONE, Dácio *et al.* **Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves**. *Eng. Agríc.*, maio/ago. 2005b, vol.25, no.2, p.549-556. ISSN 0100-6916.

COSTA, Mônica S. S. de M. Costa *et al.* **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.10, n.3, p.692–698, 2006.

CUNHA QUEDA, A. C. F. *et al.* **Importância da monitoração do processo de compostagem** – pressupostos para a produção de compostos com elevada qualidade. 2000.

DECARLI, L. **Desenvolvimento de metodologia para compostagem de resíduos sólidos de frigorífico**. 1999. 66 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 1999.

DEVENS, D. C. **Aplicação do processo de compostagem com aeração forçada positiva aos resíduos sólidos da indústria de café solúvel**, 1995 169f Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. UFES, Vitória,1995

DIAZ, L.F., GOLUEKE, C. G. & SAVAGE, G.N., **“Energetics of compost production and utilization”**. Biocycle, Setembro, 1986.

D. KING, Larry. Soil Heavy Metals. In: **O Solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**, 1996, Viçosa. Anais... Viçosa: 1996.

EGREJA FILHO, F. B. - **Avaliação da ocorrência e distribuição química de metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – Brasil, 1993.

EGREJA FILHO, F. B, PEREIRA NETO, J. T; **Metais pesados na compostagem uma contribuição ao estado da arte.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1995, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1995. (Em CD-Rom).

ESALPL. MANUAL DE COMPOSTAGEM.. Disponível em:<[http://www.ci.esalpl.pt/mbrito/compostagem/Manual Compostagem.htm](http://www.ci.esalpl.pt/mbrito/compostagem/Manual%20Compostagem.htm)>. 2005.Acesso em: 20 jul. 2007.

FEITOSA, R.L.A. **Produção de composto orgânico como forma de reciclagem na gestão integrada de resíduos sólidos: o caso de Tauá, Ceará.** Dissertação (Mestrado). Pós – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará-UFC, 2005.

FERNANDES, F. *et al.* **Produção de fertilizantes orgânicos por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgoto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB – EMBRAPA, Brasília,. V. 28, n.5, p. 567-574, maio 1993.

FERNANDES, F. *et al.* **Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos.** Revista Sanare, Curitiba. v. 5, n. 5 jan/jun, 1996.

FERNANDES. P.A.L – **Estudo comparativo de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** [Dissertação de Mestrado da Universidade de Coimbra – Portugal]. 1999

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira. **Manual prático para compostagem de bio-sólidos.** Rio de Janeiro: ABES. 1999.

FIGUEIREDO, Fernando. E.R. **Agricultura alternativa versus convencional.** Revista Brasileira de Agropecuária. Ano 1 n. 9. 2001, p. 18-20.

FINSTEIN, M. S. CIRELLO, J, MACGREGOR, S.T., MILLER, F. C. e PSARIANOS, K.M. **“Sludeg composting and utilization: rational approach to process control”**. Final Report to USEPA, NJDEP, CCMUA. Rutgers University, New vol 21 (4) pp. 25-27. 1980:

FINSTEIN, M.S., MILLER, F.C. e STROM, P.F. **Evolution of composting process performace”**. In: Composting of Solid Waste and Slurries. Department of Civil Engineering, Leeds University, pp. 23-24. .1983.

FINSTEIN, M.S **Composting micronal ecosystem: implications for design and control**. Biocycle, vol 21, 1984

FINSTEIN, M. S. and MILLER, F. C. **Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odour control and cost effectiveness**. In Composting of Agricultural and Other Wastes, Ed. Gasser, J.K.R., Elsevier Applied Sc., London, pp 13 – 26, 1985.

FRANCISCO NETO, João. **Manual de horticultura ecológica: guia de autosuficiência em pequenos espaços**. São Paulo: Nobel, 1995. 57-76p.

GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro; SCHALCH, Valdir. **Usinas de reciclagem e compostagem no Brasil - problemas de ordem gerencial e operacional nos sistemas existentes**. In: XXIV Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 1994, Buenos Aires. Anais. Buenos Aires: AIDIS, 1994.

GEORGACAKIS, D.; TSAVDARIS, A.; BAKOULI, J.; SYMEONIDIS, S. **Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues**. *Bioresource Technology*, Kidlington, v.56, n.1, p.195-200, 1996.

GOLUEKE, C. G. **Composting**: A study of the process and it's principles. 4^a ed. Emmaus: Rodale press, 1976.

GOLUEKE, C. G., Biological Processing: **“Composing and hydrolysis”**. Solid Waste managementy. V.N.Reinholds Company, 1977.

GOLUEKE, C. G. & DIAZ, L.F., **Composting and the limiting factor principle**. Biocycle, p.22-25, Jul, 1987.

GOUVÊA, L.C. & PEREIRA NETO, J.T. **Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem de lodo de esgoto estritamente doméstico**. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, v. I, n. 59, p. 346 - 360.1997.

