

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL –
MESTRADO E DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNO-AMBIENTAL**

Jacir José Dalpian

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS CONTENDO GORDURA E
CELULOSE DE INDÚSTRIA DE PRODUTOS CÁRNEOS: VALORAÇÃO DE
RESÍDUOS À SUB-PRODUTO**

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2004

Jacir José Dalpian

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS CONTENDO GORDURA E
CELULOSE DE INDÚSTRIA DE PRODUTOS CÁRNEOS: VALORAÇÃO DE
RESÍDUOS À SUB-PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional – Mestrado – do Programa de Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento Regional da Universidade de Santa Cruz do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Tecno-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Leandro Machado

Co-Orientadora: Profa. Msc. Liliane Marquardt

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2004

Jacir José Dalpian

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS CONTENDO GORDURA E CELULOSE DE
INDÚSTRIA DE PRODUTOS CÁRNEOS: VALORAÇÃO DE RESÍDUOS À SUB-
PRODUTO**

Esta dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento Regional – Mestrado e Doutorado, Área de Concentração Tecno-Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Tecno-Ambiental.

Dr. Ênio Leandro Machado
Prof. Orientador

Msc. Liliane Marquardt
Profa. Co-orientadora

Dr. Valderi Duarte Leite (UEPB)

Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez (UNISC)

A minha esposa Cláudia e filha Bárbara com amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pelo incentivo, aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional – Mestrado, pelo ensinamento e amizade e, em especial, ao professor orientador Dr. Ênio Leandro Machado e professora co-orientadora Msc. Liliane Marquardt, pela sabedoria transmitida e encorajamento na realização deste trabalho.

Ao colega e amigo professor Msc. Edson Irineu Müller pela dedicação e profissionalismo.

A Empresa Excelsior Alimentos S/A pela oportunidade e apoio para a realização deste trabalho, em especial, ao Sr. João Fernando Baumhardt pelo entusiasmo, compreensão e paciência.

Também agradeço à CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela concessão da Bolsa de Estudos.

Feliz aquele que conhece as razões das coisas.

(PÚBLIO VERGÍLIO MARCO)

RESUMO

Nas indústrias de produtos cárneos embutidos, tanto os resíduos ricos em gorduras, como os invólucros de celulose utilizados durante o processamento de salsichas, são frequentemente muito volumosos e representam um problema sério quanto a destinação ecologicamente sustentável. O presente trabalho consiste no estudo da geração de dados básicos, bem como da viabilidade técnica do reaproveitamento de resíduos poluentes originários das indústrias de embutidos cárneos. Os resíduos sólidos utilizados nesta pesquisa foram: resíduo celulósico; resíduo gorduroso; lodo biológico e rúmen bovino. O método de compostagem utilizado foi o biológico misto (aeróbio e anaeróbio). A experimentação envolveu 03 etapas com 02 leiras em triplicata cada, dispostas em área coberta, isoladas do solo por piso de concreto. Os valores iniciais da relação carbono/nitrogênio (C/N) das leiras situaram-se em torno de 30/1. O revolvimento das leiras foi manual com uma frequência diária e a cada três dias. Os parâmetros operacionais avaliados (temperatura, umidade e frequência de revolvimento) apresentaram valores satisfatórios, bem como a C/N final das leiras situou-se próxima de 10/1. Os dados obtidos na experimentação indicam que o método artesanal na forma de monte com revolvimento a cada três dias contendo uma formulação de 64 % de resíduo celulósico, 18 % de resíduo gorduroso e 18 % de lodo biológico proporcionaram um tempo médio de 45 dias para a estabilização do composto. Os resultados demonstram a efetividade do método de compostagem como alternativa de gestão de resíduos,

adequado aos princípios de tecnologias mais limpas e sustentabilidade, uma vez que são valorados a sub-produto com aplicabilidade na agricultura.

PALAVRAS CHAVES: Resíduo celulósico, Resíduo gorduroso, Compostagem aeróbia, Compostagem anaeróbia, Sustentabilidade

SUMMARY

In the meat industries, so much the rich residues in fatnesses, as the involucre of cellulose utilized during the processing of sausages, healthy frequently very bulky and they represent a grave problem as regards destination sustainable environmently. The present work consists of the study from the basics facts generation, as well as from the technical feasibility of the reutilization of native residues pollutants of the meat industries. The residues solids utilized in this research they were: cellulose residue; greasy residue; biological slime and rumen bovine. The approach of composting utilized went the biological mixed one (aerobic and anaerobic). The experimentation involved 03 phases with 02 heaps in arranged, each triplicate in area covered, isolated of him soil for floor of reinforced concrete. The initial values from the relation carbon/nitrogen (C/N) of the heaps aimed around 30/1. The returning of the heaps done of hand with a daily frequency and to each three days went. The operational parameters evaluated (temperature, humidity and frequency of returning) presented satisfactory values, as well as to C/N end of the heaps situated itself near to 10/1. The results obtained in the experimentation indicate that the method windrow in the form of hill with return to each three days containing a formulation of 64% of residue of cellulose, 18% of greasy residue and 18 of biological slime provided a medium time of 45 days for the stabilization of the compost. the results show the effectiveness of the method of composting as according to residues management alternative, adequate to the beginnings of clean

technologies and sustainability, since healthy valorization to sub-product with practice in the agriculture.

KEY WORDS: Aerobic composting, Anaerobic composting, cellulose residue, greasy residue, sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

1 – Fluxo de ar quente no interior da leira em compostagem.....	50
2 – Curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem.....	52
3 – O efeito de filmes aquosos na produção de odores anaeróbios.....	54
4 – Efeito do teor de umidade nas regiões metabólicas.....	55
5 – O efeito da distribuição do tamanho das partículas, forma e adensamento.....	58
6 – Fórmula estrutural da molécula de celulose.....	64
7 – Fórmula estrutural da molécula xantato de celulose.....	65
8 – Fluxograma de geração dos resíduos celulósicos.....	66
9 – Fluxograma e geração do resíduo gorduroso.....	68
10 – Fluxograma de geração do lodo biológico.....	70
11 – Fluxograma da geração do rúmen bovino.....	72
12 – Fluxograma do esquema de amostragem dos resíduos sólidos orgânicos e do composto produzido para acompanhamento no laboratório.....	80
13 – Gráfico de acompanhamento das temperaturas nas leiras em compostagem na ETAPA 1.....	93
14 – Evolução dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 1.....	95
15 – Gráfico de acompanhamento do teor de umidade nas leiras em compostagem na ETAPA1.....	96

16 - Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA1.....	97
17 - Gráfico de acompanhamento dos valores de NTK nas leiras em compostagem na ETAPA1.....	99
18 - Gráfico de acompanhamento da relação C/N nas leiras em compostagem na ETAPA1.....	101
19 - Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas nas leiras em compostagem na LEIRA 1.....	103
20 - Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas nas leiras em compostagem na LEIRA 2.....	104
21 - Gráfico de acompanhamento dos macronutrientes na LEIRA 1.....	105
22 - Gráfico de acompanhamento dos macronutrientes na LEIRA 2.....	106
23 - Gráfico de acompanhamento das temperaturas nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	110
24 - Gráfico de acompanhamento dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	111
25 - Gráfico de acompanhamento dos valores de umidade nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	112
26 - Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	113
27 - Gráfico de acompanhamento dos valores de NTK nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	114
28 - Gráfico de acompanhamento dos valores de C/N nas leiras em compostagem na ETAPA 2.....	115
29 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas da LEIRA	116

30 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas da LEIRA 4.....	117
31 – Gráfico de acompanhamento dos valores de macronutrientes da LEIRA 3.....	118
32 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 4.....	119
33 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos micronutrientes na LEIRA 3.....	120
34 – Gráfico de acompanhamento dos valores de micronutrientes na LEIRA 4.....	120
35 - Gráfico de acompanhamento das temperaturas nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	123
36 - Gráfico de acompanhamento dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	124
37 - Gráfico de acompanhamento dos valores de umidade nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	125
38 - Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	126
39 - Gráfico de acompanhamento dos valores de NTK nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	127
40 - Gráfico de acompanhamento dos valores de C/N nas leiras em compostagem na ETAPA 3.....	128
41 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas da LEIRA 5.....	129
42 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas da LEIRA 6.....	129
43 – Gráfico de acompanhamento dos valores de macronutrientes da LEIRA 5.....	130
44 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 6.....	131
45 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos micronutrientes na LEIRA 6.....	132

LISTA DE TABELAS

1 – Contribuições do composto orgânico na agricultura.....	41
2 – Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.....	47
3 – Relação dos equipamentos e materiais utilizados na pesquisa.....	75
4 – Reagentes e soluções utilizados na pesquisa.....	76
5 – Relação das quantidades de resíduos empregados nas leiras, frequência e etapas...	79
6 – Caracterização física, química e físico-química do Resíduo celulósico.....	83
7 – Caracterização física, química e físico-química do resíduo gorduroso.....	85
8 – Caracterização física, química e físico-química do lodo biológico.....	87
9 – Caracterização física, química e físico-química do rúmen bovino.....	89
10 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 1.....	91
11 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 2.....	92
12 – Requisitos de tempo e temperatura fixados em vários países para garantir a qualidade sanitária do composto.....	94
13 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 3.....	108
14 – Descrição das quantidades de substrato utilizados na LEIRA 4.....	109
15 – Descrição das quantidades de substratos utilizados nas LEIRAS 5 e 6.....	122

LISTA DE QUADROS

1 – Esquema dos processos de síntese e respiração dos microorganismos.....	69
2 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 1 e 2.....	90
3 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 3 e 4.....	107
4 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 5 e 6.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS

ABES -	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
C/N -	Relação Carbono / Nitrogênio
COT -	Carbono Orgânico Total
ETE -	Estação de Tratamento de Efluentes
FEPAM -	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
IBGE -	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LB -	Lodo Biológico
MOT -	Matéria Orgânica Total
NTK -	Nitrogênio Total Kjeldahl
OCDE -	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU -	Organizações das Nações Unidas
PT -	Fósforo Total
RB -	Rúmen Bovino
RC -	Resíduo Celulósico
RG -	Resíduo Gorduroso
RSI -	Resíduo Sólido Industrial
RSO -	Resíduo Sólido Orgânico

SUMÁRIO

POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES NA GESTÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS.....	20
1 O PAPEL DA COMPOSTAGEM NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	24
1.1 – O codesenvolvimento e o desenvolvimento regional.....	33
1.2 – Métodos e tecnologias aplicadas a compostagem.....	39
1.2.1 – Processos de biodegradação.....	42
1.2.1.1 – Quanto a aeração.....	42
1.2.1.2 – Quanto a temperatura.....	43
1.2.1.3 – Quanto ao ambiente.....	43
1.2.2 – Sistemas de compostagem.....	44
1.2.2.1 – Compostagem em leiras revolvidas.....	44
1.2.2.2 – Compostagem em leiras estáticas aeradas.....	45
1.2.2.3 – Compostagem em sistemas fechados com aeração forçada.....	45
1.2.3 – Princípios da compostagem.....	48
1.2.3.1 – Influência da aeração.....	48
1.2.3.2 – Influência da temperatura.....	50
1.2.3.3 – Influência da umidade.....	52

1.2.3.4 – Influência de relação carbono / nitrogênio (C/N).....	56
1.2.3.5 – Influência das dimensões das partículas.....	57
1.2.3.6 – Influência do pH.....	59
1.2.3.7 - Influência dos microorganismos.....	59
1.2.3.7.1 – Bactérias.....	61
1.2.3.7.2 – Actinomicetos.....	62
1.2.3.7.3 – Fungos.....	62
1.2.3.7.4 – Protozoários e rotíferos.....	63
1.2.4 – Resíduos sólidos orgânicos utilizados no processo de compostagem.....	63
1.2.4.1 – Resíduo celulósico.....	64
1.2.4.2 – Resíduo gorduroso.....	66
1.2.4.3 – Lodo biológico.....	68
1.2.4.4 – Rúmen bovino.....	70
2 PROCEDIMENTOS APLICADOS À INVESTIGAÇÃO.....	73
2.1 – Preparação dos resíduos sólidos orgânicos para compostagem.....	73
2.2 – Equipamentos e materiais.....	74
2.3 – Reagentes e soluções.....	76
2.4 – Compostagem.....	78
2.5 – Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos e do processo de compostagem.	79
3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	82
3.1 – Caracterização física, química e físico-química do resíduo celulósico.....	82
3.2 – Caracterização do resíduo gorduroso.....	84
3.3 – Caracterização do lodo biológico.....	86
3.4 – Caracterização física, química e físico-química do rúmen bovino.....	88
3.5 – Caracterização do composto obtido na ETAPA 1.....	90

3.5.1 – Temperatura.....	92
3.5.2 – pH.....	94
3.5.3 – Umidade.....	95
3.5.4 – Carbono orgânico total – COT.....	97
3.5.5 – Nitrogênio total – NTK.....	98
3.5.6 – Avaliação da relação C/N.....	100
3.5.7 – Matéria orgânica total – MOT e Cinzas.....	102
3.5.8 – Macronutrientes (P, K, Ca e Mg).....	105
3.6 Caracterização do composto obtido na ETAPA 2.....	106
3.6.1 – Temperatura.....	110
3.6.2 – pH.....	111
3.6.3 – Umidade.....	111
3.6.4 – Carbono orgânico total – COT.....	112
3.6.5 – Nitrogênio total – NTK.....	113
3.6.6 – Avaliação da relação C/N.....	114
3.6.7 – Matéria orgânica total – MOT e Cinzas.....	116
3.6.8 – Macronutrientes (P, K, Ca e Mg).....	117
3.6.9 – Micronutrientes (S, Fe, Na e Zn).....	119
3.7 – Caracterização do composto obtido na ETAPA 3.....	121
3.7.1 – Temperatura.....	122
3.7.2 – pH.....	124
3.7.3 – Umidade.....	124
3.7.4 – Carbono orgânico total – COT.....	125
3.7.5 – Nitrogênio total – NTK.....	126
3.7.6 – Avaliação da relação C/N.....	127

3.7.7 – Matéria orgânica total – MOT e Cinzas.....	128
3.7.8 – Macronutrientes (P, K, Ca e Mg).....	130
3.7.9 –Micronutrientes (S, Fe, Na e Zn).....	131
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	135
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXO A - Mapa geográfico da localização da Região do Vale do Rio Pardo.....	156
ANEXO B – Apresentação das etapas de fabricação de salsichas envolvendo a “tripa” de celulose.....	157
ANEXO C – Vista do Tanque de Retenção de Graxas da ETE.....	158
ANEXO D – Foto ilustrativa do acondicionamento do resíduo gorduroso em leito de secagem.....	159
ANEXO E – Vista do lodo biológico acondicionado nos leitos de secagem.....	160
ANEXO F – Apresentação das três fases de compostagem dos resíduos estudados...	161

POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES NA GESTÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS

O tratamento e a disposição de resíduos sólidos são desafios para a humanidade no desenvolvimento de uma sociedade ecologicamente sustentável. Neste sentido, o conceito de resíduo sólido vem sofrendo pequenos ajustes através dos princípios de reduzir, reaproveitar e reciclar. Através das normas de classificação da NBR 10004, os resíduos sólidos são divididos em três CLASSES: CLASSE I – PERIGOSO – são resíduos sólidos que representam risco à saúde pública; CLASSE II – NÃO INERTE – são os resíduos que não se enquadram nas outras duas classes; CLASSE III – INERTES – são resíduos que não contém nenhum de seus constituintes solubilizados no teste de solubilização (CHAGAS e SILVA, 2003).

Segundos dados do IBGE de 2000, são gerados diariamente no Brasil, aproximadamente 125.000 t de resíduos sólidos urbanos (FILHO et al., 2003). Deste total, a quantidade estimada de matéria orgânica putrescível é em torno 66.000 t/dia (55%) (BARROS et al., 2003). Sendo que 36,1% deste material é destinado para aterros sanitários, 37,0% para aterros controlados, 21,2% para lixões, 0,9% para usinas de compostagem e os 4,8% restantes são outros destinos (GARIGLIO & MELO, 2003).

Dados extraídos do IBGE (2000), informa que no Brasil são geradas 1.500.000 t/ano de resíduo sólido industrial (RSI). Dentre os 5475 municípios brasileiros 4841 não controlam a disposição do lixo industrial. No Rio Grande do Sul são geradas 2.176.682 t/ano de RSI CLASSE II e 189.203 t/ano de CLASSE I. O setor alimentar é o maior gerador de RSI não perigoso (665.451 t/ano), cuja fração orgânica é basicamente constituída de resíduos orgânicos de processo (gordura, restos de vegetais, estrume, penas, etc...) e lodo de ETE (CHAGAS & SILVA, 2003).

Analisando o Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do RS (2003) elaborado pelo órgão oficial fiscalizador do Estado do Rio Grande do Sul – FEPAM, verificou-se a inexistência de dados sobre RSI na região do Vale do Rio Pardo. Isto pode ser atribuído a principal dificuldade encontrada pelos órgãos controladores de todo território nacional: a falta de informações sobre a destinação dos resíduos sólidos industriais.

O presente trabalho consiste no estudo da geração de dados básicos, bem como da viabilidade técnica do reaproveitamento de resíduos poluentes originários das indústrias de embutidos cárneos. Com isso, pretende-se uma solução de contorno para os problemas de saneamento ambiental, podendo contribuir significativamente como um elemento redutor dos danos causados pela disposição desordenada do lixo orgânico compostável industrial e doméstico. Neste sentido, podemos verificar que materiais orgânicos quando tratados através da compostagem sofrem estabilização, ocorrendo transformação de resíduos sólidos orgânicos em humos? A questão social a ser discutida é a viabilidade prática sustentável da compostagem. Se a compostagem é uma técnica milenar de reciclagem de materiais orgânicos biodegradáveis, é possível torná-la uma alternativa concreta para a destinação destes resíduos, apresentando viabilidade social, econômica e ambiental num futuro próximo?

Neste contexto, a reciclagem de materiais orgânicos biodegradáveis industriais através do processo da decomposição natural, mas controlada, vem de encontro ao compromisso de viabilizar alternativas que promovam a melhoria da qualidade do desenvolvimento social, científico e tecnológico na região do Vale do Rio Pardo. A busca de uma solução mais nobre para os resíduos orgânicos compostáveis constitui um problema ambiental, por não se ter muitas vezes onde destiná-los. “A matéria orgânica obtida a baixo custo é competitiva com os fertilizantes minerais e quando a eles associada, tem produzido ótimas safras. Experimentos realizados em todas as partes do mundo têm afirmado esta verdade” (KIEHL, 1985, p. 391).