GREENBERG,A.E.,SHASTID,T.B e ELLGAS,W.M “ Quality Control Monitoring. Biocycle, Outubro, p 48-56, 1986.

GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. São Paulo; [Tese de Doutorado - Instituto de Química da Universidade de São Paulo]. 1993.

HASSEN, A.; BELGUITH, K.; JEDIDI, N.; CHERIF, A.; CHERIF, M.; Boudabous, Microbial characterization during composting of municipal solid waste. Bioresource Technology, Barking, v.80, n.3, p.217-25, 2001.

HAUG, R.T. **Compost engineering: principles and practices**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980. 655p.

HAUG, R. T. **The practical handbook of composting engineering**. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers, 1993

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2000). Disponível em: (<http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/pesquisas/html>), Acesso em: 22 out. 2005

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Gestão integrada de resíduos sólidos: manual gerenciamento de resíduos sólidos**. Coordenação técnica: Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Disponível em http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico. Acesso em 25 de jun de 2008.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLIC WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3ª ed. Illinois, 1970: composting.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / CEMPRES – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2ª edição, São Paulo, 278p. 2000.

JAHNEL, Marcelo Cabral, MELLONI, Rogerio e CARDOSO, Elke J. B. N. **Maturidade de composto de lixo urbano**. *Sci. agric.*, 1999, vol.56, no.2, p.301-304. ISSN 0103-9016.

JERIS, J.S.; REGAN, R.: **“Optimum condition for composting”**. In: Solid Wastes Edit. Mantet, C. L., Wiley and Sons London, pp. 245-254. 1975

JUNKES, M. B. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. Florianópolis, 2002, 116f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.

KHERRATI, B.; FAID, M.; ELYACHIOUI, M.; WAHMANE, A. **Process for recycling slaughterhouses wastes and by-products by fermentation**. *Bioresource Technology*, Barking, v.63, n.1, p.75-79, 1998.

KIEHL, E.J., **50 perguntas e respostas sobre composto** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1979a

KIEHL, E. J. **Caracterização e classificação de compostos orgânicos**. In: **IV Seminário nacional de limpeza pública**. Recife, 1979b.

KIEHL, E.J.; PORTA, A. **Análise de lixo e composto**. Piracicaba: s. ed,1980. 62p.

KIEHL, E.J.; PORTA, A. Métodos de Amostragem de Lixo e Composto e Interpretação de Resultados Analíticos. **Limpeza pública**. São Paulo: ABPL,1981

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 492 p.1985

KIEHL, E. J., **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres 1993.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, São Paulo, Ed. Agronômica Ceres 171p.1998a.

KIEHL, E. J. Papel dos Microrganismos na compostagem. **Revista ação ambiental**, Ano I, número 1, p. 17-20 – UFV-1998b.

KIRCHMANN, H.; BERNAL, M.P. **Organic waste treatment and C stabilization efficiency**. *Soil Biology & Biochemistry*, Exeter, v.29, n.11/12, p.1747-53, 1997.

KRIEGER, K. I. **Informações sobre compostagem**. Curitiba: UFPR, 1998.

LEITÃO, V.P.M. **Produção de composto orgânico a partir de folhas de cajueiro e de mangueira**, 2002. 179f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – UFC, Fortaleza, 2002.

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **Avaliação da relação carbono/nitrogênio em composto orgânico de olhas de cajueiro, de mangueira e esterco bovino**. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2006 Fortaleza, 2006. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **O Desempenho da temperatura na produção de composto orgânico de folhas de cajueiro, de mangueira e esterco bovino**. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2006 Fortaleza, 2006. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **Monitoramento da temperatura durante a fase de degradação ativa em composto orgânico de folhas de cajueiro, de mangueira.** In: 24° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2007, Belo Horizonte - MG, 2007. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **Avaliação do pH durante a fase de degradação ativa em composto orgânico de folhas de cajueiro, de mangueira.** In: 24° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2007, Belo Horizonte - MG, 2007. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **Análise da temperatura na produção em composto orgânico de folhas de cajueiro e de mangueira.** In: XIII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2008, Belém - PA 2008a. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **A importância da relação Carbono/Nitrogênio na fase de degradação ativa em composto orgânico de folhas de cajueiro e de mangueira** In: XIII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2008, Belém - PA 2008b. 1 CD ROM

LEITÃO, V.P.M. *et al.* **Avaliação da temperatura na produção de composto orgânico usando folhas de cajueiro, de mangueira e esterco bovino.** REVISTA LIMPEZA PÚBLICA, v. 67, p. 06-09, 2008 c.

LELIS, M. de P. e NETO, J. T. P. **Estudo e avaliação do balanço de umidade na compostagem,** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Recife. **Anais.** Recife: ABES, 1999. p. 1699 – 1708.

LELIS, M.P.N de J.T PEREIRA NETO. **Controle Operacional do Processo de Compostagem.** Seminário Sobre Compostaje. Montevideo: Uruguay,2002.

LELIS, M.P.N. – **Estudo e avaliação do balanço de umidade na compostagem: determinação dos limites toleráveis em função da velocidade de degradação e controle de impactos ambientais (produção de odor e chorume).** [Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais], 1998.

LIANG, C.; DAS, K. C.; McCLENDON, R. W. **The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic activity of a biosolids composting blend.** *Bioresource Technology*, USA, n. 86, p. 131 -137. 2003

LICHTIG, J.; LIMA, J. S; MENK, J. R. F.; OLIVEIRA, E. **Composto feito de lixo pode contaminar hortaliças.** *Revista Ciência Hoje*, Vol. 24/Nº 139, pág. 56-59, junho/1998.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo.** São Paulo: Editora Hemus 1991.

LIMA, J.D. de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos do Brasil.** Rio de Janeiro: ABES 2002.

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

MACEDO, J.A.B de. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas.** 3ª Ed. Belo Horizonte –MG:CRQ – MG.2005.

MADEJÓN, E.; DÍAZ, M.J.; LÓPEZ, R.; CABRERA, F. **Co-composting of sugarbeet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used.** *Bioresource Technology*, Kidlington, v.76, n.1, p.275-8, 2001.

MALHEIROS, S. M. P. Paula Junior, D.R. de. **Utilização de resíduos agroindustriais no processo de compostagem.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Recife. **Anais...** Recife: ABES, 1999. p. 1897 – 1905.

MANSUR,G.L. **O que é preciso saber sobre limpeza urbana.** Rio de Janeiro: IBAM/MBES, 1993.

MAZUR, N. **Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos**. 1997. 129f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

MODESTO FILHO, P. **Reciclagem da matéria orgânica através da vermicompostagem**. In: TEIXEIRA, B. A. N.; TEIXEIRA, E. N.; BIDONE, F. R.; GOMES, L. P.; ZANIN, M.; SAT, M.; MODESTO, P. F.; ZEILHOFER, P. SCHALCH, V. **Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 65 p.1999.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª ed. Aum. Rio de Janeiro – RJ: ABES, 2000.

MONTEIRO, J.H.R. **Compostagem**. Disponível em < <http://www.resol.com.br>> acesso em 22 de fev. 2006

NÓBREGA, C. C. e PEREIRA NETO, J. T.: **“Estudo e avaliação da eficiência de aeração em sistemas de pilhas estáticas aeradas”**. Trabalho apresentado no II Simpósio da Pesquisa na UFV, Viçosa – MG, 1990.

NÓBREGA, C.C. **Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras**. Campina Grande, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFPB, 1991.

OBENG, L.A & WRIGHT, W.F. **“The co-composting of domestic solid and human wastes”**. World Bank Technical,1987.

O MUNICIPIO de Sobral ocupa uma área.... Disponível em: < <http://www.sobral.ce.gov.br> > Acesso em 21 de Jan. 2008

PAGILLA, K.; KIM, H.; CHEUNBARN, T. **Aerobic thermophilic and anaerobic mesophilic treatment of swine waste**. Water Research, Exceter, v.34, n.10, p.47-53, 2000.

PAULI, G. **Earthworms, mushrooms and zero waste in China**. *Biocycle*, Emmaus, v.40, n.2, p.68-9, 1999.

PEIXOTO, R. T.G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, n.57,1988.

PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN, E. C. S.. **Microbiologia**. São Paulo. Mcgraw-Hill. V.1 p.576. 1980

PELCZAR, M., REID, R. e CHAN, E.C.S.: **“Objetivos da microbiologia”**. In: Microbiologia, vol. 1, pp. 1-17. 1981

PEREIRA NETO, J. T. **Limpeza pública, saneamento do lixo**. Viçosa, UFU, Imprensa Universitária, 1980.

PEREIRA NETO, J. T., STENTIFORD, E. I & BIDDLESTONE, A. J. **Sistema de compostagem por pilhas estáticas aeradas – uma alternativa de baixo custo ao tratamento e reciclagem do lixo urbano e lodos de esgotos domésticos**. Trabalho publicado na Revista APES Lisboa, Portugal, 1986.

PEREIRA NETO, J.T.; **On the treatment of municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting; a low cost technology approach**. Leeds: University of Leeds. 276p. [Tese de Doutorado], 1987.

PEREIRA NETO, J. T. Conceitos Modernos de Compostagem. **Revista engenharia sanitária e ambiental** da ABES, Rio de Janeiro, 1989.

PEREIRA NETO, J. T., AZEVEDO, M. A & SIGER, S. M. **“Importância da fase de maturação nos processos de compostagem”**. Trabalho apresentado na 41ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Fortaleza-CE, p. 35 – 1989.

PEREIRA NETO, J. T. **“A Importância da temperatura nos sistemas de compostagem”**. Trabalho apresenta no IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte – MG – 1990.