Objetivando-se que a geração de dados básicos para a bioestabilização de resíduos gordurosos e celulósicos em indústria de produtos cárneos no Vale do Rio Pardo, visa contribuir para o desenvolvimento regional sustentável, realizou-se: a) uma caracterização física, química e físico-química dos materiais a serem submetidos a um método adequado de compostagem; b) identificação da melhor combinação de materiais orgânicos com a função de substratos necessários para serem misturados juntamente com os resíduos gordurosos e celulósicos; c) identificação dos principais parâmetros operacionais (temperatura, umidade e frequência de revolvimento) de controle que possam permitir a melhor eficácia na bioestabilização dos resíduos orgânicos; d) identificação de um processo com viabilidade tecnológica para a conversão dos resíduos sólidos biodegradáveis da indústria de carnes, transformando-os em fonte alternativa na utilização como insumo agrícola; e) apresentação de subsídios para integrar o desenvolvimento de um programa de reciclagem de resíduos orgânicos biodegradáveis, através da metodologia da compostagem, dentro de uma central de resíduos, com a finalidade de reutilizar e agregar valor comercial a esta matéria-prima que geralmente é considerada inútil.

Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria de produtos cárneos embutidos, no Vale do Rio Pardo (RS), com a finalidade de tratar e dispor estes dois tipos de resíduos, através da metodologia da compostagem. Inicialmente, objetivou-se a avaliação das influências das características adequadas ao processo de compostagem, visando à otimização do mesmo, bem como, estabelecer parâmetros de controle analíticos (físicos, físico-químicos, químicos e biológicos) que permitam a decomposição, estabilização e maturação biológica destes resíduos orgânicos gordurosos e celulósicos gerados no processo industrial. Ademais, discutiu-se a importância da metodologia desenvolvida como um agente de integração e conhecimento na relação homem – natureza dentro das esferas econômica, social e tecnológica.

1 O PAPEL DA COMPOSTAGEM NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável tem-se tornado uma prioridade em todas as discussões políticas mundiais. Entre a grande gama de tecnologias com o potencial de atingir o objetivo da sustentabilidade, as ciências naturais e a biotecnologia podem desempenhar um papel muito importante, especialmente nas áreas de produção de alimentos, dos recursos renováveis e energia, na prevenção de poluição e biorremediação.

Os impactos antropocêntricos sobre o meio ambiente iniciaram-se a partir do surgimento do homem no planeta, porém atualmente nossas atividades destrutivas não podem ser mais negadas, onde “o setor industrial é responsável pelo maior fluxo de materiais dentro da sociedade humana, bem como pela troca de materiais e energia com o meio ambiente” (KROTSCHECK e NARODOSLAWSKY, 2000, p. 599). O meio ambiente por muitas vezes foi o único suporte do desenvolvimento desejado e que através dos tempos vem sofrendo vários tipos de agressões e se deteriorando. Nessas condições, é necessário requerer uma reversão deste processo para que possa se tornar sustentável e capaz de proporcionar melhor qualidade de vida às pessoas que dele dependem.

O direcionamento de esforços para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável no mundo advém do aumento da poluição originada pelo incremento das

atividades humanas sobre o meio ambiente no século XX, tais como: industrialização, concentração espacial, modernização agrícola, crescimento populacional e urbanização na qual geraram uma insatisfação e um desequilíbrio entre o sistema econômico e tecnológico, o sistema social e o ambiental. As múltiplas propostas que surgiram permaneceram balizadas por duas posições opostas, a economicista e a ecologia radical. A primeira corresponde ao padrão econômico generalizado com uma concepção fortemente antropocêntrica, cujo imperativo é o progresso. A segunda possui uma concepção biocêntrica, “percebendo os humanos sob o ângulo da igualdade das espécies; seu imperativo é a ecotopia, postulando a necessidade de estabelecer limites ao crescimento econômico em geral e ao crescimento demográfico em particular, em face à necessidade de preservar a natureza” (BECKER, 1992, p. 132).

No período que antecedeu as duas grandes guerras, a preocupação ambiental tinha uma “conotação fortemente existencial e estética, com alguma ênfase na conservação dos recursos, em alguns momentos por razões utilitaristas e em outros por razões puramente morais e éticas” (SOUZA, 2000, p. 50). Na etapa pós-guerra, a preocupação ambiental começa a ser questionada em relação ao “futuro do planeta, ou sobre o futuro do modelo econômico que estava em curso” (SOUZA, 2000, p. 55). Tão quanto à degradação ambiental, como a degradação dos recursos naturais seria responsável por impor limites ao crescimento econômico, bem como estaria afetando o bem-estar das pessoas.

Dessa forma, multiplicou-se a partir da década de 70 a idéia de que se deveria impor um limite ao crescimento econômico, de onde proliferaram muitas concepções de que se deveria estabelecer metas de “crescimento zero”. Sobretudo nos países desenvolvidos, ganhou impulso a idéia de que os países em desenvolvimento não poderiam seguir a mesma trajetória de desenvolvimento dos primeiros, uma vez que se todos os países gozassem dos padrões de produção, e de consumo “primeiromundistas”, o mundo seria insustentável (SOUZA, 2000, p. 57).

A partir de então, vários eventos contribuíram para a inclusão da questão ambiental dentro de um modelo de desenvolvimento sustentável: a Conferência de Estocolmo (1972), o Clube de Roma (1972 e 1976), o Relatório Global 2000 para o Presidente (1980) e com a publicação do relatório da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, que o conceito de desenvolvimento sustentável foi largamente discutido. Esse documento, mais conhecido como o Relatório de Brundtland (Nosso Futuro Comum), definiu desenvolvimento sustentável como desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades. Uma das bases que está por trás do conceito de desenvolvimento sustentável é a dependência de novas tecnologias para incrementar a eficiência energética, a conservação dos recursos naturais e que promova a inclusão social.

O desenvolvimento sustentável deve, portanto, significar desenvolvimento social e econômico estável, equilibrado, com mecanismos e distribuição das riquezas geradas e com a capacidade de considerar a fragilidade, a interdependência e as escalas de tempo próprias e específicas dos recursos naturais. Significa, ainda, gerar riquezas utilizando os recursos naturais de modo sustentável e respeitar a capacidade de recuperação e recomposição desses recursos, criando mecanismos que permitam o acesso a esses recursos por toda a sociedade. Viabilizar este conceito implica mudança de comportamento pessoal e social, além de transformações nos processos de produção e de consumo. Para tanto, faz-se necessário o desencadeamento e um processo de discussão e comprometimento de toda a sociedade. Essas características tornam, ainda hoje, o desenvolvimento sustentável um processo a ser implantado (BEZERRA e MUNHOZ, 2000, p.17).

O que parece claro é que o conceito de desenvolvimento sustentável implica em uma visão sistêmica dos fenômenos, de tal forma que a existência do homem possa ser concebida como fruto do funcionamento e interligação de diversos subsistemas, requerendo, portanto a participação de diversos estudiosos dos mais variados tipos de ciência para que juntos se possa perpetuar não somente o meio físico, como também a própria existência da espécie humana.

A construção teórica acerca do desenvolvimento sustentável e da mundialização da consciência sobre a necessidade de administração dos recursos ambientais ainda passou por dois grandes eventos mundiais: a Conferência do Rio: Eco-92 (1992) e a Conferência de Johannesburg – África do Sul (Rio + 10) sem produzir resultados que ao menos se aproximassem da gravidade e da urgência das tarefas globais, pela falta da real efetivação de algo positivo para o ambiente global em virtude da “desconfiança gerada entre governos de que cada um fará a sua parte ou não, bem como da defesa eleitoral do *status quo* mais confortável do curto prazo” (ALTVATER, 1995, p. 16).

O modelo de desenvolvimento dominante está totalmente apoiado em fundamentos mecanicistas que ignoram o desperdício dos recursos naturais e poluição, crise energética e destruição do meio ambiente. Rico em recursos naturais, o Brasil é, também, exemplo de contrastes. A corrida pelo desenvolvimento, alimentada pelas necessidades de uma população que cresce em número e pobreza, tem justificado a exploração selvagem dos recursos naturais, gerando sérias conseqüências ao meio ambiente. Este mau gerenciamento dos recursos naturais nos conduzirá a insustentabilidade devido à aceleração do que (TIEZZI, 1988, p. 24) define como o “tempo entrópico” do universo.

A entropia é uma tendência natural de transformação de ordem em desordem. Segundo Georgescu-Roegen citado por Merico (1996 p. 43) “Entropia pode, então, ser definida, como a medida do grau de desordem da natureza”. A termodinâmica estuda os fluxos de energia na natureza. A primeira lei da termodinâmica é conhecida como a lei da conservação da matéria/energia. A quantidade de energia no universo é constante desde o início, e permanecerá Constante até o final dos tempos, isto significa que a energia não pode ser criada, nem destruída, apenas transformada de um estado para outro. Neste sentido, se

queimarmos um pedaço de carvão, a energia não irá desaparecer, mas irá dispersar-se no espaço e não será mais possível juntá-la para realizar novamente o mesmo trabalho. A energia terá mudado de estado. A energia que não é mais capaz de realizar trabalho é chamada de entropia e corresponde a segunda lei da termodinâmica.

“O crescimento da entropia significa que há decréscimo na energia disponível” (MERICCO, 1996, p. 42). Qualquer evento que ocorre na natureza, uma quantidade de energia disponível (carvão) é transformada em energia não disponível (calor e gases) e parte desta energia não disponível toma forma de poluição e degradação ambiental que passa a ameaçar gravemente os ecossistemas. Isto quer dizer que

Quanto mais rapidamente se consomem os recursos naturais e a energia disponível no mundo, tanto é menor o tempo que permanece à disposição de nossa sobrevivência. O tempo tecnológico é inversamente proporcional ao tempo entrópico; o tempo econômico é inversamente proporcional ao tempo biológico (TIEZZI, 1988, p.32).

Seguindo o raciocínio de Tiezzi:

O tempo - dinheiro, o tempo - relógio não são os tempos que importam para instaurar uma relação correta com a natureza. A ordem natural segue outros ritmos, outros tempos. O homem não pode parar o tempo, mas pode desacelerar o processo entrópico e evolutivo, em benefício da transição para um estado de produção mínima de entropia e, em última análise, em benefício do futuro da nossa espécie (1988, p. 33).

Neste sentido, o que precisamos é ter consciência e traçar objetivos para o desenvolvimento tecnológico de integração, de harmonia e de equilíbrio junto com a natureza, e não de exploração e domínio. “O homem ainda depende da existência de florestas e outras formações vegetais, e estas dependem da presença de animais e microorganismos que participam de seus processos de reprodução” (BRANCO, 1988, p. 20). Assim, ainda que o

homem “se mantenha isolado em prédios de apartamentos, os ecossistemas naturais continuam constituindo o seu meio ambiente” (BRANCO, 1988, p. 21).

O homem sempre explorou e acreditou que dominava a natureza e isso gerou uma grande lacuna nesta interação. A crença do domínio humano sobre a natureza é representada por Eugene Rabinowitch citado por Schumacher (1983, p. 90), “Os únicos animais”, diz ele (em *The Times*, de 29 de abril de 1972), cujo desaparecimento pode ameaçar a viabilidade biológica do homem na Terra são as bactérias que habitam normalmente nossos corpos. Quanto ao resto, não há provas convincentes de a humanidade não poder sobreviver ainda que fosse a única espécie animal na Terra! Se puderem ser desenvolvidas formas econômicas de sintetizar alimentos a partir de matérias-primas inorgânicas – o que é provável ocorrer mais cedo ou mais tarde – o homem talvez até seja capaz de ficar independente das plantas, das quais agora precisa como fontes de alimento...”.

Seguindo as perspectivas do Sr. Eugene Rabinowitch, a tecnologia, a cultura e a política estarão sempre dependentes da economia, e é o que acontece nos dias de hoje: produz-se produtos cárneos utilizando-se menos carne; produz-se produtos lácteos utilizando-se menos leite; produz-se produtos a base de frutas com menos fruta; paga-se para tratar efluentes e dispor o lodo gerado em aterro enquanto que, paga-se para se obter fertilizantes inorgânicos, para serem utilizados na agricultura. O que ocorre aqui é uma distorção do saber.

O século XX produziu avanços gigantescos em todas as áreas do conhecimento científico, assim como em todos os campos da técnica. Ao mesmo tempo, produziu nova cegueira para os problemas globais, fundamentais e complexos, e esta cegueira gerou inúmeros erros e ilusões, a começar por parte dos cientistas, técnicos e especialistas (MORIN, 2002, p. 45).

Para Morin (2002), o parcelamento e a compartimentação dos saberes impedem apreender “o que está tecido junto” porém, “Trata-se de entender o pensamento que separa e que reduz, no lugar do pensamento que distingue e une. Não se trata de abandonar o conhecimento das partes pelo conhecimento das totalidades, nem da análise pela síntese; é preciso conjuga-las” (MORIN, 2002, p. 46). A sustentabilidade das atividades humanas ou e qualquer outro sistema somente pode ser compreendida quando considerarmos todas as influências e interconexões que fazem parte deste sistema. Desenvolvimento sustentável é uma questão sistêmica, não só depende da economia, ou da tecnologia, bem como do social, ou da política. Depende cooperação de todas as áreas da ciência.

Com vistas na recuperação e conservação dos recursos naturais a conformação de práticas, métodos e técnicas mais sensíveis ambientalmente requer, obrigatoriamente, um repensar de todo o modelo tecnológico dominante, uma vez que é preciso pesquisar, identificar e difundir técnicas e procedimentos que sejam poupadores de recursos naturais, que causam menor degradação e contaminação do meio ambiente.

A compostagem, que é um processo amplamente difundido no mundo, se enquadraria nesta via como uma metodologia que realizaria um papel importante tanto para a recuperação de resíduos orgânicos biodegradáveis, fonte de macro e micronutrientes, como também uma atividade concreta para o estabelecimento de uma educação ambiental com mudanças de atitudes, reformulação de conceitos, consciência crítica do cidadão e responsabilidade social frente aos resíduos gerados e destinados.

A reciclagem de resíduos sólidos orgânicos compostáveis podem propiciar: a) extinção de aterros para este fim, b) eliminação de vários focos de poluição ambiental (água, solos, recursos hídricos), c) controle de proliferação de vetores biológicos de grande significação na transmissão de doenças infecciosas, d) geração de empregos diretos e indiretos. Destaca-se ainda, a possibilidade de suporte a projetos e programas que poderiam ser criados e/ou ampliados a partir da produção do fertilizante orgânico: a) criação de hortos florestais: produção de mudas para reflorestamento, aplicação em parques e jardins e recuperação de áreas degradadas, b) criação de programa de hortas comunitárias, c) criação de programas de plantas medicinais e d) produção de fertilizantes para os programas estaduais de fruticultura, horticultura, distribuição de sementes, entre outros. Esses programas possibilitam uma nova forma de relacionamento homem-natureza, o exercício da cidadania com a finalidade de resgatar a dignidade das pessoas, como desenvolver a economia de uma determinada região, aumentar a produtividade agrícola, criar oportunidades de emprego, e ainda, propiciar melhorias no estado nutricional da população carente, o que, por sua vez, resultará em menores gastos com a saúde. (NETO, J.T.P. & LELIS M. P. N., 2000, p. 281).

O desenvolvimento ecologicamente sustentável de uma sociedade tem a sua base na agricultura, que é a fonte de alimento mais importante para os seres humanos. Porém, um sistema de reciclagem eficiente de matéria orgânica e nutrientes não é importante apenas para a agricultura, é também para toda sociedade que possui um correto gerenciamento de seus resíduos. O aprimoramento da metodologia de compostagem possibilita utilizar maiores quantidades de matéria orgânica biodegradável como fonte renovável de nutrientes, além de apresentar vantagens ambientais e econômicas em relação a outras alternativas de tratamento e disposição (incineração e ao aterro).

A compostagem é uma metodologia que vem sendo aprimorada pelo homem com o objetivo de obter-se condições adequadas para que o processo de biodegradação da matéria orgânica putrescível ocorra de forma dinâmica e eficiente. Com isso, originando um produto ambientalmente correto com aplicações na agricultura denominado composto orgânico. Partindo deste princípio, apresentar-se-ia um processo alternativo para um dos maiores problemas globais atualmente, que é a disposição e o tratamento de resíduos orgânicos biodegradáveis. Neste sentido, estar-se-ia exemplificando e simplificando qual a função que a

compostagem desempenharia dentro de um programa de desenvolvimento regional ou global sustentável.

Mas a questão não é apenas a técnica. É a complexidade que está envolvida na discussão de um desenvolvimento sustentável para o nosso planeta. O que nós queremos ser? Onde queremos chegar? Qual é o seu papel no modelo atual de desenvolvimento? Sendo assim, não é possível deixar de lado as questões sociais, culturais, econômicas e políticas de todo este sistema dinâmico. A partir disso, a discussão deixa de ser técnica e passa ser uma abordagem “complexa”. O item 20 do capítulo 35 da *Agenda 21* faz referência à construção da competência no campo do meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Com o objetivo de aumentar o papel que as ciências devem desenvolver em assuntos ambientais e desenvolvimento, é necessário implantar e fortalecer esta capacitação em todos os países, especialmente os países em desenvolvimento, para permitir-lhes uma participação ativa na geração e aplicação dos resultados da pesquisa científica e no desenvolvimento relacionado a desenvolvimento sustentável. Há vários caminhos para a construção da capacidade científica e tecnológica. Alguns dos caminhos mais importantes são: educação e treinamento em ciência e tecnologia; assistência para os países em desenvolvimento para melhorar a infra-estrutura de pesquisa e desenvolvimento que possa permitir aos cientistas trabalharem de formas mais produtivas; desenvolvimento de incentivos para estimular a pesquisa e desenvolvimento; maior aplicação dos seus resultados nos setores da economia. Este processo de desenvolvimento da capacitação deveria também formar a base para a melhoria da conscientização pública e a compreensão das ciências... (ASSIS, 2000, p. 173).