PEREIRA NETO, J.T.; MESQUITA, M.M.F. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemiológicos**. Lisboa, 1992. 25p. (Informação Técnica-Hidráulica Sanitária, 37)

PEREIRA NETO, J. T. **Maturação do composto orgânico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, Natal, 1993.

PEREIRA NETO, J. T. **Um sistema de reciclagem e compostagem de baixo custo para países em desenvolvimento**. In.: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18, 1994a.

PEREIRA NETO, J.T. **Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas**. In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1., 1992, Viçosa. *Anais*. Viçosa - MG: UFV-NEPEMA, 1994b. p. 61-74.

PEREIRA NETO, João Tinoco; CUNHA, W. G. **Influência da inoculação de composto orgânico maturado, no período de compostagem de resíduos orgânicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 18, Salvador. 1995.

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

PEREIRA NETO, J. T., **Lixo Urbano no Brasil: descaso, Poluição Irreversível e Mortalidade Infantil**. Revista Ação Ambiental, Ano I, Número 1 – AGO/SET-1998 p.8-11 – UFV – 1998.

PEREIRA NETO, J.T. e LELIS, M. de P. N. **Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao Estado da Arte**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Recife. *Anais*. Recife: ABES, 1999

PEREIRA NETO, J. T. **Quanto vale nosso lixo**: Projeto Verde Vale. Viçosa, Minas Gerais: UNICEF, 1999a.

PEREIRA NETO, J. T.. **Gerenciamento de resíduos sólidos em municípios de pequeno porte**. Revista Ciência e Ambiente, número 18, Santa Maria-RS, 1999b.

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

PINTO, M.S. (Org.) **“Compostagem”**. In: A Coleta e Disposição do Lixo no Brasil, Rio de Janeiro – Brasil, pp.110-131.1979

POINCELOT, R.P. **“The biochemistry and methodology of composting”**. Com. Agr. Exp. Sta. Bull. Vol.754, p.38.1975.

REIS, M. F. P.; REICHERT, G. A.; BRITTO, M. J. S.. **Segregação na origem: uma solução para a qualificação do composto produzido em unidade de triagem e compostagem de resíduos sólidos**. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre. V. 27. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2000 p.223-224.

REIS, M. F.P. *et al.* **Efeitos, escala e clima no processo de compostagem em regiões subtropicais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: ABES, 2001. p. 1 – 8

REIS, Mariza F. P.; SELBACH, Pedro A.; BIDONE, Francisco R. A. Apostila do Curso: **Compostagem: aspectos teóricos e operacionais**. ABES/RS, Porto Alegre, 2003 p. 55.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFRGS. Porto Alegre. 288 p. 2005.

RICHARD, T. L., HAMELERS, H. V., VEEKEN, A., & SILVA, T. **Moisture relationships in composting processes**. *Compost Science & Utilization*, pp. 286-302. 2002

ROUSSEAU, P.D. **Lês métaux lourds dns lês ordures ménageres: origines, formes chimiques, teneures**. Villeurbanne, 1988.

RUSSO, M. A. T. 2003. **Tratamento de resíduos sólidos**. Disponível em: < http://www.uc.pt/mhidro/Tratamentos_Resíduos Sólidos.pdf>. Acesso em: 22 out. 2006.

SULER, D. J. & FINSTEIN, M. S. **Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste.** *Applied and Environmental Microbiology*, 33. 1977

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA. **Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting:** Review. In: *Energy Conversion and Management*, Inglaterra, v. 38, n. 5, p. 453-478.1997.

SCHALCH, V., LEITE, W. & GOMES, L. **Gerenciamento integrado dos resíduos sólidos.** ABES/UFC. Fortaleza, 1995.

SCHALCH,V.;Leite,W.C.A. e Fernandes,J.L.**Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** São Carlos. 2002.

SHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. **Composting: an alternative waste management option for food processing industries.** *Trends in Food Science & Technology* August, v.7, p. 263 – 267.1996.

SCHULZE, K.L.“**Aerobic decomposition of organic waste materials (continuous thermophilic composting)**” *Appl. Microbial.* Vol. II, 1981 - pp. 22-36.

SIGLEY, M.E., HIGGINS, A.J., WARTENA, R., SINGH, A., CHEN, S., WHITSON, B. e CALLANAN, K.: “**Structural characteristics of compost versus aeration**”. In: *Proc. Nat. Conf. On Municipal and Industrial Sludge Composting Material Handling. Information Transfer.* In: New Carrollton, Maryland, Nov. pp. 14-16. 1980

SIGLEY, E.M., HIGGINS, A.I. e ROSENGAUS, F.M.: “**Sludge composting and utilization: A Design and Operating Manual**”. NJAES, Rutgers University, New Jersey, 1982, p. 295.

SILVA, M. S.; COSTA, L. A. DE M.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, M. S. **Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico visando o saneamento ambiental e a produção de adubo orgânico.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1997, Rio de Janeiro. Anais. Viçosa: SBCS, 1997. CD Rom.