Para que isso aconteça, haverá a necessidade do “apoio e do envolvimento de um público bem informado, da participação de todos os segmentos sociais no planejamento, na tomada de decisões e na implementação de projetos desenvolvimentistas” (HÖFFEL e VIANA, 1998, p. 78).

1.1 O ecodesenvolvimento e o desenvolvimento regional

O ecodesenvolvimento surge na década de 80 quando Ignacy Sachs, um dos mais renomados economistas ecológicos da atualidade, apresenta uma proposta de desenvolvimento voltada principalmente para as regiões rurais dos países do terceiro mundo. Na sua essência, é uma abordagem alternativa e crítica ao desenvolvimento sustentável de mercado (Economia Ambiental) defendido pelo relatório de Brundtland e pelos organismos oficiais multilaterais como, por exemplo, o Banco Mundial, a Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e pelos governos da maioria dos países desenvolvidos e entre outros que estão ligados aos princípios da “valorização monetária do meio ambiente e em políticas ambientais de custo-benefício baseadas no bem-estar” (SOUZA, 2000, p. 141).

Segundo Sachs, apud Höeffel e Viana (1998, p. 78), ecodesenvolvimento é um “estilo de desenvolvimento em que cada região adota soluções específicas para seus problemas particulares, levando em conta os dados ecológicos, da mesma forma que os culturais, as necessidades imediatas, como também aquelas a longo prazo”. Dentro de um planejamento integrado, as principais características desta corrente para um desenvolvimento sustentável são:

a) valorizar recursos específicos para o sustento das necessidades fundamentais da população (sem importar estilos de consumo exógeno); b) contribuir para a

realização do homem com a implantação do ecossistema social considerando satisfatório para a realização do indivíduo; c) utilização dos recursos naturais levando em consideração a solidariedade com as gerações futuras, evitando o esgotamento dos recursos renováveis; d) desenvolvimento de formas de organização da produção que promovam o aproveitamento de todos os recursos em uma ação de complementaridade; e) desenvolvimento de ecotécnicas (técnicas apropriadas à ecorregião); f) utilização do potencial energético de cada região, desenvolvendo fontes locais de energia e buscando redução de consumo de energia proveniente de fontes comerciais; g) busca de novas formas institucionais a partir de três princípios básicos: constituição de uma autoridade horizontal, participação das populações locais na realização das estratégias de ecodesenvolvimento e garantia de que os resultados do ecodesenvolvimento sejam apropriados pelas comunidades locais, evitando-se a espoliação dos segmentos intermediários situados entre aquelas e o mercado; h) desenvolver um processo educativo permanente que possibilite a estrutura participativa de planejamento e gestão. Para isso, cabe utilizar métodos de sensibilização da população e processos educativos que levem a internalização de um novo sistema de valores em relação às atitudes de dominação da natureza. (HÖEFFEL e VIANA, 1998, p. 79).

Apesar deste movimento se encontrar ainda sufocado pela corrente economicista predominante, o seu grande êxito é a incorporação junto aos programas oficiais de desenvolvimento sustentável conceitos importantes para o sucesso das ações do Estado na área ambiental, como o respeito às culturas e às condições locais e ao princípio de que as metas de desenvolvimento e de preservação ambiental sejam definidas com a participação política e técnica da comunidade, e não apenas simplesmente por análises de custo-benefício e bem-estar social que se poderia prever utilizando “fria e burocraticamente a abordagem da Economia Ambiental”. (SOUZA, 2000, p. 173).

Seguir os princípios de reaproveitamento dos resíduos sólidos, que é um dos grandes desafios da sociedade, torna-se um objetivo comum de valor social, ambiental, científico e econômico. Neste sentido, a mudança deste paradigma necessariamente passa pelas áreas da educação e o do meio ambiente, onde os sistemas de compostagem se enquadrariam como um suporte tecnológico e educacional que motivaria as pessoas a conhecerem melhor a natureza e seus processos. Vivemos em um país jovem que é totalmente influenciado por culturas externas e muito delas possuem um caráter de exploração e extração que de uma certa forma

sobrepõe a cultura local. Um exemplo deste fato é depositar resíduos orgânicos biodegradáveis na natureza de forma desordenada e em seguida comprar no mercado fertilizante para adubar os canteiros de flores e de produção de alimentos, porque as pessoas acreditam que aplicação de fertilizantes inorgânicos é a única alternativa.

A compostagem, que possui como princípio fundamental à estabilização e maturação de resíduos sólidos orgânicos biodegradáveis para a incorporação no solo agrícola, “surge atualmente como um novo modo de pensar do homem moderno” (LIMA, 1995, p. 86). Pois, trata-se de um processo econômico e natural que pode ser aliado a outros métodos naturais como a rotação de cultura e a adubação verde, aumentando as qualidades do solo e conseqüentemente, elevando a produção agrícola.

Desta forma, segundo Seqqui (1996) e Sonesson (2000) a utilização do composto orgânico se apresenta como um acréscimo na sustentabilidade, não somente para a atividade agrícola, mas para o contexto geral. Agricultura sustentável, e o uso de adubos orgânicos na agricultura podem ser considerados atividades essenciais para a sustentabilidade da sociedade da seguinte forma: a) o uso de compostos orgânicos evita a utilização de um recurso não – renovável, bem como gastos de excessos de energia para a produção e tratamento de fertilizantes químicos; b) quanto a sustentabilidade da saúde humana, o uso de compostos orgânicos evitará a disposição errônea e insensata de resíduos orgânicos; c) quanto a sustentabilidade econômica, o baixo custo do composto é favorável ao agricultor; d) quanto a sustentabilidade educacional, alude-se “à formação de um cidadão responsável com o meio ambiente e conhecedor de seus direitos e deveres” (PINHEIRO e VIEIRA, 2003). Sendo assim, pode-se oportunizar um futuro com melhor qualidade de vida, respeito pela cidadania e pelo uso racional dos recursos naturais que levem ao desenvolvimento sustentável.

A região do vale do Rio Pardo é composta de minifúndios e latifúndios, porém conforme Stülp (2001) a população do vale do Rio Pardo está abandonando o campo, permanecendo parte da terra, antes explorada, ociosa. Uma proposta interessante seria a integração de diferentes segmentos sociais, como universidade, setor público, empresa privada e comunidade para encarar a problemática do tratamento e a disposição do lixo. Transformando todo este material em um produto com qualidade monitorada e conhecimento de seus benefícios no solo, estar-se-ia desenvolvendo um nó de uma rede que está surgindo em vários locais do mundo. Uma vez que em países industrializados o aumento do mercado consumidor de produtos orgânicos, bem como o número de produtores que abandonam as práticas convencionais, num processo em que as políticas agrícolas estão sendo questionadas e repensadas na direção da sustentabilidade.

‘Entre os recursos materiais, o maior é, sem dúvida, a terra’ (SCHUMACHER, 1983, p. 88). Portanto, torna-se necessário o nascimento de uma agricultura que mantenha os atuais níveis de produção, mas que seja mais ecológica. No caso do Vale do Rio Pardo que se destaca uma grande rede de fumicultores “acostumados ou rotinizados” por processos mecanicistas, não chegaria o momento de se informar, sensibilizar e conscientizar estas pessoas do valor de uma agricultura mais orgânica e contando com o apoio das empresas externas instaladas que inicialmente modificaram o processo cultural.

Para que isso se concretize a proteção do meio ambiente e a produtividade da terra para as futuras gerações, é preciso que a interação dos agentes sociais tenha foco nos interesses sociais, políticos, econômicos de um determinado local ou região que priorize a consolidação da agricultura familiar. Esta, que já é um “fenômeno observado em todos os países, tanto os mais desenvolvidos, quanto os da Europa do Leste” (SACHS, 2001, p. 78).

De acordo com as palavras de Inagcy Sachs, “os agricultores familiares afirmam-se como protagonistas importantes da transição à economia sustentável, já que, ao mesmo tempo em que são produtores de alimentos e outros produtos agrícolas, eles desempenham a função de guardiões da paisagem e conservadores da biodiversidade” (2001, p. 78). Novamente fazendo uso da citação de Sachs:

Acredito que o Brasil tem melhores condições que qualquer outro país do mundo para construir uma nova civilização sustentável do trópico, baseada no aproveitamento de sua extraordinária biodiversidade. Longe de ser um setor de decadência, o Brasil poderá ainda vir a ser o motor do desenvolvimento, numa ótica de desenvolvimento a partir de dentro (2001, p. 79).

Neste sentido:

Construir socialmente uma região significa potencializar sua capacidade de auto-organização, transformando uma sociedade inanimada, segmentada por interesses setoriais, pouco perceptiva de sua identidade territorial e definitivamente passiva em outra, organizada, coesa, consciente de sua identidade, capaz de mobilizar-se em torno de projetos políticos comuns, ou seja, capaz de transformar-se em sujeito de seu próprio desenvolvimento (ETGES, 1998, p. 3).

Os “ensinamentos da agroecologia (...) poderão se tornar necessidades inadiáveis, com vistas a promover a recuperação e a conservação dos recursos naturais no âmbito das unidades familiares de produção” (CAPORAL E COSTABEBER, 2001, p. 20). A agroecologia visa a importância da especificidade cultural, a noção de economia moral camponesa, a idéia de desenvolvimento desde baixo e a garantia da biodiversidade. Bem como, fornece suporte teórico, segundo Garrido, citado por Caporal e Costabeber (2001, p. 34) ao “ênfoque termodinâmico da economia, cuja noção de sustentabilidade vincula à necessidade de considerar o balanço energético de sistemas produtivos”. Além disso, busca contribuições das correntes alternativas ao modelo mecanicista, através de tecnologias selecionadas, com o

objetivo de alcançar a “sustentabilidade, produtividade e equidade nos processos produtivos” (CAPORAL E COSTABEBER, 2001, p. 35).

Procurando entender a perspectiva holística da agroecologia, um importante segmento da pesquisa e da experimentação em agroecologia, ainda se apresenta bastante vinculado aos aspectos tecnológicos à produção agropecuária materialista.

A conformação de estilos de agricultura que incorporem práticas, métodos e técnicas mais sensíveis ambientalmente requer, obrigatoriamente, um repensar de todo o modelo tecnológico dominante, uma vez que é preciso pesquisar, identificar e difundir técnicas e procedimentos que sejam poupadores de recursos naturais não renováveis, que causam menos degradação e contaminação do meio ambiente e que tenham maior sensibilidade social em relação as possibilidades de incorporação das populações rurais nos processos de desenvolvimento (CAPORAL E COSTABEBER, 2001, p. 38).

Uma outra alternativa promissora para os fertilizantes orgânicos seria a utilização na adubação de povoamentos florestais implantados com espécies de rápido crescimento, especialmente eucaliptos que normalmente estão voltados para a produção de celulose, madeira para energia, serraria, postes e mourões. Segundo Faria e Rodriguez (2001) não existem referências do uso de biofósforo em povoamentos de eucaliptos no Brasil, porém este tipo fertilização já vem sendo praticado em algumas empresas florestal, como forma de aumento de produtividade das espécies, diminuição dos custos com o manejo dos resíduos produzidos e redução de custos de compra e transporte na escala comercial de fertilizantes minerais.

1.2 Métodos e tecnologias aplicadas a compostagem

Desde da Antigüidade, fazia-se uso intensivo de compostos orgânicos na produção agrícola. As técnicas empregadas eram artesanais e fundamentava-se na formação de leiras ou montes de resíduos que ocasionalmente eram revolvidos. Após o processo de fermentação, o composto resultante era incorporado ao solo, o que favorecia o crescimento dos vegetais (KIEHL, 1985). A partir de 1920 a compostagem passa a ser pesquisada cientificamente e realizada de forma racional que hoje pode ser utilizada em escala industrial (FERNANDES & SILVA, 1999).

Na natureza a compostagem de substratos orgânicos ocorre pela atividade de microorganismos no solo em prazo indeterminado, em função das condições em que ela se encontra. Sob condições controladas, após atingir um tamanho de partícula apropriado por processos de moagem ou corte, microorganismos colonizam o material iniciando o processo de biooxidação para se obter mais rapidamente a estabilização da matéria orgânica (COOPERBAND, 2002).

Sob o ponto de vista ecológico, o processo que se estabelece na compostagem é uma biocenose, que por definição é um grupamento de seres vivos reunidos pela atração não recíproca exercida entre eles pelos diversos fatores do meio, este grupamento caracteriza-se por determinada composição em espécies, pela existência de fenômenos de interdependência e ocupa um espaço chamado biótopo (DAJÓZ, 1978). O funcionamento da biocenose é baseado numa rede complexa de interações entre os seus diversos constituintes, que dependem uns dos outros, ao mesmo tempo em que podem existir entre eles predação, competição, parasitismo, etc. Tal como é, a biocenose não se reproduz por si mesma, mas

forma-se a partir de elementos que vêm de diversos lugares. Durante o processo, ocorre uma sucessão extremamente ativa, de microorganismos aeróbicos, facultativos e obrigatórios (PRIMAVESI, 1964).

O composto curado resultante da fase final do processo de compostagem, possui nutrientes minerais tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre que são assimilados em maior quantidade pelas raízes. O ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros, também presente no composto são absorvidos em quantidades menores, e denominados de micronutrientes. Quanto mais diversificados os materiais com os quais o composto é feito, maior será a variedade de nutrientes que poderá suprir (KIEHL, 1985; NAPPI & BARBERIS, 1996; RICHARD, 2002).

Os nutrientes do composto, ao contrário do que ocorre com os adubos sintéticos, são liberados lentamente, realizando a tão desejada "adubação de disponibilidade controlada" (KIEHL, 2002, p. 14). Em outras palavras, fornecer composto às plantas é permitir que elas retirem os nutrientes de que precisam de acordo com as suas necessidades ao longo de um tempo maior do que teriam para aproveitar um adubo sintético e altamente solúvel, que é arrastado pelas águas das chuvas. Outras importantes contribuições do composto orgânico na agricultura estão citados na TABELA 1.

TABELA 1 – Contribuições do composto orgânico na agricultura.

CONTRIBUIÇÃO	AÇÃO
Agregação e estruturação do solo	Funciona como um agente cimentante que o agrupamento das partículas. Os agregados podem por sua vez compor-se em arranjos distintos, dando origem à estruturação do solo que é a chave da fertilidade e da produtividade.
Melhoria da porosidade do solo	Quanto maior o índice de vazios: maior a infiltração das águas pluviais; redução dos riscos de erosão hídrica; melhor a aeração; melhor controle da temperatura do meio.
Aumenta a consistência do solo	O composto orgânico quando incorporado ao solo altera todas as formas de consistência, fazendo com que fique menos denso, mais friável e menos plástico e pegajoso.
Aumenta a capacidade de troca iônica	A matéria orgânica estabilizada tem a capacidade de absorver cátions e ânions existentes no solo. O composto quando incorporado ao solo, favorece este mecanismo.
Quelação de metais	É a denominação do mecanismo de captura de micronutrientes disponíveis no solo por ação do composto
Poder tampão	A resistência natural do solo às mudanças bruscas de reação é denominada por tampão ou capacidade de tamponamento. A incorporação do composto ao solo favorece este mecanismo natural pela quantidade de colóides e húmus presente no composto.

Fonte: KIEHL, 1985; LIMA, 1995; RICHARD, 2002.

1.2.1 Processos de biodegradação

A aplicação de técnicas para degradar matéria orgânica na compostagem pode ser dada segundo os fatores predominantes no processo de fermentação.

1.2.1.1 Quanto à aeração

Pode-se classificar os processos em: a) o processo aeróbio é o meio cuja fermentação ocorre na presença de oxigênio, a temperatura da massa em decomposição é sempre elevada, há desprendimento de componentes inodoros, gás carbônico (CO₂) e vapor d' água. A circulação de ar no interior da leira depende da estrutura e do conteúdo de umidade da massa e também da tecnologia aplicada; b) no método anaeróbio a fermentação é realizada por microorganismos que podem viver em ambiente isento de ar atmosférico, a decomposição se dá com a massa encharcada ou completamente imersa em água. A temperatura da massa em decomposição permanece baixa, há desprendimento de gases tais como o metano, gás sulfídrico, mercaptanas, álcoois e outros; c) processo misto resulta da combinação dos processos aeróbios e anaeróbios. Inicialmente, a matéria orgânica é submetida ao processo aeróbio devido à presença de oxigênio no meio. Com a redução do oxigênio presente, desenvolve-se o processo anaeróbio (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; SHARMA, et al. 1997; ANDREOLI, FERNANDES & OSMASZAK, 1999; FERNANDES & SILVA, 1999).

1.2.1.2 Quanto a temperatura

As fases pelas quais a matéria orgânica passa durante a compostagem podem ser classificadas em: a) criófila quando a temperatura digestão da matéria orgânica é próxima ou inferior à do meio ambiente. A fermentação anaeróbia é um processo criófilo, pelo fato de não haver elevação da temperatura, mantendo-se próxima do meio ambiente (LIMA, 1995; DAS, LIANGE & McCLENDON, 2003); b) processo mesofílico é relativo às temperaturas médias, variando de 40 a 55°C. Nesta fase, observa-se que a temperatura varia em função da população de microorganismos; quanto maior o número populacional, mais elevada a temperatura. Também se observam neste processo a transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e uma sensível redução do pH do meio (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; ANDREOLI, FERNANDES & OSMASZAK, 1999); c) quando a fermentação se processa em temperatura superiores a 55°C podendo alcançar valores próximos a 70°C, estas temperaturas identificam a fase termófila. Neste estágio ocorre a destruição de sementes e ovos viáveis, além de reduzir as condições de sobrevivência e formas vegetativas patogênicas (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; SHARMA, et al. 1997; FERNANDES & SILVA, 1999).

1.2.1.3 Quanto ao ambiente

Pode-se classificar o método de compostagem em dois tipos: são considerados abertos os métodos nos quais o resíduo orgânico a ser compostado é colocado em montes em pátios de compostagem a céu aberto ou coberto; processos fechados são aqueles em que a compostagem é realizada através de dispositivos especiais tais como digestores, bioestabilizadores, torres e células de fermentação. Nestes sistemas o processo de compostagem pode ter suas fases inteiramente controladas obtendo-se um excelente produto final (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; HAUG, 1996; SHARMA, et al. 1997)

1.2.2 Sistemas de compostagem

O interessante da compostagem é que um bom composto pode ser obtido tanto por tecnologia simples como por tecnologias complexas, desde que os resíduos sejam adequados e o processo biológico ocorra em boas condições. A questão realmente importante a ser colocada é que a alternativa escolhida deve ser adequada à situação, do ponto de vista técnico e sócio-econômico(FERNANDES & SILVA, 1999).

A compostagem é, por definição, o processo que visa a estabilização de materiais orgânicos por via aeróbica. Os métodos para a execução do processo de compostagem podem ser divididos em três grupos, os quais são descritos a seguir.

1.2.2.1 Compostagem em leiras revolvidas

Caracteriza-se pela compostagem em leiras a céu aberto que são removidas periodicamente por processo manual ou mecânico visando produzir a aeração das camadas interiores das leiras pela difusão e convecção do ar, mantendo sob relativo controle as condições de temperatura e umidade dos materiais processados. O efeito do revolvimento é limitado, pois alguns autores mostraram que cerca de uma hora depois, o nível de oxigênio da leira se aproxima de zero (KIEHL, 1985; TARDY & BECK, 1996; SHARMA, et al, 1997; FERNANDES & SILVA, 1999).

1.2.2.2 Compostagem em leiras estáticas aeradas

A demanda de oxigênio dos microorganismos é atendida por aeração forçada acionada por controle do tempo de aeração, por termostatos. A aeração das leiras pode também ser controlada por sensores. O método em si consiste em formar leiras de materiais orgânicos sobre um leito de compostagem no qual estão assentados tubos perfurados. Com o trabalho de um compressor injeta-se ar na base das pilhas, forçando-se a aeração dos materiais a compostar. Com isto supre-se a demanda de oxigênio dos microorganismos, principalmente na fase de oxidação, quando as temperaturas se elevam significativamente, podendo a partir de certos níveis causar a paralisação do trabalho dos próprios microorganismos que as geram (KIEHL, 1985; TARDY & BECK, 1996; SHARMA, et al, 1997; FERNANDES & SILVA, 1999).

1.2.2.3 Compostagem em sistemas fechados com aeração forçada

Neste método os resíduos a compostar ficam em recintos fechados, em containers, tubulões ou silos, sendo mantida a aeração. A diferença do método anterior está no isolamento ambiental dos materiais, além disso, oferece a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo de compostagem, portanto, o ciclo da fase termófila é reduzido, o que em certos casos conferiu, a compostagem em reator, a denominação de “compostagem acelerada” (KIEHL, 1985; TARDY & BECK, 1996; SHARMA, et al, 1997; FERNANDES & SILVA, 1999).

Devido a homogeneidade do meio, inclusive com relação à temperatura, a compostagem em reatores também é tida como mais eficiente no controle dos patógenos.

Outra característica desta alternativa é a maior facilidade para controlar odores, pois o sistema é fechado e a aeração controlada. na TABELA 2 estão representadas as principais vantagens e desvantagens dos três sistemas.

TABELA 2 – Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; • Simplicidade de operação; • Uso de equipamento simples; • Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; • Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; • Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; • Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; • O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Melhor controle de odores; • Fase de bioestabilização mais rápida que o sistema anterior; • Possibilidade de controle da temperatura e da aeração; • Melhor uso da área disponível que no sistema anterior; 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; • Operação também influenciada pelo clima;
Compostagem em sistemas fechados	<ul style="list-style-type: none"> • Menor demanda de área; • Melhor controle do processo de compostagem; • Independência de agentes climáticos; • Facilidade de controlar odores; • Potencial para recuperação de energia térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior investimento inicial; • Dependência de sistemas mecânicos especializados; • Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; • Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia.

Fonte: FERNADES & SILVA, 1999.

1.2.3 Princípios da compostagem

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em húmus estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. Os principais fatores que governam a compostagem serão comentados a seguir.

1.2.3.1 Influência da aeração

A decomposição da matéria orgânica pode ser realizada em ambiente aeróbio ou anaeróbio. A compostagem deve ocorrer em ambiente aeróbio, pois com a abundância de oxigênio na decomposição, além de mais rápida é melhor conduzida, não produz mau cheiro nem proliferação de moscas, o que constitui um fator estético para o local e recomendável para a saúde pública (KIEHL, 1985; BOOTHE, 1996; ANDREOLI, FERNANDES & OSMASZAK, 1999).

As leiras revolvidas são aeradas durante o revolvimento manual ou mecânico. Outro fornecimento de oxigênio à matéria em decomposição também pode ser realizado por insuflação de ar (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002). O consumo de oxigênio depende, principalmente, da temperatura, da umidade, da granulometria e da composição química dos resíduos utilizados bem como da intensidade dos revolvimentos. Os revolvimentos deveriam ser realizados de acordo com o teor de oxigênio no interior da leira, no entanto, dada a dificuldade de se determinar a concentração de oxigênio no centro da leira, o momento adequado para se fazer o revolvimento é decidido em função de outros

fatores, como a temperatura, a umidade e o intervalo de dias (KIEHL, 1985; STENTIFORD, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; KOMILIS & HAM, 2003).

A aeração da mistura na fase inicial da compostagem é fundamental devido a grande necessidade de oxigênio para atender a intensa atividade microbiana, se não for satisfeito, todo o processo de compostagem aeróbia poderá se comprometer podendo até paralisar-se ou extinguir-se temporariamente. Sendo assim, ocorrerá a substituição por microorganismos anaeróbios que decompõem com mais lentidão produzindo odores e atraindo moscas (KIEHL, 1985; BOOTHE, 1996; RICHARD, 2002). Na fase de maturação a demanda por oxigênio continuará existindo, porém decrescendo para taxas menores (STENTIFORD, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999).

Na FIGURA 1 é mostrado o fluxo de ar no interior da leira, resultado do fenômeno de convecção. As forças de convecção aumentam a pressão do ar no interior da leira à medida que a temperatura aumenta, deslocando-se como indicam as setas. A saída do ar quente faz com que o ar atmosférico, rico em oxigênio ocupe o lugar deixado pelo que saiu. A velocidade desta troca é regulada pela porosidade do material, tamanho da pilha e conteúdo de umidade (KIEHL, 1985; STENTIFORD, 1996; RICHARD, 2002; DAS, LIANGE & McCLENDON, 2003).

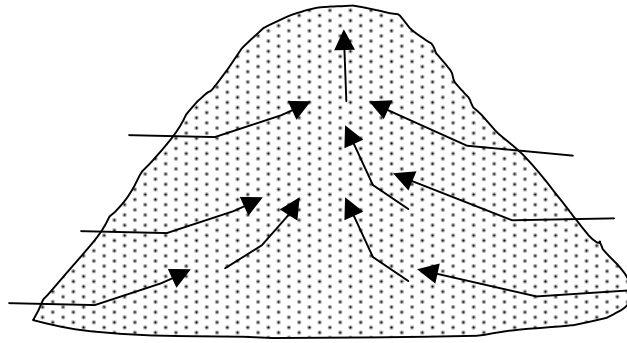


FIGURA 01 – Fluxo de ar quente no interior da leira em compostagem.

Fonte: Adaptado de KIEHL, 1985 e RICHARD, 2002.

1.2.3.2 Influência da temperatura

Apesar das divergências verificadas na literatura específica sobre a faixa de temperatura ótima para se processar a compostagem, pode-se estabelecer que esta é realizada entre 40°C a 70°C. Temperaturas entre 55°C a 65°C favorecem o desenvolvimento de uma população microbiota diversificada, a eliminação de patogênicos e de sementes de ervas daninhas e ovos de parasita, larvas de insetos (KIEHL, 1985; GHOSH, 2000; RICHARD, 2002).

Valores de temperatura acima de 70°C devem ser evitadas, pois causam desprendimento excessivo de amônia e restringem o número de microorganismos que conseguem viver nestas condições. Como a compostagem é um complexo de reações que requer a presença de enzimas, ela é limitada pela temperatura. As enzimas são muito suscetíveis à inativação térmica, pois quanto mais alta a temperatura, mais rapidamente as

enzimas se deterioram e perdem suas propriedades catalíticas (LIMA, 1995; DAS, LIANGE & McCLENDON, 2003).

A temperatura é fator indicativo do equilíbrio biológico que está condicionada pela aeração, umidade, tamanho da leira e partículas, disponibilidade de nutrientes, relação C/N, portanto o seu controle serve de parâmetro para indicar a necessidade de revolvimento da massa (baixa temperatura indica alta umidade e pouca aeração) (FERNANDES & SILVA, 1999). Temperaturas inferiores a 40°C tornam o processo mais lento e não eliminam as sementes e ovos viáveis presentes na massa. Tão logo a fonte de carbono mais disponível tenha sido exaurida, a temperatura da leira cai para valores abaixo de 30°C, indicando o fim da primeira da primeira fase do processo (STENTIFORD, 1996; SHARMA, et al., 1997).

A leira apresenta diferentes temperaturas entre as regiões situadas na parte mais interna e externa. A temperatura ambiente não tem grande influência sobre a temperatura da leira, mesmo em dias frios de inverno a massa permanece aquecida, desprendendo calor e vapor d'água (KIEHL, 1985; RICHARD, 2002). Na FIGURA 2 está representada uma curva padrão de temperatura. O gráfico mostra que o composto partindo da temperatura ambiente, passa rapidamente pela fase de temperatura mesófila, subindo para a termófila onde se mantém por espaço de tempo formando um platô. Prosseguindo a decomposição, um novo platô é formado, agora na fase mesófila.

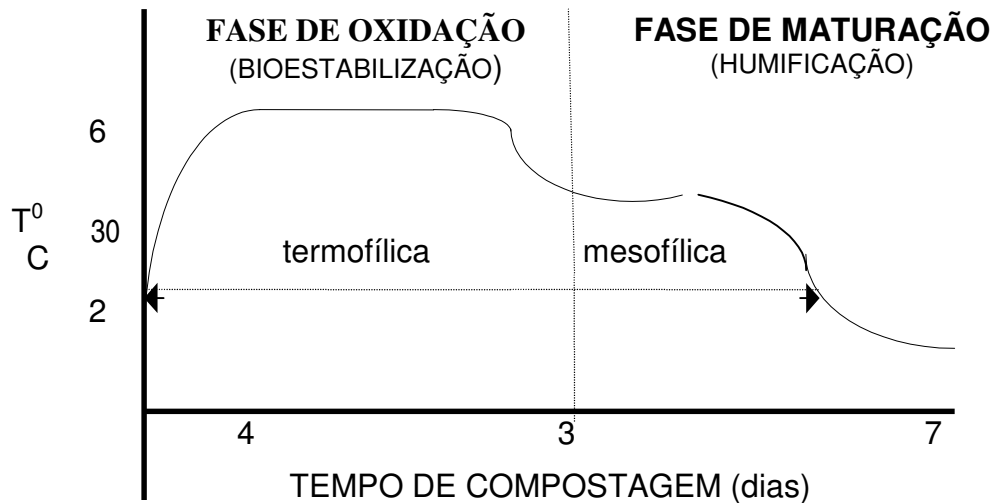


FIGURA 2 – Curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem.

Fonte: Adaptado de KIEHL, 1985 e RICHARD, 2002.

1.2.3.3 Influência da umidade

O teor de umidade representa significativa importância, pois está diretamente relacionada à atividade microbiológica e, portanto influencia na taxa de decomposição da matéria orgânica. No entanto, devido a necessidade de água e oxigênio ao mesmo tempo, torna-se necessário encontrar limites mínimos e máximos que forneçam condições para os microorganismos se desenvolvam ativamente.

De um modo geral, o teor ótimo de umidade situa-se entre 40 % e 60 %. O ajuste da umidade pode ser feito pela criteriosa mistura de componentes ou pela adição de água. O teor de umidade depende da eficácia da aeração das características físicas dos resíduos (estrutura e porosidade) (KIEHL, 1985; STENTINFORD, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002). O processo de compostagem sob taxas de teor de umidade muito baixas (< 20%), reduzem a atividade microbiana e como conseqüência a queda de temperatura,

tornando deficitária a eliminação de patógenos, bem como a interpretação errônea de que o material se encontra devidamente estabilizado (SHARMA, et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002; McCLENDON, 2003).

No contexto contrário, altos teores de umidade presente no composto dificultam a difusão do oxigênio, devido que a difusão deste gás ser muito baixa na água em relação ao ar, isto é, o excesso de umidade reduz a penetração deste gás. Esta redução ocorre de duas maneiras: composto molhado é hidrofílico, então a água junta-se fortemente com a superfície das partículas, assim o conteúdo aquoso aumenta a camada do filme que está envolvendo a partícula; efeito direto da capilaridade, a água alaga os pequenos poros primeiro, e então cria zonas alagadas entre as partículas, tornando a difusão lenta e resultando em frações anaeróbias (KIHTEL, 1985; RICHARD, 2002; DAS, LIANGE & McCLENDON).

Na parte superior da FIGURA 3, é ilustrada a partícula com uma espessa camada de água, enquanto que na parte inferior da mesma, a espessura do filme de água é reduzido. Note que ambos os casos a concentração do substrato é alta para a superfície da partícula. A concentração de oxigênio é alta para o ar / interface água. A concentração de oxigênio diminui quando penetra para dentro do filme aquoso e o substrato é oxidado. No interior da partícula, onde a concentração do oxigênio se aproxima de zero, a atividade metabólica anaeróbia (conforme indicado pelos pontos escuros) produz odores. Alguns são oxidados e outros são carregados para fora pela corrente de ar.

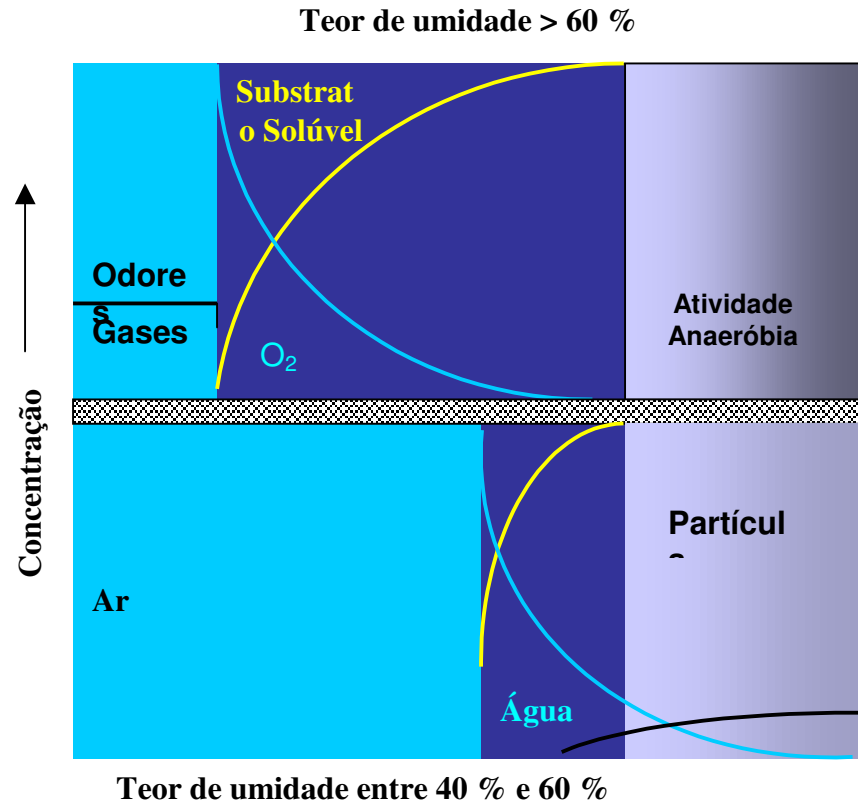


FIGURA 3 – O efeito de filmes aquosos na produção de odores anaeróbios.

Fonte: RICHARD, 2002

Com a camada espessa de umidade envolta da partícula, o oxigênio é esgotado antes que ele possa ultrapassar o filme aquoso. O nível de gases com odores desagradáveis que aumenta pela zona anaeróbica que se estabelece, é tão elevado que ultrapassa a camada aquosa e são detectados no sistema de fluxo de ar. Quando o filme aquoso é mais fino com uma concentração de umidade entre 40 a 60%, o oxigênio penetra mais longe, a concentração de odor no líquido é menor, oxidando-se e transportado para fora pelo fluxo de ar.

Na ilustração da FIGURA 4, são mostrados os efeitos da umidade em localizações de fermentação aeróbia e zonas de fermentações anaeróbias dentro de uma partícula e dentro do filme aquoso que está envolvendo esta partícula. As regiões de metabolismo aeróbio são

representadas pelos pontos amarelos, a zona de fermentação é indicada por pontos rosa e a região de metabolismo anaeróbio está representada por pontos roxos. Apesar dos muitos odores que são gerados pelo metabolismo anaeróbio, este tipo de fermentação pode gerar álcoois e outros tipos de odores que algumas pessoas podem considerar desagradáveis. Se este tipo de odor permanecer no sistema de compostagem, isto está indicando que em algumas partes da pilha há zonas anóxicas.

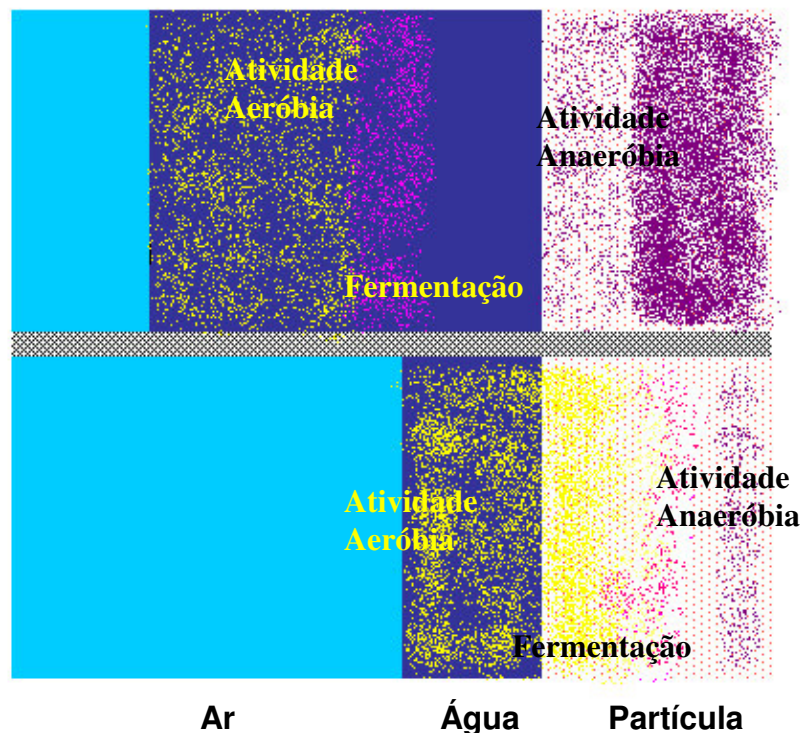


FIGURA 4 – Efeito do teor de umidade nas regiões metabólicas.