SILVA, M.S.; COSTA, L.A.M.; LUCAS JÚNIOR, J.; SANTOS, T.M.B.; PELÁ, A.; SILVA, C.J.; DECARLI, L.D.; MATTER, U.F.; BURIN, A.; KAUFMANN, A.V.; RÖDER, C.; SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília: MEC, 1988. 235p

OLIBONE, D.; ORTOLAN, M.L. **Avaliação de quatro sistemas de compostagem de animais mortos em sistemas avícolas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. *Anais.* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD ROM.

SILVEIRA, A. I, CENTENO, M., & QUEDA, A. C. Projeto AGRO 70. **Compostagem de lamas de ETARs de agroindústria, 1ª.** Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2005

SNELL, J. R. **Pole of temperature in garbage composting.** In: **the biocycle guide to the art & science of composting.** Emmaus: J. G. press, 1991.

SOUZA, F.C. de et al. **Avaliação da compostagem mesofílica em escala real.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., Méxi co. 2002. **Anais...**México: AIDIS, 2002. p. 1 – 5.

SOARES, F.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B; MAZUR,N. **Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, p.535-542, 2002.

STEVENSON, F.J. **Húmus chemistry.** New York: John Wiley & Sons. 1982.

TEDESCO, M. J. & STAMMEL, J.G. **Reciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos**. In: Curso de atualização em fertilização do solo sob condições de cultivo reduzido. Santa Maria: UFSM, p. 1 - 40.1986.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico n.5).

TEIXEIRA, L. B. *et al.* **Compostagem de lixo orgânico urbano no município de barbacena, Pará**. Belém: EMBRAPA, 2000.

TEIXEIRA, E.N. **Resíduos sólidos: minimização e reaproveitamento energético**. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECILCAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. São Paulo. Anais... São Paulo, 2000.

TEJADA, M.; DOBAO, M.M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J.L. **Study of composting of cotton residues**. *bioresource technology*, Kidlington, v.79, n.1, p.199-202, 2001.

TIBAU, AO. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 2. ed São Paulo: Nobel, 1983. 220p.

TÍQUIA, S. M. ; TAM, N. F. Y.. **Co - composting of spent pig litter and sludge with forced – aeration**. *Bioresource Technology*, Grã - Bretanha, n. 72, p. 1 - 7. 2000

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. **Characterization and composting of poultry litter in forced aeration piles**. *Process Biochemistry*, Elsevier, v.37, n.8, p.869-880, 2002.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Constructed wetlands treatment of municipal wastewater**, EPA/625/R99 – 010, 165 p.1999.

VAILATI, Jorge. **Agricultura alternativa e comercialização de produtos naturais**. I.B.D – Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural, Botucatu, SP,1998. 71p.

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; BÜLL, T.; FERNANDES, D.M. **Efeito de doses e tipos de composto orgânico na produção de alface (*Lactuca sativa* L.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD ROM.

VITORINO, K.M.N. **Estudo da compostabilidade de resíduos de usinas de açúcar e de álcool**. Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPB, 1991. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Recursos Hídricos) Universidade Federal da Paraíba.

VITORINO, K.M.N.; PEREIRA NETO, J.T. **Estudo da compostabilidade dos resíduos da agricultura sucroalcooleira**. In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1., 1992, Viçosa. *Anais...* Viçosa-MF: UFV-NEPEMA, 1994. P.121-32.

VAN HEERDEN, I.; CRONJÉ, C.; SWART, S. H.; KOTZÉ. **Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting**. Bioresource Technology, Grã - Bretanha, n. 81, p. 71 -76.2002.

VUORINEN, A. H.; SAHARINEN, M. H. **Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. agriculture, ecosystems and environment**, Amsterdam, v.66, n.1, p.19-29, 1997

WAGNER, Dirce M.K., **Educação ambiental para o cidadão**. In: Simpósio Sobre a Reciclagem de Lixo Urbano para fins industriais e Agrícolas, Belém, 2000. Anais: Belém, PA, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000.

WASKMAN, S. A.; CORDON, T.HULPOI, H. **Influence of temperature upon microbiological population and decomposition process in compost of stable manure. Soil science**, Baltimore – 1989.