Fonte: RICHARD, 2002.

Assim, na compostagem, a faixa de umidade deve ser mantida entre 40% a 60% em peso seco da matéria orgânica decomponível. Teores de umidade abaixo de 40% retardam o processo por inibir a atividade biológica. Umidade acima de 60% torna o meio anaeróbio, por

baixar o potencial de oxidação - redução, reduzindo a eficiência do processo, pelo estímulo à concorrência microbológica.

Outros fatores devem ser levados em conta, quanto maior a quantidade de água presente, maior a produção de chorume e de líquidos. O composto em excesso de água perde seu valor comercial por encarecer o transporte, além de exigir secagem. Além disso, quando armazenado, ele produz gases de odor desagradável e atrai moscas e mosquitos. Após o processo de maturação, é interessante que a umidade caia até próximo de 30%, ou menos, que é a umidade desejada para o composto pronto (RICHARD, 2002; DAS, LIANGE & McCLENDON, 2003).

1.2.3.4 Influência da relação carbono/nitrogênio (C/N)

O fator ambiental mais crítico para a compostagem é a relação C/N, já que o crescimento e a diversificação da colônia microbológica na massa de compostagem relaciona-se diretamente com a concentração destes nutrientes, os quais fornecem material para síntese protoplasmática e suprem a energia necessária para o crescimento celular, além de outras funções (SHARMA, et al., 1997; BARRINGTON, 2002; RICHARD, 2002).

No início da compostagem, a relação C/N deve ser na ordem de 30:1 e no final do processo, ou seja, na completa maturação de 10:1. Os microorganismos absorvem os elementos carbono e nitrogênio em proporção de trinta partes de carbono para cada parte de nitrogênio. Sendo que, dez partes incorporadas ao protoplasma celular e vinte partes eliminadas como gás carbônico. O nitrogênio é assimilado na estrutura na proporção de dez partes de carbono para uma de nitrogênio. A formação do húmus, resultante da ação dos

microorganismos, pode ser explicada por possuir a mesma relação C/N igual a 10/1 (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; STENTIFORD, 1996; SHARMA, et al., 1997; ANDREOLI, FERNANDES & OSMASZAK, 1999; RICHARD, 2002).

Se a C/N é demasiadamente elevada, os microorganismos não terão o material plástico necessário para construir a própria matéria celular, além do que, necessitarão realizar inúmeros ciclos vitais para eliminar o excesso de carbono na forma de gás carbônico e de protoplasma albuminóide enquanto que, o nitrogênio vai sendo reciclado através da utilização do nitrogênio disponível dos microorganismos que morrem. O excesso de carbono pode propiciar condições ácidas na massa de compostagem, já que o gás carbônico liberado é muito solúvel. Por outro lado, a compostagem de resíduos com excesso de nitrogênio, elimina o excesso pela volatilização da amônia, como uma tendência natural de restabelecer o balanço entre os dois elementos (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; HORWATH, 1996; BARRINGTON, 2002; RICHARD, 2002).

1.2.3.5 Influência das dimensões das partículas

A forma, tamanho e estrutura das partículas afetam as condições do sistema. Partículas muito grandes necessitam um maior tempo de decomposição, bem como partículas muito pequenas apresentam um arranjo comprimido que acabam reduzindo a passagem do oxigênio pelos espaços da leira, principalmente quando combinadas com alto teor de umidade (KEENER & DAS, 1996; DAS, LIANGE & McCLENDON, 2003). Estas características podem favorecer as condições anaeróbias. Vários destes efeitos são ilustrados na FIGURA 5.

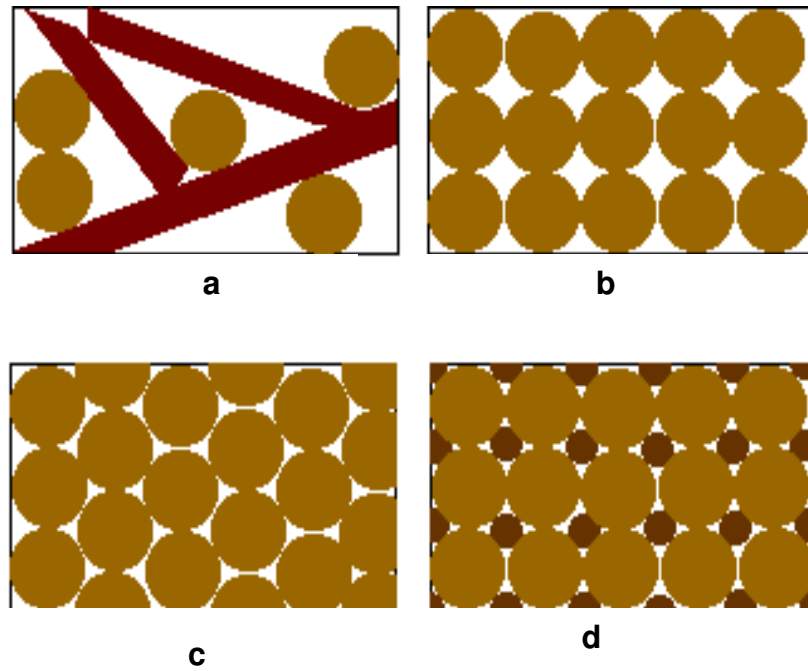


FIGURA 5 – O efeito da distribuição do tamanho das partículas, forma e adensamento. a) Composto bem solto, b) Composto livre com um arranjo e tamanho uniforme das partículas, c) Composto adensado com tamanho da partícula uniforme e d) Composto adensado com tamanho das partículas misturado.

Fonte: RICHARD, 2002.

A decomposição ocorre sobre ou próximo a superfície das partículas. Pequenas partículas possuem maior área de contato por unidade de massa ou volume do que as partículas grandes, então se aeração for adequada, a degradação das pequenas partículas será mais rápida (KEENER & DAS, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999).

1.2.3.6 Influência do pH

O processo de decomposição por microrganismos ocorre sob condições neutras para ácidas, com uma variação de pH entre 5,5 a 8,5. Durante a fase inicial de decomposição ácidos orgânicos são formados. A condição ácida favorece o crescimento de fungos e a quebra das cadeias de celulose. Com o desenvolvimento do processo de decomposição, os ácidos orgânicos são neutralizados e a maturação dos compostos é acabada em torno de um valor de pH de 6 a 8 (KIEHL, 1985; ANDREOLI, FERNANDES & OSMASZAK, 1999; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002).

Se as condições anaeróbias desenvolverem-se durante o processo, poderá haver uma acumulação de ácidos orgânicos e parar com o processo de decomposição química dos complexos orgânicos. Favorecendo a aeração desta mistura de ácidos, ocorrerá a redução esta acidez. Outra alternativa para a regulação do pH do meio seria a adição de algum sal neutralizador, como exemplo, carbonato de cálcio, porém, poderá favorecer a perda de nitrogênio amoniacal na forma de gás amônia (NH_3) para atmosfera (RICHARD, 2002). Além da produção de odores desagradáveis, a perda do nitrogênio é muito prejudicial, pois é o elemento fundamental para os microrganismos e mais tarde para uso das plantas.

1.2.3.7 Influência dos microorganismos

Quando as condições externas do sistema são preestabelecidas e mantidas, a compostagem de resíduos orgânicos se processa naturalmente do ponto de vista biológico, pois os resíduos contêm uma população considerável de microrganismos que garantem a continuidade do processo. Muitos desses microrganismos presentes nos resíduos são mantidos

na forma de esporos e desenvolvem-se quando encontram uma atmosfera propícia. A compostagem por métodos controlados começa no estágio mesofílico, onde a temperatura do meio tende a elevar-se naturalmente. Atingindo 40°C a flora mesofílica é gradualmente substituída por uma termofílica. A 60°C os fungos termofílicos morrem, restando bactérias e actinomicetos (KIEHL, 1985; LIMA, 1995; AOSHIMA, 2001; RICHARD, 2002).

Quando a disponibilidade de matéria orgânica decomponível diminui, há uma redução da atividade biológica e, como consequência, a temperatura da massa é reduzida rapidamente, permitindo uma recolonização por novos fungos termófilos. Estas reações ocorrem em poucos dias, porém a cura completa do composto, em que se processa a condensação e polimerização para formar húmus final, demora vários dias, entre 60 e 120 dias para os processos aeróbios e acima de 180 dias para os anaeróbios (KIEHL, 1985; ATKINSON, JONES & GAUTHER, 1997; RICHARD, 2002).

Segundo Nunn (1986) e Ratledge (1992), a remoção de resíduos gordurosos por microorganismos tem sido documentado em vários trabalhos. O ataque inicial dos microorganismos sobre os triglicerídeos é extracelular e envolve a hidrólise de ésteres pelas lipases removendo o ácido graxo das moléculas de glicerol dos triglicerídeos. Após entrar na célula, cada ácido graxo é catabolizado ou incorporado diretamente no complexo lipídico microbiano. O principal caminho para a oxidação dos ácidos graxos, envolve a repetição da seqüência de reações que resulta na remoção de dois átomos de carbono como acetil-CoA (FORSTER & WAKELIN, 1997).

1.2.3.7.1 Bactérias

São microrganismos característicos que vivem no composto. A sua contagem pode chegar a um bilhão (1×10^9) de unidades por um grama de composto orgânico. São responsáveis pela maior parte do processo de decomposição e da geração de calor no composto. Como necessitam de uma estrutura nutricional diversificada, produzem uma grande escala de enzimas para quebrar por processo químico diversos materiais orgânicos complexos. As bactérias são estruturas de uma única célula com formatos de bastão, cilíndrico e espiral. Muitas são móveis, destacando algumas com capacidade de se locomover a baixa quantidade de energia (ATKINSON, JONES & GAUTHER, 1997; AOSHIMA, 2001; IGARASHI et al., 2003).

Na fase inicial do processo de compostagem (0°C a 40°C), predomina as bactérias mesófilas. Muitas destas formas são encontradas na superfície terrestre. Acima dos 40°C , a predominância é de bactérias termofílicas do gênero *Bacillus* até uma temperatura de 50°C – 55°C , mas ocorre o decréscimo a partir dos 60°C . Quando as condições são desfavoráveis, os *Bacillus* sobrevivem na forma de esporos de espessas paredes e de alta resistência ao calor, frio, seca e falta de alimentos. Quando as condições tornam-se favoráveis elas tornam-se ativas novamente. Bactérias do gênero *Thermus* têm sido isoladas em compostos com altas temperaturas (BEFFA, 1996; AOSHIMA, 2001; RICHARD, 2002; IGARASHI et al., 2003).

1.2.3.7.2 Actinomicetos

As características de odores do solo são causados pelos actinomicetos, organismos que se assemelham com determinados fungos que atualmente são denominados bactérias

filamentosas. Como outras bactérias, não possuem núcleo, porém seu crescimento multicelular filamentoso é como um fungo (BEFFA, 1996; IGARASHI et al., 2003). No composto sua principal função é a degradação de compostos orgânicos complexos, como por exemplo, a celulose, lignina, gorduras e proteínas.

Suas enzimas são capazes de quebrar quimicamente estruturas de pedaços de madeira, papel de jornal e casca de árvores. Algumas espécies aparecem durante a fase termófila, e outras se tornam importantes na fase de maturação, onde ainda resta compostos complexos (BEFFA, 1996; RICHARD, 2002). Os actinomicetos de forma longa e filamentosa parecendo longas teias de aranha que estendem pelo composto, vistos no início e no final do processo no interior e na parte externa das leiras. Algumas colônias aparecem de forma circular que gradualmente expande o seu diâmetro (ATKINSON, JONES & GAUTHER, 1997; RICHARD, 2002).

1.2.3.7.3 Fungos

Mofos e leveduras coletivamente são responsáveis pela decomposição de muitos polímeros complexos dos vegetais e compostos do solo. No composto, os fungos são importantes porque eles decompõem materiais muito resistentes (secos e com baixo teor de nitrogênio) que impossibilita que as bactérias continuem o processo de decomposição, como por exemplo, o processo de degradar a celulose, bastante difícil para as bactérias (BEFFA, 1996; AOSHIMA, 2001; RICHARD, 2002).

O processo de degradação da celulose pelos fungos ocorre por intermédio de grupos de enzimas (celulases) capazes de degradar materiais celulósicos. Há três grupos de enzimas

envolvidos em processos de degradação da celulose. O rompimento das ligações dos hidrogênios entre as fibras da celulose nativa são catalisadas pela enzima tipo C_1 exo-1,4- β -glucanase. Posteriormente, a celulose reativa é decomposta por enzimas hidrolíticas do tipo C_x , tais como as endo- β -1,4 glucanase, na qual quebra os polímeros de celulose em dissacarídeos de celobiose. As cellobioses são convertidas em glicose pela enzima β -glucosidase (KRIKSTAPONIS, 2001).

1.2.3.7.4 Protozoários e rotíferos

São animais microscópicos unicelulares e multicelulares que se encontra nas gotas de água nos compostos com uma importância secundária no processo de decomposição. Obtém o seu alimento da matéria orgânica da mesma maneira que as bactérias. Como atividade secundária consomem bactérias e fungos (BEFFA, 1996; RICHARD, 2002).

1.2.4 Resíduos sólidos orgânicos utilizados no processo de compostagem

Dentre os resíduos em questão, os celulósicos e os gordurosos são constituídos principalmente de hidrocarbonetos de “difícil degradação” microbiológica que requerem suplementação de nutrientes como nitrogênio e fósforo para melhorar a biodegradabilidade (KIEHL, 1985; MATSUMURA & NAKANO, 2001; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002). Enquanto que, o lodo biológico e o rúmen bovino, apresentando a concentração dos nutrientes necessários, desempenhariam importante papel de suplementadores em um processo de compostagem.

1.2.4.1 Resíduo celulósico

A celulose que está representada na FIGURA 6, que é um polímero que compreende o monômero $(C_6H_{10}O_5)_x$, onde o x é um número muito elevado resultante da condensação da glicose, encontrado nas plantas, sem apresentar ramificações e insolúvel em água. As propriedades físicas deste material nativo resultam do peso molecular muito elevado (cerca de 3.000 unidades de glicose) com boa resistência de suas fibras. O aspecto estrutural mais importante da celulose é a ligação 1, 4- β das unidades de glicose (ALLINGER, 1978).

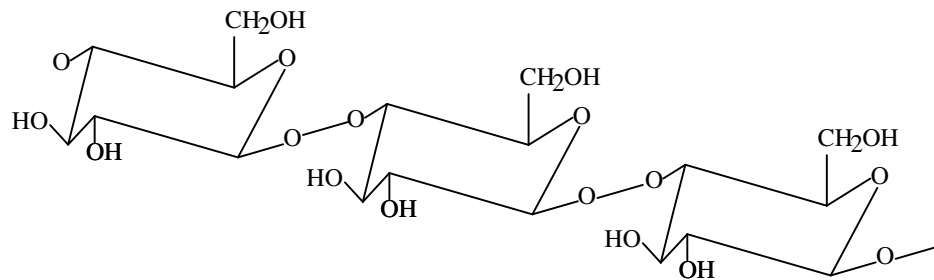


FIGURA 6 - Fórmula estrutural da molécula de celulose.

Fonte: ALLINGER, 1978.

O éster de celulose, “celulóide” foi primeiro plástico derivado da celulose natural com importância comercial, desenvolvido pelo homem (GEISSMAN, 1974). A partir disso, a importância econômica das celulosas se tornaram muito significativas, fazendo com que novas tecnologias fossem desenvolvidas para o seu tratamento, até a obtenção de uma dispersão coloidal viscosa chamada comercialmente de viscose. Tecnicamente, a viscose é um éster “azufrado” (sulfurado) denominado xantato de celulose. Os valores obtidos de enxofre e sódio nas análises realizadas são provenientes da composição química da molécula representada na FIGURA 7 (GEISSMAN, 1974).

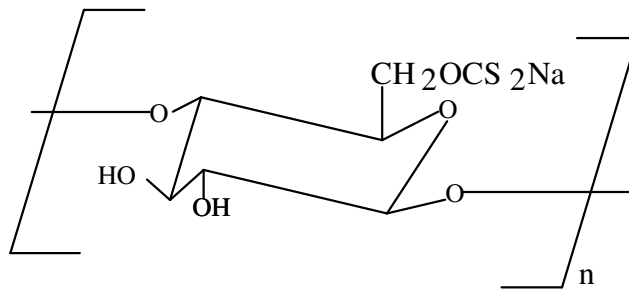


FIGURA 7 – Fórmula estrutural da molécula xantato de celulose.

Fonte: ALLINGER, 1978.

Os resíduos celulósicos são invólucros compostos por viscose utilizados na elaboração de salsichas. São freqüentemente de baixa densidade (muito volumosos) e representam um problema sério quanto à destinação ecologicamente sustentável: necessitam de aterro controlado; atraem vetores de doenças e possuem materiais protéicos e gordurosos aderidos que conferem odores desagradáveis e não são recicláveis.

O invólucro, conhecido comumente como “tripa”, é a componente chave na embalagem, na formatação do tamanho e espessura da salsicha durante o seu processamento, sendo posteriormente removido e descartado (vide ANEXO B). O volume de resíduo celulósico gerado nesta indústria de produtos cárneos chega a 2500 Kg ao mês. Na FIGURA 8 está representado fluxograma da geração deste resíduo.

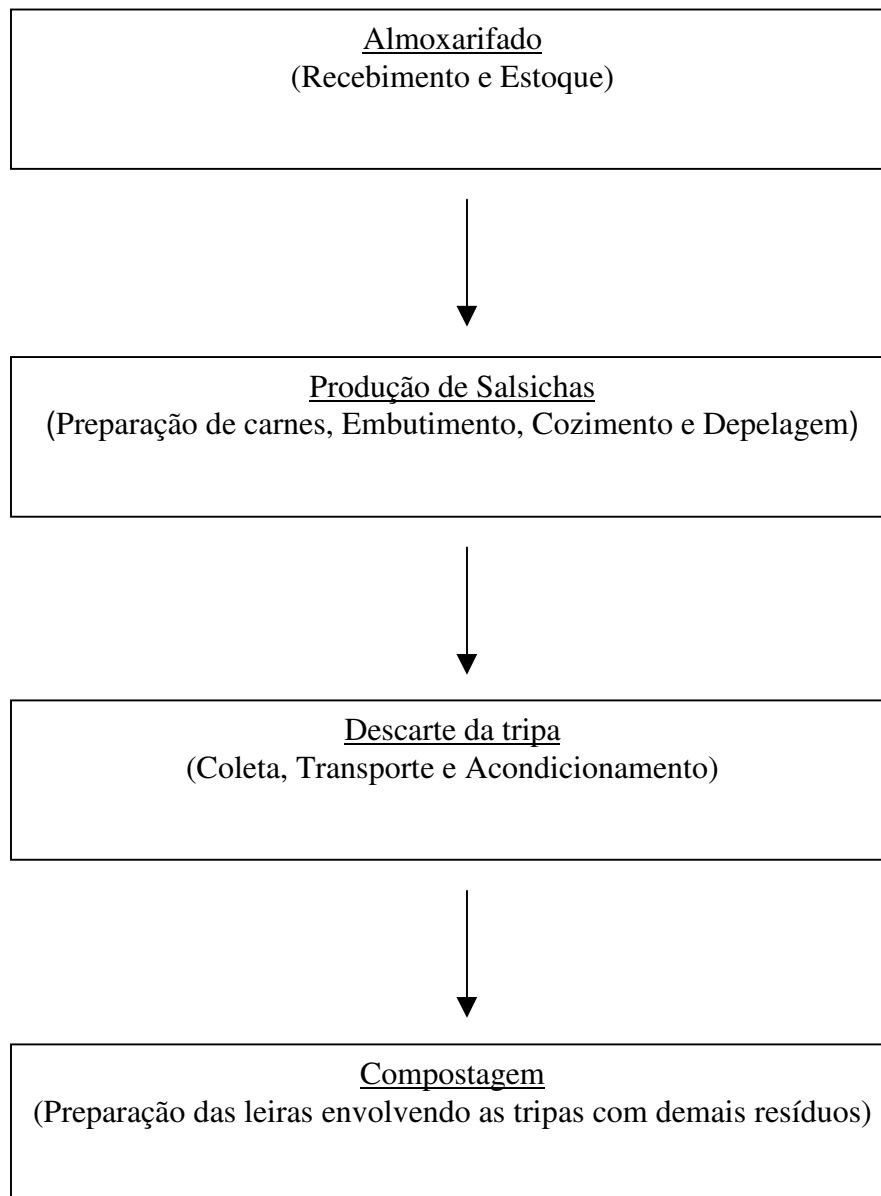


FIGURA 8 – Fluxograma de geração dos resíduos celulósicos.

1.2.4.2 Resíduo gorduroso

Óleos e gorduras são basicamente triglicerídeos constituídos por cadeias lineares de ácidos graxos, sendo que a composição destes ácidos graxos em óleos e gorduras comestíveis varia consideravelmente (FORSTER e WAKELIN, 1997). A suas diferenças estão no

comprimento das cadeias de ligações, nas saturações ou insaturações e no número de átomos de carbono em cada cadeia.

Nas indústrias de produtos cárneos embutidos os resíduos ricos em gorduras, originados pelo processamento de carnes e pela etapa de limpeza das instalações industriais, são recuperados na caixa de retenção de gorduras do tratamento primário da estação de tratamento de efluentes (vide ANEXO C). Em uma estação de tratamento de efluentes a fração lipídica compromete o processo de lodo ativado, pois “diminui a eficiência do tratamento, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos filamentosos” (MATSUMURA e NAKANO, 2001, p. 532).

Os resíduos gordurosos utilizados encontram-se em adiantado estado de oxidação, aumentando os seus valores de peróxidos e ácidos graxos livres. Portanto, dentro destas características físico-químicas, este tipo de resíduo gera restrições nutricionais para a produção de ração animal, reflete um elevado custo para a sua recuperação química e considera-se também o impacto ambiental quando da disposição no solo para fins agrícolas. Segundo Matsumura & Nakano (2001), tratamentos alternativos deste tipo resíduo encontram duas principais dificuldades: a incineração pode gerar dioxinas que comprometeriam a qualidade do ar; e a destinação para aterros sanitários apresenta custo elevado. Na FIGURA 9, representa-se o esquema de geração dos resíduos gordurosos na unidade de processamento cárneo.

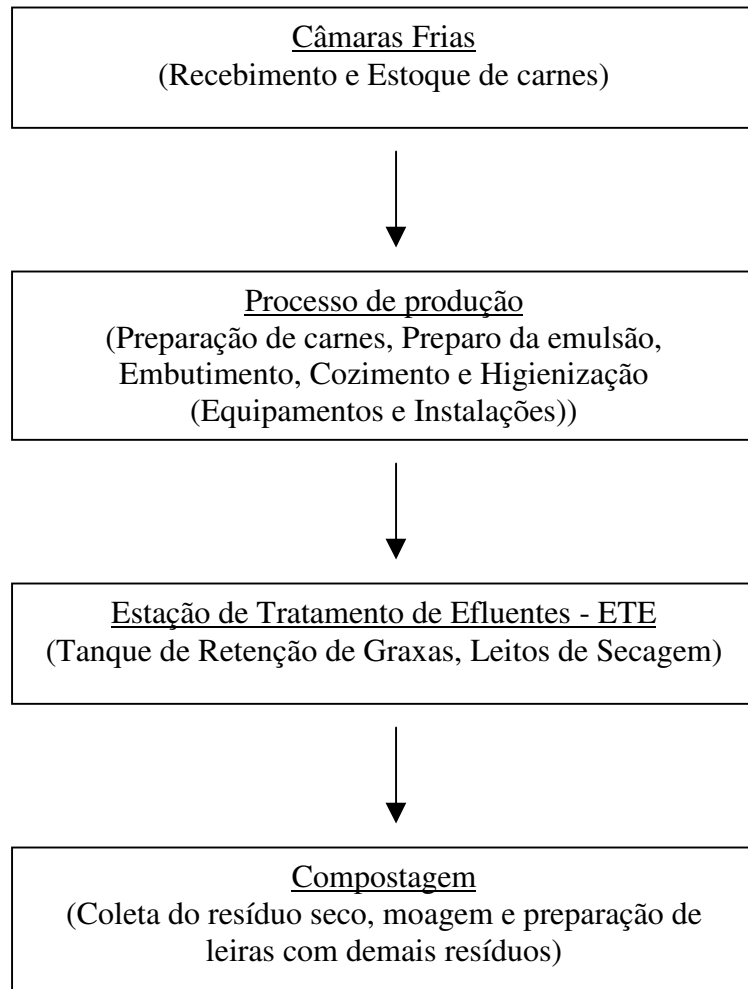


FIGURA 9 – Fluxograma e geração do resíduo gorduroso

1.2.4.3 Lodo biológico

Lodo biológico é produzido por intermédio da oxidação de matéria orgânica num efluente, com a participação de bactérias ou outros microorganismos na presença de oxigênio e nutrientes. A estabilização deste efluente é através de processos metabólicos. O metabolismo envolve a ingestão e assimilação de elementos em tecidos e a transformação de energia potencial em energia cinética, indispensável aos organismos para a execução do trabalho. A síntese e a respiração são os processos que se desenvolvem paralelos ao metabolismo conforme esquema no QUADRO 1.

QUADRO 1 – Esquema dos processos de síntese e respiração dos microorganismos

Síntese	Respiração
Alimento + Microorganismos + Energia ↓	Carboidratos + O ₂ ↓
Maior número de microorganismos + resíduos nitrogenados	CO ₂ + H ₂ O + energia

Fonte: TCHOBANOGLOUS, G. & BURTON, F. L. – METCALF & EDDY, 1991.

Como lembra Sharma et. al (1997), o lodo biológico é um biossólido rico em matéria orgânica e nutrientes. De acordo com Farias & Rodrigues (2001), este material pode ser reciclado como fertilizante ou condicionador de solos em sítios florestais. A sua utilização em áreas agrícolas é de grande importância na contribuição do fechamento do “ciclo bioquímico dos nutrientes minerais” (FERNANDES & SILVA, 1999, p. 15). No entanto, restrições sobre a sua aplicabilidade são devido ao potencial risco de contaminação destes solos pelos metais pesados, organismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos que possivelmente estariam presentes neste tipo de material (FARIA & RODRIGUEZ, 2001; FERNANDES & SILVA, 1999).

Outras alternativas para a destinação final deste material incluem: disposição em aterros sanitários, que vem sofrendo cada vez mais restrições; incineração, que é uma alternativa prática e cara, mas vem ganhando força no mundo, principalmente nos grandes centros (FARIA & RODRIGUEZ, 2001; FERNANDES & SILVA, 1999); e a compostagem que promove a desinfecção do resíduo em função da temperatura de operação e privilegia a

utilização simultânea de outros tipos de resíduos. Na FIGURA 10, é representado o processo de geração deste resíduo.

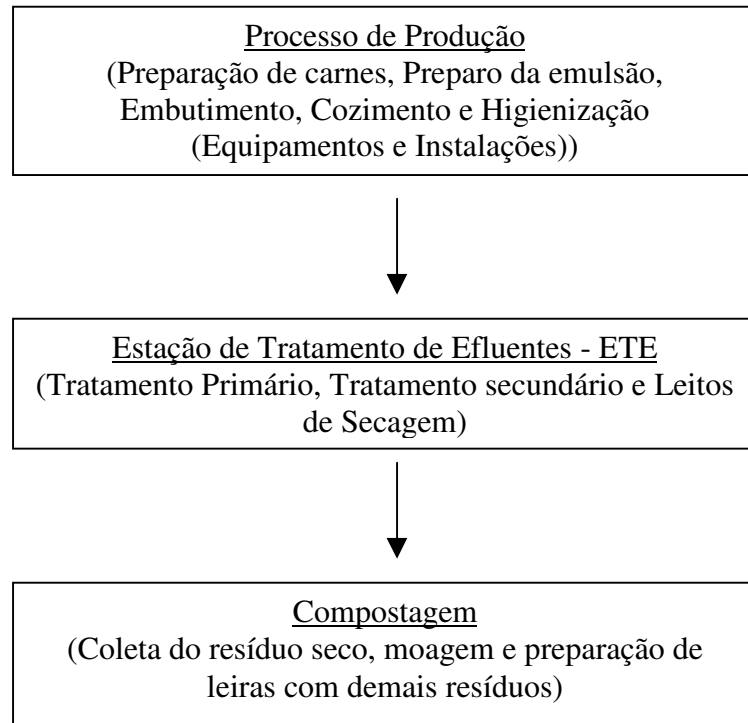


FIGURA 10 – Fluxograma da geração do lodo biológico

1.2.4.4 Rúmen Bovino

O rúmen representa cerca de 85% do estômago de um bovino adulto. Este órgão possui: temperatura interna entre 39°C a 40°C, pH médio entre 6,0 e 6,8, é anaeróbio e a concentração dos produtos de digestão são mantidas estáveis pelo contínuo processo de absorção pelas paredes ruminais. Essas condições são extremamente favoráveis para uma enorme proliferação de vários microorganismos, tais como as bactérias, os protozoários e os fungos. Dentre estes, o grupo das bactérias celulolíticas é quem confere aos bovinos a capacidade de sobreviverem em dietas exclusivas de forragens (HILL, 1988).

O bolo alimentar que é constituído de pastagens, fenos e silagens, é uma mistura de uma camada pastosa obtida após a mastigação e salivagem, pasto não mastigado e líquido ruminal. Que em contato com diferentes tipos de microorganismos são biotransformados por processos fermentativos em proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais para serem absorvidos pelo organismo do bovino. Os alimentos concentrados não são ruminados, sendo digeridos num processo semelhante ao que ocorre nos animais de estômago simples (MONTARDO, 1998).

O processo de digestão do bovino inicia pela mastigação e salivagem do alimento que é conduzido ao rúmen para ser mesclado com o líquido ruminal até formar uma camada pastosa que possui a consistência de um purê de batata. Após, a camada pastosa e o líquido ruminal gradativamente passam para o folhoso (ou omaso) para a absorção da água dos alimentos e do líquido ruminal. Restando apenas o pasto desidratado que minuciosamente triturado entre as “folhas” que se movimentam constantemente. Na FIGURA 11 está representado o processo de geração do rúmen bovino.

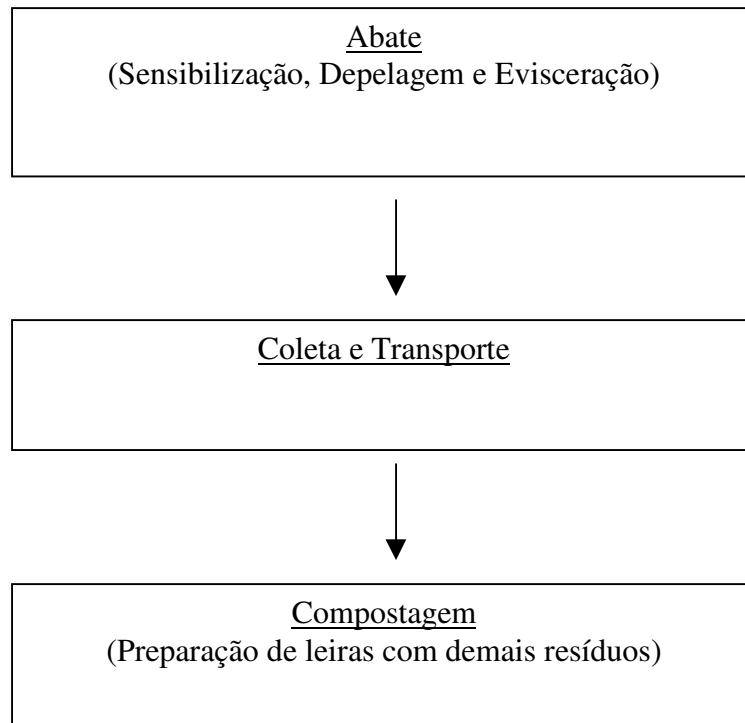


FIGURA 11 – Fluxograma da geração do rúmen bovino

2 PROCEDIMENTOS APLICADOS À INVESTIGAÇÃO

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu na área externa uma planta industrial de processamento de produtos cárneos, localizada no município de Santa Cruz do Sul no Vale do Rio Pardo, Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com mapa no ANEXO A. O período de seleção, preparação, aplicação do método de compostagem e caracterização física, química e físico-química dos resíduos sólidos orgânicos utilizados e do composto produzido aconteceu de janeiro de 2003 a dezembro 2003.

Os resíduos sólidos utilizados nesta pesquisa foram: resíduo celulósico oriundo da máquina (depiladeira) que retira o invólucro sintético das salsichas produzidas; resíduo gorduroso intrínseco ao processo de fabricação de embutidos cárneos e da limpeza dos equipamentos e instalações; lodo biológico obtido no tratamento secundário da ETE da fábrica de embutidos em questão; rúmen bovino adquirido em matadouro da Região do Vale do Rio Pardo.

2.1 Preparação dos resíduos sólidos orgânicos para compostagem

O resíduo celulósico foi coletado manualmente no setor de depelagem de salsichas apresentando: 5 cm de largura, 25 cm de comprimento e 0,15 µ de espessura. Este resíduo foi

pesado com o auxílio de balança digital e acondicionado em sacos plásticos de 20 Kg para uso imediato. O resíduo gorduroso e o lodo biológico primeiramente foram transportados por bombeamento para leitos de secagem cobertos. A coleta do resíduo gorduroso também foi manual, acontecendo logo após a secagem. Objetivando-se uma granulometria superior a 12,5 mm (KIEHL, 1985 e BRITO, 2002). Este resíduo foi triturado em moinho de facas e martelo, em seguida foi pesado em balança digital e embalado em sacos plásticos de 30 Kg. O lodo biológico e o rúmen bovino devido ao elevado teor de umidade foram pesados em balança digital e adicionados às leiras no instante da construção destas.

2.2 Equipamentos e materiais

Para a preparação de amostras e caracterização física, química, físico-química dos resíduos sólidos utilizados e do composto obtido, foram utilizados os equipamentos e materiais relacionados na TABELA 3.

TABELA 3 – Relação dos equipamentos e materiais utilizados na pesquisa

EQUIPAMENTO e MATERIAL	DESCRIÇÃO
Triturador e Homogeneizador Pic – Lic	Marca: Arno; Modelo: PL.
Peneira de aço inox	Marca: Bertel; Diâmetro: 20 cm; Abertura: 500 mm/ μ m; USS/ATM: 35; Tyler/mesh: 32.
Balança Analítica Eletrônica 0,0000g	Marca: CG-Libor Instrumentos Científicos Ltda; Modelo AEL-200.
Bureta Automática Digital	Marca: Hirschmann EM Techcolor; Div.: 0,01; Acc: 0,2%; CV: 0,1%.
Bloco Digestor com controlador de temperatura.	Marca: Quimis; Modelo: Q327A.242, N° Série: 409.
Destilador de vapor micro-Kjeldahl	Marca: Velp Scientifica; Modelo UDK126A.
Espectrofotômetro Visível	Marca: Femto; Modelo: 432.
Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Forno de Grafite	Marca: Variant; Modelo SPECTRAA 55.
Fotômetro de Chama	Marca: Micronal; Modelo: B462.
pHmetro de bancada	Marca Metler Toledo; modelo MP 220; N° 49783.
Estufa de secagem e esterilização	Marca Fanem; modelo 315 SE.
Estufa com renovação e circulação de ar	Marca: Marconi; Modelo: MA 037.
Termômetro digital	Marca: Full Gauge Controls; Modelo: T1 06; Sensor PP 3x22 (AWG) 2,5 m de comp.
Balança digital 0,00	Marca: Toledo; Modelo: Prix III
Triturador e moedor de facas e martelo	Marca: Nogueira; Modelo: DMP4
Pesa-filtro de vidro com tampa	Marca: Tecnoglass; Dimensões: ϕ de 6 cm x 5 cm de altura.
Frasco snap-cap	Com tampa rosqueada; capacidade 90 mL.
Tubos de digestão de vidro	Dimensões: 25x250 mm.