WILSON, G.B.; PARR, J.F.; EPSTEIN, E.; MARSH, P.B.;CHANEY, R.L.; COLACICCO, D.; BURGE, W.D.;SIKORA, L.J.; TESTER, C.F.; HORNICK, S. **Manual for composting sewage skudge by the Beltsville pile method**. Beltoville. Enviromental Protection Agency.1980.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1: Variação do teor de umidade média durante a fase de degradação ativa do período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	TEOR DE UMIDADE (%)										
	MATÉRIA-PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	49,73	59,62	58,20	55,36	53,10	49,16	47,22	45,38	43,20	41,76	-
LMTA – 02 P	48,87	60,56	58,62	56,71	54,80	50,40	48,12	46,22	44,18	42,40	-
LMTA – 03 P	50,26	61,10	59,08	57,20	55,62	52,48	50,06	47,82	45,63	43,86	-
LMTA – 01 N	48,26	60,38	57,85	55,78	53,26	51,37	47,73	45,06	42,76	40,20	32,90
LMTA – 02 N	49,18	60,70	58,38	55,80	54,06	52,16	49,10	46,80	44,15	41,68	33,12
LMTA – 03 N	51,09	61,22	59,26	57,056	55,24	52,61	50,64	48,25	45,32	43,08	37,06
LMTA – 01 H	49,12	60,82	58,30	54,075	51,072	48,62	45,61	42,27	-	-	-
LMTA – 02 H	48,75	61,07	57,42	53,36	52,21	47,23	44,18	41,62	-	-	-
LMTA – 03 H	51,22	61,32	57,02	54,27	51,52	48,12	45,60	42,17	-	-	-

ANEXO 2: Variação do teor de umidade média durante a fase de maturação do período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	TEOR DE UMIDADE (%)						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	57,20	53,32	51,20	50,12	47,26	45,36	42,30
LMTA – 02 P	56,78	52,16	50,92	49,37	45,06	43,64	41,28
LMTA – 03 P	55,76	49,76	52,78	47,82	50,21	46,38	-
LMTA – 01 N	57,13	53,62	52,10	49,60	47,62	45,81	42,12
LMTA – 02 N	56,26	52,38	50,28	40,83	46,09	43,55	41,76
LMTA – 03 N	55,28	48,39	51,86	47,12	50,38	45,62	-
LMTA – 01 H	57,56	53,40	51,13	50,36	48,10	45,62	42,72
LMTA – 02 H	56,54	52,64	51,29	49,26	45,50	43,72	41,60
LMTA – 03 H	54,96	48,23	52,63	50,08	51,27	46,10	-

ANEXO 3: Variação do teor de matéria orgânica médio durante a fase de degradação ativa período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	MATÉRIA ORGÂNICA										
	MATÉRIA-PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	78,77	82,00	81,18	80,22	74,65	70,30	65,38	64,03	62,70	60,03	-
LMTA – 02 P	84,13	85,75	85,50	82,91	82,28	77,94	76,14	71,02	69,26	61,42	-
LMTA – 03 P	74,41	78,34	79,82	78,34	74,96	72,87	68,09	66,36	64,63	59,31	-
LMTA – 01 N	88,54	86,34	84,81	82,90	82,51	80,90	78,23	77,06	73,92	71,20	67,38
LMTA – 02 N	81,50	84,38	81,80	81,18	79,45	74,76	72,30	70,36	70,24	68,38	66,46
LMTA – 03 N	85,28	86,33	85,17	83,86	82,23	77,88	74,10	71,51	71,32	69,02	67,22
LMTA – 01 H	79,06	82,81	78,56	76,14	68,13	63,85	62,13	53,48	-	-	-
LMTA – 02 H	86,33	88,73	85,60	84,55	71,96	67,60	65,57	61,91	-	-	-
LMTA – 03 H	80,66	83,92	77,87	75,17	72,71	68,14	65,75	60,32	-	-	-

ANEXO 4: Variação do teor de matéria orgânica médio durante a fase de maturação do período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	MATÉRIA ORGÂNICA						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	75,96	71,23	65,50	59,32	54,24	48,72	46,38
LMTA – 02 P	71,02	66,82	61,90	58,62	53,85	49,32	42,66
LMTA – 03 P	73,84	62,20	52,36	47,86	41,08	36,48	-
LMTA – 01 N	73,72	70,63	65,74	63,25	58,95	56,61	44,86
LMTA – 02 N	80,74	74,86	70,92	65,23	61,32	55,76	47,76
LMTA – 03 N	73,97	61,72	55,80	48,68	41,74	36,72	-
LMTA – 01 H	71,15	66,25	61,30	56,18	52,60	46,87	43,98
LMTA – 02 H	76,41	71,22	65,73	61,88	56,72	52,68	45,68
LMTA – 03 H	71,62	59,29	52,12	46,72	40,38	35,12	-

ANEXO 5: Variação do teor de carbono médio durante a fase ativa do período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	MATÉRIA-PRIMA	CARBONO TOTAL									
		FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	44,92	45,56	45,10	44,57	41,047	39,06	36,32	35,57	34,83	33,35	-
LMTA – 02 P	46,74	47,64	47,50	46,06	45,71	43,30	42,30	39,45	38,48	34,12	-
LMTA – 03 P	41,34	43,52	44,35	43,53	41,65	40,49	37,83	36,87	35,90	32,95	-
LMTA – 01 N	49,19	47,96	47,12	46,06	45,84	44,94	43,46	42,81	41,06	39,55	37,43
LMTA – 02 N	45,28	46,88	45,45	45,10	44,13	41,53	40,17	39,09	39,02	37,98	36,92
LMTA – 03 N	47,38	48,01	47,32	46,59	45,68	43,26	41,16	39,73	39,62	38,34	37,34
LMTA – 01 H	43,92	46,00	43,64	42,30	37,85	35,47	34,52	29,71	-	-	-
LMTA – 02 H	47,96	49,29	47,55	46,97	39,98	37,55	36,43	34,39	-	-	-
LMTA – 03 H	44,81	46,62	43,26	41,76	40,40	37,86	36,53	33,51	-	-	-

ANEXO 6: Variação do teor de carbono médio durante a fase de maturação do período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	CARBONO TOTAL						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	42,224	39,573	36,389	32,956	30,133	27,061	25,767
LMTA – 02 P	39,451	36,767	34,388	32,567	29,917	27,389	23,700
LMTA – 03 P	41,022	34,556	29,089	26,589	22,823	20,267	-
LMTA – 01 N	40,961	39,239	36,523	35,138	32,750	331,445	24,922
LMTA – 02 N	44,856	41,589	39,402	36,238	34,067	30,978	26,533
LMTA – 03 N	41,095	34,289	31,001	27,045	23,189	20,400	-
LMTA – 01 H	39,528	36,805	34,056	31,211	29,223	26,038	24,433
LMTA – 02 H	42,450	39,556	36,517	34,738	31,512	29,267	25,378
LMTA – 03 H	39,789	32,939	28,956	25,955	22,433	19,511	-

ANEXO 7: Variação do pH em água médio durante a fase de degradação ativa no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	pH em Água										
	MATERIA PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	4,97	5,12	5,28	5,52	5,72	5,91	6,09	6,21	6,48	7,06	-
LMTA – 02 P	5,35	5,42	5,51	5,63	5,70	5,82	6,03	6,31	6,59	6,97	-
LMTA – 03 P	5,40	5,53	5,68	5,76	5,87	5,93	6,12	6,29	6,52	7,02	-
LMTA – 01 N	5,07	5,16	5,23	5,31	5,42	5,51	5,73	5,80	5,98	6,19	6,95
LMTA – 02 N	5,28	5,34	5,41	5,48	5,56	5,62	5,76	5,87	6,17	6,29	6,86
LMTA – 03 N	5,43	5,51	5,57	5,63	5,72	5,85	5,91	6,07	6,21	6,36	7,08
LMTA – 01 H	5,13	5,28	5,49	5,81	6,03	6,27	6,73	7,08	-	-	-
LMTA – 02 H	5,47	5,72	5,90	6,17	6,28	6,35	6,81	7,15	-	-	-
LMTA – 03 H	5,39	5,63	5,79	6,06	6,21	6,42	6,79	7,11	-	-	-

ANEXO 8: Variação do pH em CaCl₂ médio durante a fase de degradação ativa no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	pH em CaCl ₂										
	MATERIA PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	4,72	5,07	5,16	5,41	5,60	5,73	5,87	6,05	6,37	6,86	-
LMTA – 02 P	5,12	5,25	5,37	5,51	5,56	5,67	5,79	6,21	6,42	6,75	-
LMTA – 03 P	5,27	5,13	5,48	5,62	5,70	5,81	5,92	6,17	6,49	6,81	-
LMTA – 01 N	4,81	5,06	5,11	5,19	5,23	5,36	5,62	5,69	5,81	6,02	6,76
LMTA – 02 N	5,09	5,18	5,27	5,33	5,41	5,49	5,58	5,72	6,02	6,11	6,68
LMTA – 03 N	5,29	5,32	5,41	5,48	5,53	5,68	5,76	5,93	6,07	6,19	6,82
LMTA – 01 H	4,96	5,11	5,32	5,63	5,84	6,09	6,57	6,80	-	-	-
LMTA – 02 H	5,35	5,58	5,76	6,05	6,16	6,22	6,73	6,92	-	-	-
LMTA – 03 H	5,31	5,50	5,65	5,94	6,12	6,31	6,65	6,87	-	-	-

ANEXO 9: Variação do pH em água, médio durante a fase de maturação no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	pH em água						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	7,13	7,27	7,45	7,76	7,83	8,09	8,35
LMTA – 02 P	7,03	7,19	7,36	7,82	7,91	8,05	8,18
LMTA – 03 P	7,09	7,32	7,51	7,93	8,02	8,21	-
LMTA – 01 N	7,02	7,14	7,23	7,65	7,83	7,92	8,02
LMTA – 02 N	6,96	7,08	7,21	7,72	7,86	7,97	8,12
LMTA – 03 N	7,16	7,28	7,39	7,96	8,09	8,32	-
LMTA – 01 H	7,12	7,23	7,41	7,87	8,16	8,27	8,56
LMTA – 02 H	7,19	7,34	7,47	7,65	8,07	8,21	8,39
LMTA – 03 H	7,21	7,39	7,51	7,73	7,96	8,45	-