2.3 Reagentes e soluções

A água utilizada para as análises laboratoriais foi purificada através de destilação simples, seguida de percolação em coluna com mistura de resinas trocadoras iônicas (deionização). Para a realização das análises físicas, químicas e físico-químicas dos resíduos sólidos utilizados e do composto orgânico obtido, foram utilizados os reagentes e soluções relacionadas na TABELA 4.

TABELA 4 – Reagentes e soluções utilizados na pesquisa

REAGENTES (P.A.)	DESCRIÇÃO
H ₂ SO ₄ – Ácido Sulfúrico	Marca: Nuclear; Dosagem (%): 95,0-98,0; P.M.: 98,08 g/mol.
FeSO ₄ .7H ₂ O – Sulfato Ferroso Heptaidratado	Marca: Nuclear; Dosagem (%): 99,5-104,5 P.M.: 278,01 g/mol.
CaCl ₂ .2H ₂ O – Cloreto de Cálcio diidratado	Marca: Nuclear; Dosagem (%): 99,0-107,0 P.M.: 147,02 g/mol.
K ₂ Cr ₂ O ₇ - Dicromato de Potássio	Marca: Nuclear; Dosagem (%): min. 99,0 P.M.: 294,18 g/mol.
C ₁₂ H ₈ N ₂ .H ₂ O – 1,10-Fenantrolina Monohidratada	Marca: Nuclear; P.M.: 198,23 g/mol.
H ₂ O ₂ – Peróxido de Hidrogênio	Marca: Reagen; Dosagem de H ₂ O ₂ (%): 29,0- 32,0; P.M.: 34,01 g/mol.
C ₁₀ H ₉ NO ₄ S – Ácido 1-Amino 2-Naftol 4 Sulfônico	Marca: Nuclear; P.M.: 239,25 g/mol.
Na ₂ S ₂ O ₅ – Metabissulfito de Sódio	Marca: Nuclear; Dosagem (%): min. 97,0 P.M.: 190,10 g/mol.
Na ₂ SO ₃ – Sulfito de Sódio Anidro	Marca: Nuclear; Dosagem (%): min. 96,0 P.M.: 126,04 g/mol.
H ₃ BO ₃ – Ácido Bórico	Marca: Nuclear; Dosagem (%): min. 99,0 P.M.: 61,83 g/mol.

$C_{15}H_{15}N_3O_2$ - Vermelho de Metila	Marca: Merck; P.M.: 269,31 g/mol.
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ – Molibdato de Amônio	Marca: Nuclear; Dosagem de MoO_3 (%): 81,0-83,0; P.M.: 1.235,86 g/mol.
Na_2SO_4 – Sulfato de Sódio	Marca: Merck; Dosagem (%): min. 99,5; P.M.: 142,04 g/mol.
La_2O_3 - Óxido de Lantânio	Marca: Merck; Dosagem (%): min. 99,5%; P.M.: 325,81 g/mol.
$CUSO_4 \cdot 5H_2O$ – Sulfato de Cobre (Cúprico)	Marca: Reagen; Dosagem (%): 98,0-102,0; P.M.: 249,68 g/mol.
Se - Selênio (pó)	Marca: Merck; Dosagem (%): $\geq 99,0$; P.M.: 78,96 g/mol.
NaOH – Hidróxido de Sódio	Marca: Nuclear; Dosagem (%): 95,0-100,5; P.M.: 40,0 g/mol.
HCl – Ácido Clorídrico	Marca: Synth; Dosagem (HCl): 36,5%-38,0%; P.M.: 36,46 g/mol.
HNO_3 – Ácido Nítrico	Marca: Synth; Dosagem (HNO_3): 64,0%- 66,0%; P.M.: 63,02 g/mol.
$HClO_4$ – Ácido Perclórico	Marca: Nuclear; Dosagem ($HClO_4$): 69,0%- 72,0%; P.M.: 100,46 g/mol.
$BaCl_2$ – Cloreto de Bário	Marca: Synth; P.M.: 244,26 g/mol.
Gelatina em folha incolor (comercial)	Marca: Dr. Octker Produtos Alimentícios.
Solução de referência de 1000 mg de PO_4^{3-} (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Ca^{++} (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de K^+ (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Mg^{++} (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Zn^{++} (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Cu^{++} (Titrisol)	Marca: Merck

Solução de referência de 1000 mg de Fe ⁺⁺⁺ (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Mn ⁺⁺ (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de SO ₄ ⁻ (Titrisol)	Marca: Merck
Solução de referência de 1000 mg de Na ⁺ (Titrisol)	Marca: Merck

2.4 Compostagem

O método de compostagem utilizado foi o biológico misto (aeróbio e anaeróbio). A experimentação envolveu 03 etapas com 02 leiras em triplicata cada, dispostas em área coberta, isoladas do solo por piso de concreto e em forma de “monte” (KIEHL, 2002).

Os valores iniciais da relação carbono/nitrogênio (C/N) das leiras objetivaram em torno de 30/1 (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002; STENTIFORD, 1996; SÁNCHEZ et al., 2003). O revolvimento das leiras foi manual com o auxílio de pá carregadeira, cuja frequência foi diária e a cada três dias. A adição de água ocorreu durante o processo de revolvimento a cada três dias, variando o volume entre 05 e 10 Litros. As quantidades de resíduos sólidos empregados na construção das leiras, frequências de revolvimentos e identificação das etapas estão expressas na TABELA 5.

TABELA 5 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas leiras, frequência e etapas.

	Leira 01	Leira 02	Leira 03	Leira 04	Leira 05	Leira 06
RC (Kg)	110	110	110	110	110	110
RG (Kg)	30	30	30	30	30	30
LB (Kg)	30	30	30	30	30	30
RB (Kg)		10		10		
Total (Kg)	170	180	170	180	170	170
RD	X	X			X	
R3			X	X		X
Etapas	1	1	2	2	3	3

Onde: RC = Resíduo Celulósico; RG = Resíduo Gorduroso; LB = Lodo Biológico; RB = Rúmen Bovino; RD = Revolvimento diário; R3 = Revolvimento a cada três dias.

2.5 Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos e do processo de compostagem

O monitoramento dos experimentos teve início com as análises laboratoriais, em triplicata, dos resíduos sólidos “in natura” seguindo a metodologia de acordo com TEDESCO et al. (1995). Em vista da obtenção das características físicas, químicas e físico-químicas (pH, umidade, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, cálcio, magnésio e cinzas), bem como, dos micronutrientes (enxofre, cobre, zinco, sódio, manganês e ferro) de cada constituinte dos resíduos sólidos utilizados na compostagem.

As análises físicas, químicas e físico-químicas realizadas avaliaram a taxa de bioestabilização da matéria orgânica, a eficiência do processo e a qualidade do composto formado. O acompanhamento do processo foi sistemático, considerando os parâmetros analíticos determinados, tais como: pH, umidade, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, cálcio, magnésio e cinzas, bem como, dos micronutrientes (enxofre, cobre, zinco, sódio,

manganês e ferro). A temperatura que foi determinada diariamente com termômetro digital e os demais parâmetros foram determinados quinzenalmente.

Os procedimentos de coleta e preparação das amostras submetidas às análises laboratoriais seguiram métodos descritos por Kiehl apud Tedesco et al. (1995 p. 85), conforme FIGURA 12.

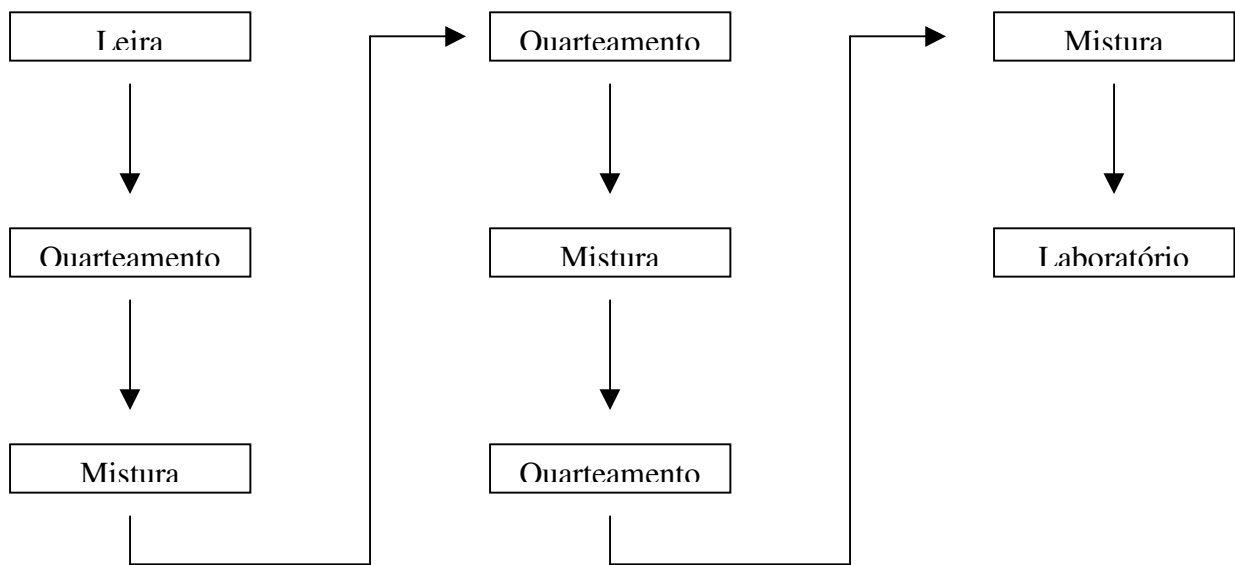


FIGURA 12 – Fluxograma do esquema de amostragem dos resíduos sólidos orgânicos e do composto produzido para encaminhamento ao laboratório.

Fonte: Adaptado de KIEHL, 1995.

Neste sentido, durante o revolvimento as leiras divididas em 4 seções pela superfície e, de cada seção, após homogeneização foi retirado quatro sub-amostras. Após a obtenção das 16 sub-amostras, estas foram homogeneizadas e quarteadas, resultando nas amostras que foram conduzidas para o laboratório.

Objetivando a preservação das amostras dos resíduos sólidos “*in natura*” como do composto nos diversos estágios de estabilização, todas foram submetidas à secagem à temperatura de 60°C-65°C por 24 h antes de serem submetidas à moagem (KIEHL, 1985 e TEDESCO et al., 1995). Após moagem em triturador e misturador toda a porção das amostras passou em peneira USS/ATM 35 mm, sendo posteriormente acondicionadas em sacos plásticos de poliamida, lacrados e identificados (TEDESCO et al., 1995).

As análises laboratoriais realizadas, em triplicata, do composto orgânico nos diversos estágios de bioestabilização seguiram a metodologia conforme Tedesco et al. (1995). Em vista da obtenção das características físicas, químicas e físico-químicas (pH, umidade, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, cálcio, magnésio e cinzas), bem como, dos micronutrientes (enxofre, zinco, sódio e ferro).

3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A construção de dados básicos com viabilidade técnica para o reaproveitamento de resíduos poluentes originários de indústria de embutidos cárneos através do processo de compostagem, necessita inicialmente, da caracterização física, química e físico-química de cada material “*in natura*” utilizado, com o intuito de conhecer o balanço de nutrientes e a combinação apropriada dos resíduos sólidos orgânicos.

3.1 Caracterização física, química e físico-química do resíduo celulósico

Para cada uma das três etapas de compostagem, realizou-se, em triplicata, a caracterização física, química e físico-química deste resíduo. Na TABELA 6, observam-se os resultados analíticos encontrados para cada etapa em base seca.

TABELA 6 – Características do resíduo celulósico

Parâmetros	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
COT (%)	34,71 ± 0,29	43,70 ± 0,26	39,49 ± 0,38
NTK (%)	0,35 ± 0,06	0,13 ± 0,01	0,20 ± 0,01
C/N	99,2	336,2	197,5
Umidade (%)	10,88 ± 0,23	58,37 ± 0,72	36,08 ± 0,98
MOT (%)	97,89 ± 0,10	98,85 ± 0,22	98,65 ± 0,10
Cinzas (%)	2,11 ± 0,10	1,15 ± 0,22	1,35 ± 0,10
P Total (%)	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
K (%)	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,10 ± 0,00
Ca (%)	0,06 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Mg (%)	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00
S (%)	ND	0,02 ± 0,00	ND
Fe (%)	ND	0,04 ± 0,01	ND
Zn (%)	ND	0,14 ± 0,03	ND
Na (%)	ND	0,60 ± 0,03	ND
pH	6,8 ± 0,13	7,1 ± 0,61	7,0 ± 0,35

Onde: COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; ND = Não determinado; Valores médios para n = 3.

Analisando-se os valores de carbono orgânico, pode-se considerar que cerca de 40% deste resíduo possui matéria orgânica compostável e que o resultado da diferença entre a matéria orgânica total é carbono orgânico “resistente” a compostagem (KIEHL, 2002). A presença de nitrogênio nas amostras deste resíduo é resultante da exudação de material proteico durante o processo de cozimento das salsichas. As variações observadas neste item estão diretamente relacionadas com o conteúdo de umidade da tripa. Em virtude dos baixos teores de nitrogênio nas amostras, a relação C/N situou-se acima do valor de referência (usualmente 30/1) para iniciar a compostagem. (KIEHL, 1985; STENTIFORD, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002; SÁNCHEZ et al., 2003).

O valor do teor de umidade da ETAPA 2 indica um resíduo mais recentemente gerado em relação as demais, bem como influenciou na concentração dos demais macro e micronutrientes, exceto o teor de matéria orgânica. Com relação ao sódio, este também é resultante do arraste de líquido das salsichas para a tripa durante o processo de cozimento. Os demais parâmetros confirmam a característica de que este tipo de resíduo sólido rico em carbono orgânico apresenta valores reduzidos de nutrientes, conforme é citado na literatura (KIEHL, 1985; MATSUMURA & NAKANO, 2001; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002).

3.2 Caracterização do resíduo gorduroso

Na TABELA 7, estão elencados os valores da caracterização do resíduo gorduroso em base seca.

TABELA 7 - Caracterização do resíduo gorduroso

Parâmetros	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
COT (%)	41,97 ± 0,83	51,98 ± 2,30	61,21 ± 2,62
NTK (%)	1,95 ± 0,89	1,61 ± 0,22	2,13 ± 1,68
C/N	21,5	32,3	28,7
Umidade (%)	3,13 ± 0,45	9,54 ± 0,30	21,79 ± 2,17
MOT (%)	62,66 ± 0,54	73,84 ± 0,16	74,71 ± 1,71
Cinzas (%)	37,34 ± 0,54	26,10 ± 0,16	24,64 ± 1,71
P Total (%)	0,11 ± 0,05	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,01
K (%)	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,06 ± 0,02
Ca (%)	0,63 ± 0,04	0,79 ± 0,08	0,64 ± 0,02
Mg (%)	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,00
S (%)	ND	0,14 ± 0,02	ND
Fe (%)	ND	0,33 ± 0,01	ND
Zn (%)	ND	0,07 ± 0,00	ND
Na (%)	ND	0,1 ± 0,00	ND
pH	5,4 ± 1,05	5,2 ± 0,87	5,2 ± 0,13

COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; ND = Não determinado; Valores médios para n = 3.

Após a separação do resíduo gorduroso da fase líquida no tanque de retenção de graxas o mesmo é transportado por bombeamento para leitos de secagem para adensamento. A estrutura destes leitos é formada por uma camada de areia na superfície e outras três camadas de brita sobrepostas de diferentes dimensões. Desta forma, ocorre a percolação do excesso de líquido retornando para o tratamento primário da ETE. A retenção do resíduo sólido gorduroso na superfície da areia pode ser visualizada no ANEXO D.

Durante a coleta do resíduo gorduroso seco na primeira etapa, o excesso de areia aderido a este, não foi retirado totalmente. Isto explica a maior concentração de cinzas em relação às outras duas Etapas. Este fato, também influenciou a concentração de matéria

orgânica total entre as etapas. O tempo de permanência dos resíduos gordurosos nos leitos de secagem, que oscilou entre 45 e 120 dias, determinou a quantidade de água residual de cada amostra. Apesar de não determinado, o clima, também influencia no processo de secagem do resíduo gorduroso.

Analisando os valores de carbono orgânico, pode-se considerar que cerca de 70% deste resíduo é matéria orgânica facilmente compostável (KIEHL, 2002). A presença de nitrogênio nas amostras deste resíduo pode ser explicada pela adsorção/adesão de material proteico (sangue, proteína de soja, restos de emulsão) no resíduo gorduroso durante a fase líquida, bem como na etapa de desidratação nos leitos de secagem. A relação C/N deste material atende o valor de referência (30/1) para iniciar o processo de compostagem (KIEHL, 1985; STENTIFORD, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002; SÁNCHEZ et al., 2003).

3.3 Caracterização do lodo biológico

Na TABELA 8, estão representados os resultados analíticos encontrados em base seca.

TABELA 8 - Caracterização física, química e físico-química do lodo biológico

Parâmetros	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
COT (%)	28,77 ± 1,35	21,35 ± 0,79	30,00 ± 0,62
NTK (%)	5,65 ± 0,18	3,35 ± 0,36	4,70 ± 0,26
C/N	5,10	6,40	6,40
Umidade (%)	90,67 ± 0,06	83,90 ± 1,65	84,73 ± 5,12
MOT (%)	75,52 ± 0,45	52,89 ± 1,07	68,17 ± 0,39
Cinzas (%)	24,48 ± 0,45	47,38 ± 1,07	31,64 ± 0,39
P Total (%)	0,38 ± 0,07	0,17 ± 0,03	0,26 ± 0,05
K (%)	0,29 ± 0,02	0,23 ± 0,01	0,28 ± 0,00
Ca (%)	0,49 ± 0,00	0,52 ± 0,03	0,64 ± 0,01
Mg (%)	0,33 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,29 ± 0,01
S (%)	ND	0,09 ± 0,00	ND
Fe (%)	ND	0,59 ± 0,15	ND
Zn (%)	ND	0,14 ± 0,05	ND
Na (%)	ND	0,39 ± 0,07	ND
pH	7,43 ± 0,11	7,35 ± 0,22	7,30 ± 0,05

COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; ND = Não determinado; Valores médios para n = 3.