ANEXO 10: Variação do pH em CaCl_2 médio durante a fase de maturação no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	pH em CaCl_2						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	6,91	7,04	7,22	7,55	7,67	7,85	8,17
LMTA – 02 P	6,82	6,90	7,14	7,51	7,69	7,80	7,96
LMTA – 03 P	6,86	7,11	7,27	7,72	7,85	7,98	-
LMTA – 01 N	6,79	6,92	9,97	7,40	7,59	7,68	7,83
LMTA – 02 N	6,73	6,82	6,91	7,050	7,63	7,76	7,90
LMTA – 03 N	6,93	7,97	7,15	7,75	7,87	8,06	-
LMTA – 01 H	6,87	6,95	7,19	7,62	7,94	8,03	8,32
LMTA – 02 H	6,97	6,92	7,12	7,43	7,82	7,98	8,12
LMTA – 03 H	6,91	7,17	7,26	7,52	7,70	8,14	-

ANEXO 11: Variação do teor de nitrogênio total médio durante a fase de degradação ativa no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	NITROGENIO TOTAL										
	MATÉRIA-PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	1,123	1,139	1,187	1,238	1,296	1,347	1,397	1,482	1,583	1,677	-
LMTA – 02 P	1,140	1,191	1,218	1,245	1,306	1,353	1,410	1,461	1,539	1,624	-
LMTA – 03 P	1,060	1,116	1,167	1,209	1,262	1,306	1,361	1,418	1,496	1,569	-
LMTA – 01 N	1,118	1,142	1,178	1,212	1,239	1,284	1,317	1,381	1,466	1,582	1,627
LMTA – 02 N	1,136	1,170	1,196	1,219	1,261	1,298	1,339	1,396	1,500	1,583	1,678
LMTA – 03 N	1,102	1,143	1,183	1,226	1,269	1,311	1,328	1,370	1,467	1,533	1,556
LMTA – 01 H	1,126	1,210	1,247	1,322	1,402	1,478	1,569	1,563	-	-	-
LMTA – 02 H	1,142	1,202	1,285	1,342	1,458	1,502	1,584	1,637	-	-	-
LMTA – 03 H	1,093	1,165	1,236	1,305	1,393	1,456	1,522	1,523	-	-	-

ANEXO 12: Variação do teor de nitrogênio total médio durante a fase de maturação no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	NITROGENIO TOTAL						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	1,624	1,720	1,732	1,735	1,674	1,592	1,610
LMTA – 02 P	1,578	1,598	1,563	1,628	1,759	1,721	1,580
LMTA – 03 P	1,709	1,570	1,454	1,564	1,521	1,559	-
LMTA – 01 N	1,517	1,509	1,460	1,527	1,489	1,572	1,311
LMTA – 02 N	1,605	1,540	1,515	1,509	1,481	1,408	1,263
LMTA – 03 N	1,522	1,371	1,347	1,229	1,105	1,073	-
LMTA – 01 H	1,647	1,673	1,702	1,642	1,719	1,627	1,879
LMTA – 02 H	1,698	1,719	1,826	1,909	1,970	1,951	2,114
LMTA – 03 H	1,657	1,497	1,378	1,527	1,495	1,501	-

ANEXO 13: Variação da relação C/N média durante a fase de degradação ativa no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	RELAÇÃO C/N										
	MATÉRIA-PRIMA	FASE DE DEGRADAÇÃO ATIVA									
		DIAS									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
LMTA – 01 P	40	40	38	36	32	29	26	24	22	20	-
LMTA – 02 P	41	40	39	37	35	32	30	27	25	21	-
LMTA – 03 P	39	39	38	36	33	31	28	26	24	21	-
LMTA – 01 N	44	42	40	38	37	35	33	31	28	25	23
LMTA – 02 N	40	40	38	37	35	32	30	28	26	24	22
LMTA – 03 N	43	42	40	38	36	33	31	29	27	25	24
LMTA – 01 H	39	38	35	32	27	24	22	19	-	-	-
LMTA – 02 H	42	41	37	35	28	25	23	21	-	-	-
LMTA – 03 H	41	40	35	32	29	26	24	22	-	-	-

ANEXO 14: Variação da relação C/N média durante a fase de maturação no período de compostagem. Pesquisa realizada em Sobral, Ceará. 2006

TRATAMENTO	RELAÇÃO C/N						
	FASE DE MATURAÇÃO						
	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
LMTA – 01 P	26	23	21	19	18	17	16
LMTA – 02 P	25	23	22	20	17	16	15
LMTA – 03 P	24	22	20	17	15	13	-
LMTA – 01 N	27	26	25	23	22	20	19
LMTA – 02 N	28	27	26	24	23	22	21
LMTA – 03 N	27	25	23	22	21	19	-
LMTA – 01 H	24	22	20	19	17	16	13
LMTA – 02 H	25	23	20	18	16	15	12
LMTA – 03 H	24	22	21	17	15	13	-