A caracterização mostrada na TABELA 08 indica que o biossólido possui cerca de 40% de matéria orgânica facilmente biodegradável, enquanto que o restante, em relação à matéria orgânica total, oferece uma maior resistência ao processo de biodegradação (KIEHL, 2002). Os valores de nitrogênio total encontrado nas amostras em todas as etapas conferem com dados da literatura (FERNANDES & SILVA, 1999). O lodo biológico quando incorporado a materiais com elevado teor de carbono, possibilita a correção da relação C/N para iniciar a compostagem. (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002).

A quantidade de água presente no lodo biológico é sempre elevada e a sua retirada quando é utilizado o processo em leitos de secagem vai depender do clima (FERNANDES & SILVA, 1999). Os elevados valores de cinzas devido à presença de areia dos leitos de secagem, também influenciaram os teores de matéria orgânica total. Quanto aos demais nutrientes este biossólido apresenta uma maior concentração em relação aos dois primeiros resíduos. No ANEXO E é mostrado o acondicionamento do lodo biológico em leito de secagem.

3.4 Caracterização do rúmen bovino

Nas duas etapas experimentadas, realizou-se, em triplicata, a caracterização física, química e físico-química do rúmen logo após a sua coleta e preparação de amostra. Na TABELA 9, estão dispostos os resultados analíticos encontrados em base seca.

TABELA 9 - Caracterização do rúmen bovino

Parâmetros	Etapa 1	Etapa 2
COT (%)	38,93 ± 2,98	35,77 ± 0,36
NTK (%)	1,74 ± 0,06	0,92 ± 0,05
C/N	22,4	38,9
Umidade (%)	82,95 ± 1,94	86,32 ± 0,53
MOT (%)	83,19 ± 1,06	88,85 ± 0,23
Cinzas (%)	16,22 ± 1,06	11,19 ± 0,23
P Total (%)	1,71 ± 0,03	0,11 ± 0,02
K (%)	1,39 ± 0,18	0,40 ± 0,01
Ca (%)	0,24 ± 0,03	0,20 ± 0,01
Mg (%)	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,00
S (%)	ND	0,19 ± 0,00
Fe (%)	ND	0,23 ± 0,01
Zn (%)	ND	0,26 ± 0,00
Na (%)	ND	1,60 ± 0,10
Ph	7,43 ± 0,06	7,35 ± 0,16

COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; ND = Não determinado.

Analisando a TABELA 9, constatou-se que a maioria dos nutrientes da amostra do rúmen bovino da ETAPA 1 apresentam uma concentração superior aos da ETAPA 2. Neste sentido, destacam-se os valores de fósforo e potássio. Este fato pode ser explicado pela sua coleta em épocas diferentes do ano, bem como pelo intervalo entre o abate e a última refeição da rês no período da ETAPA 1 poderia ter sido inferior ao da ETAPA 2.

Verificou-se que o percentual de matéria orgânica total situou-se acima dos 80% e que a diferença entre as etapas está relacionada com os valores de cinzas. Os elevados teores de cinzas presentes nas duas amostras podem estar relacionados com a ingestão de areia no momento da pastagem. Os expressivos valores de matéria orgânica são oriundos do acúmulo

de resíduos de pastagens ricos em material lignino-celulósico no retículo-rúmen. Isto também confirma os valores de carbono orgânico inferiores a 50%. No entanto, a relação C/N para ambas etapas situou-se numa faixa teoricamente recomendável (FERNANDES & SILVA, 1999; KIEHL, 2002).

3.5 Caracterização do composto obtido na ETAPA 1

Nesta etapa foram construídas duas leiras em triplicata (LEIRA 1 e LEIRA 2), onde as quantidades de resíduos sólidos empregados para cada leira estão representadas no QUADRO 2.

QUADRO 2 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 1 e 2.

Matéria – prima	Leira 1	Leira 2
RC (kg)	110	110
RG (Kg)	30	30
LB (Kg)	30	30
RB (kg)	-	10
Total (Kg)	170	180

Quantidades utilizadas conforme TABELA 5. Onde: RC = Resíduo Celulósico; RG = Resíduo Gorduroso; LB = Lodo Biológico; RB = Rúmen Bovino.

Nas TABELAS 10 e 11, são apresentados os parâmetros iniciais para cada resíduo sólido utilizado. Na coluna à direita está representado o valor percentual total de cada parâmetro em relação à massa total à respectiva leira. Para efeitos de acompanhamento do processo, que os dados das TABELAS 10 e 11 são considerados o instante ($t = 0$). O processo de revolvimento foi diário e o acompanhamento quinzenal nos diversos estágios de estabilização auxiliou na análise do processo de bioestabilização, a eficiência do processo e a

qualidade do composto obtido. O período deste experimento compreendeu dois meses: abril e maio de 2003.

TABELA 10 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 1.

Parâmetro	RC	LB	RG	Total	%
COT (Kg)	38,18 ± 0,32	8,63 ± 0,41	12,59 ± 0,25	59,4 ± 0,33	34,94 ± 0,33
NTK (Kg)	0,39 ± 0,07	1,7 ± 0,05	0,59 ± 0,04	2,68 ± 0,05	1,58 ± 0,05
Relação C/N	97,9	5,1	21,3	22,2	22,1
Umidade (Kg)	10,88 ± 0,25	27,2 ± 0,02	0,94 ± 0,14	39,02 ± 0,14	22,95 ± 0,14
MOT (Kg)	107,78 ± 1,10	22,66 ± 0,36	18,21 ± 0,27	148,55 ± 1,55	87,38 ± 1,55
Cinzas (Kg)	2,32 ± 1,10	7,84 ± 0,36	11,20 ± 0,27	21,36 ± 1,55	12,56 ± 1,55
P Total (Kg)	0,01 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,09 ± 0,02
K (Kg)	0,07 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,17 ± 0,00	0,10 ± 0,00
Ca (Kg)	0,07 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Mg (Kg)	0,01 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,07 ± 0,00
pH	6,8 ± 0,13	7,43 ± 0,11	5,4 ± 1,05	6,54 ± 0,43	

Onde: RC = Resíduo Celulósico; LB = Lodo Biológico; RG = Resíduo Gorduroso; COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; Valores médios para n = 3.

TABELA 11 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 2

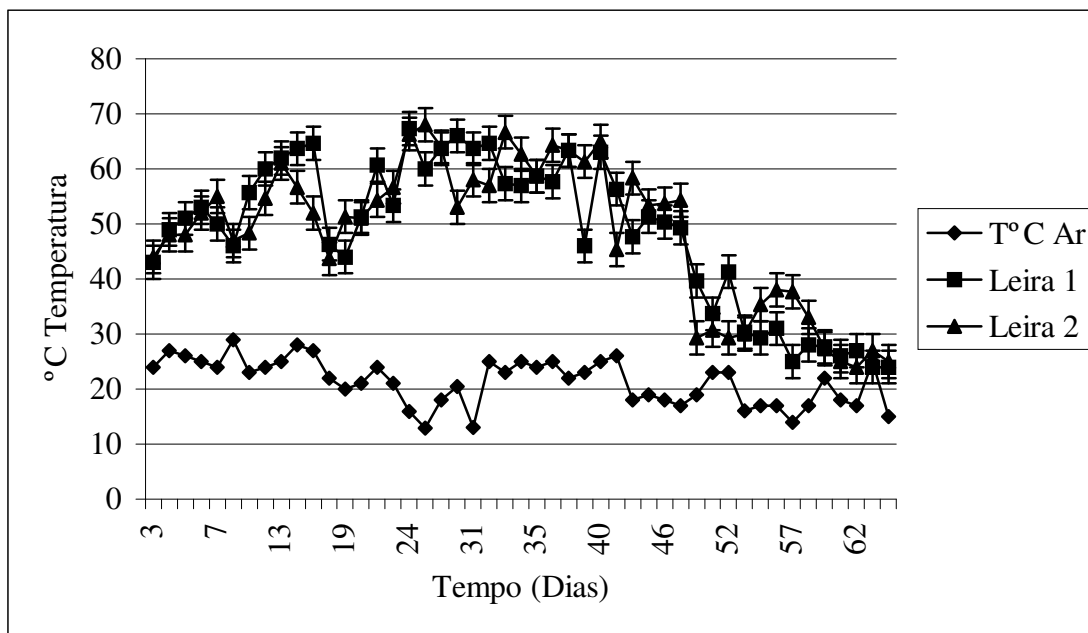
Parâmetro	RC	LB	RG	RB	Total	%
COT (kg)	38,18 ± 0,32	8,63 ± 0,41	12,59 ± 0,25	3,89 ± 2,98	63,29 ± 0,99	35,16 ± 0,99
NTK (kg)	0,39 ± 0,07	1,7 ± 0,05	0,59 ± 0,04	0,17 ± 0,06	2,85 ± 0,06	1,58 ± 0,06
C/N	97,9	5,1	21,3	22,9	22,2	22,3
Umid. (kg)	10,88 ± 0,25	27,2 ± 0,02	0,94 ± 0,14	8,63 ± 1,94	47,65 ± 0,59	26,47 ± 0,59
MOT (kg)	107,78 ± 1,10	22,66 ± 0,36	18,21 ± 0,27	8,32 ± 1,06	156,97 ± 0,7	87,21 ± 0,70
Cinzas (kg)	2,32 ± 1,10	7,84 ± 0,36	11,20 ± 0,27	1,62 ± 1,06	22,98 ± 0,70	12,77 ± 0,70
P Total (kg)	0,01 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,32 ± 0,02	0,18 ± 0,02
K (kg)	0,07 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,14 ± 0,18	0,31 ± 0,05	0,17 ± 0,05
Ca (kg)	0,07 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,02 ± 0,03	0,43 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Mg (kg)	0,01 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,07 ± 0,00
pH	6,8 ± 0,13	7,43 ± 0,11	5,4 ± 1,05	7,43 ± 0,25	6,77	

Onde: RC = Resíduo Celulósico; LB = Lodo Biológico; RG = Resíduo Gorduroso; RB = Rúmen Bovino; COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; Valores médios para n = 3.

Analisando as TABELAS 10 e 11 pode-se observar que a adição do rúmen bovino incrementou a concentração de todos os parâmetros, porém a relação C/N manteve-se igual para ambas leiras. A caracterização de micronutrientes foi executada nas ETAPAS 2 e 3 devido a disponibilidade de recursos alcançados somente no segundo semestre de 2003. Acredita-se, no entanto que não há comprometimento na análise da variação/caracterização destes valores, uma vez que, as ETAPAS 2 e 3 diferenciam-se da 1 apenas na frequência de revolvimento, ou seja na quantidade do lixiviado.

3.5.1 Temperatura

A temperatura das LEIRAS variou como é mostrado na FIGURA 13.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 13 – Gráfico de acompanhamento das temperaturas nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

A etapa mesofílica foi muito rápida em todas as leiras com um máximo de 48 horas. A fase termofílica permaneceu por 6 semanas, com uma temperatura máxima de 70°C uma temperatura média de 57°C e 60°C, respectivamente. Estes patamares de temperatura atingem critérios de uma boa qualidade sanitária para o composto obtido. Para garantir a sanidade do composto se recomenda realizar análises microbiológicas correspondentes (STRAUCH, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999).

As quedas de temperatura durante a fase termofílica foram causadas pela falta de umidade nas leiras e a sua recuperação ocorria logo depois do revolvimento e adição de água. Após a sexta semana da etapa termofílica, iniciou-se o descenso gradual do perfil da temperatura em todas as leiras, devido a baixa atividade microbiana pela falta de substrato de fácil assimilação, aproximando-se da temperatura ambiente (SÁNCHEZ et al., 2001). Na

TABELA 12 estão representados os critérios de tempo e temperatura para processos de compostagem no ponto de vista sanitário.

TABELA 12 – Requisitos de tempo e temperatura fixados em vários países para garantir a qualidade sanitária do composto

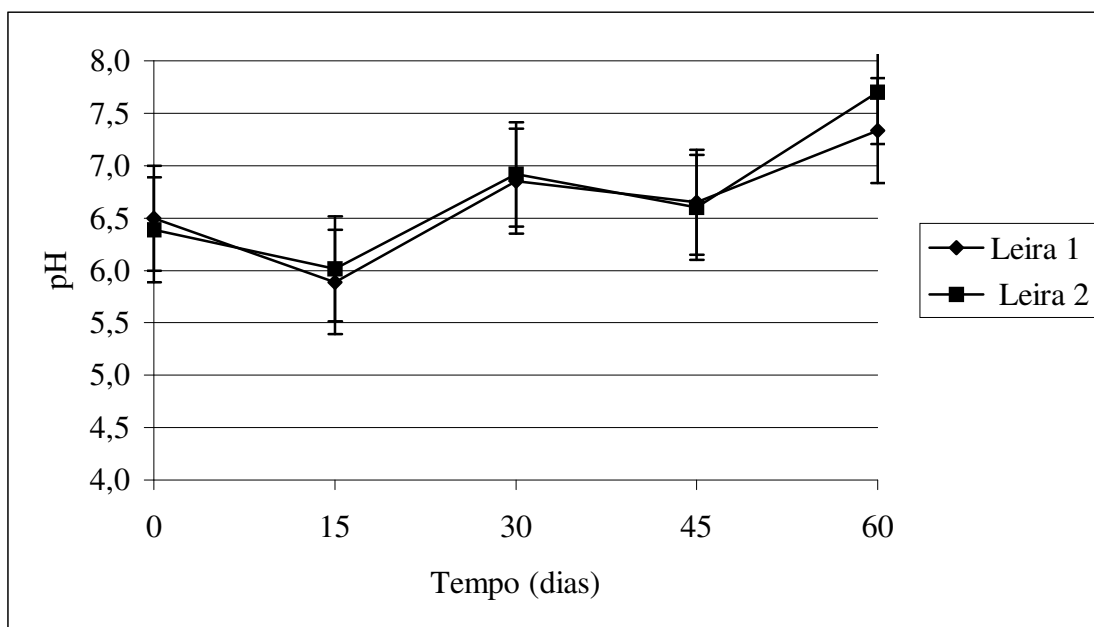
País	Sistema de Compostagem	Temperatura e Tempo
Áustria	(*)	> 60° C por pelo menos 6 dias
Dinamarca	(*)	> 55° C por pelo menos 2 semanas
Alemanha	Leiras revolvidas em local aberto	> 55° C por pelo menos 2 semanas ou > 65° C por 1 semana
	Leiras revolvidas em local fechado e reator biológico	> 60° C por pelo menos 1 semana
Itália	(*)	> 65° C por 2-3 dias consecutivos, sendo que o produto final deve ser biologicamente estável para prevenir o ressurgimento de patógenos.
Suíça	(*)	> 55° C por pelo menos 3 semanas ou > 60° C por pelo menos 1 semana

(*) Indefinido.

Fonte: FERNANDES & SILVA, 1999.

3.5.2 pH

Analisando o comportamento da FIGURA 14 verifica-se que nas duas leiras os valores de pH apresentaram tendências similares, sendo que os valores situaram-se na faixa compreendida em 5,9 e 8,0 unidades de pH.



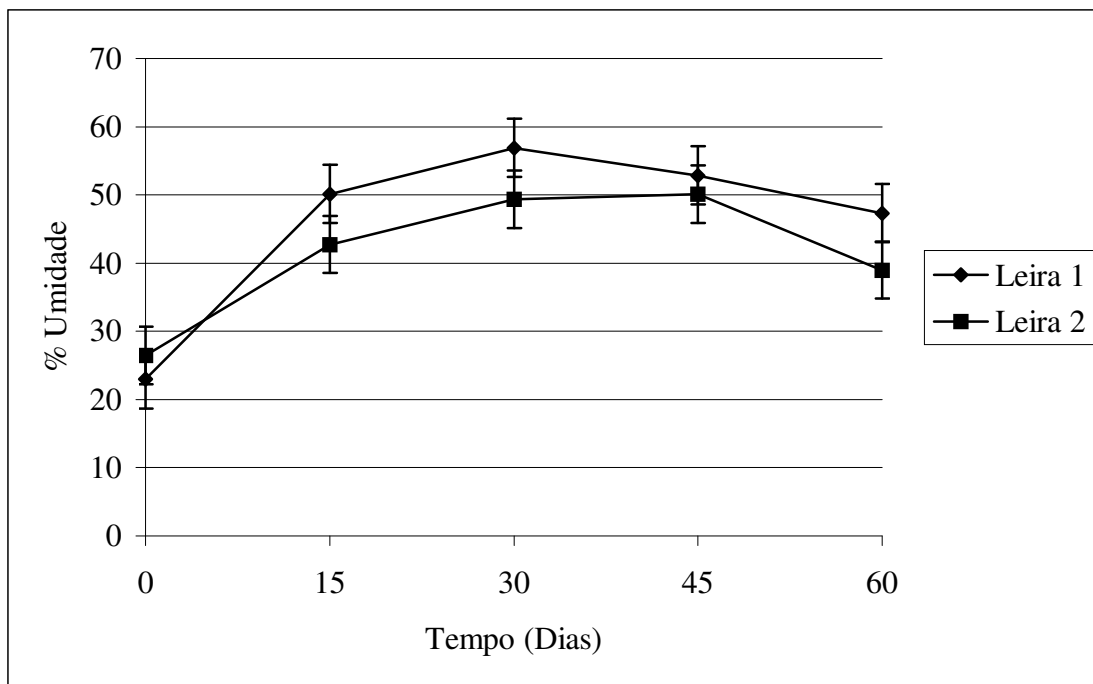
Valores médios para n = 3.

FIGURA 14 – Evolução dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

Do início do processo de compostagem até os 15 primeiros dias houve uma redução destes valores, resultantes da geração de dióxido de carbono e ácidos orgânicos pela atividade microbiológica nas leiras (SHARMA et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; KIEHL, 2002). A partir do décimo sexto dia houve elevação dos valores de pH para uma faixa entre 6,5 e 7,5 em virtude da hidrólise do material proteico existente e liberação de amônia. (STENTINFORD, 1996; BERNAL et al., 1998; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002). A pequena redução ocorrida no período entre o trigésimo e quadragésimo quinto dia pode ser explicada pela presença de sítios anaeróbios no interior das leiras em função da umidade.

3.5.3 Umidade

O teor de umidade das leiras manteve-se entre 40 % e 60 % durante todo o processo de bioestabilização, conforme FIGURA 15.



Valores médios para n = 3.

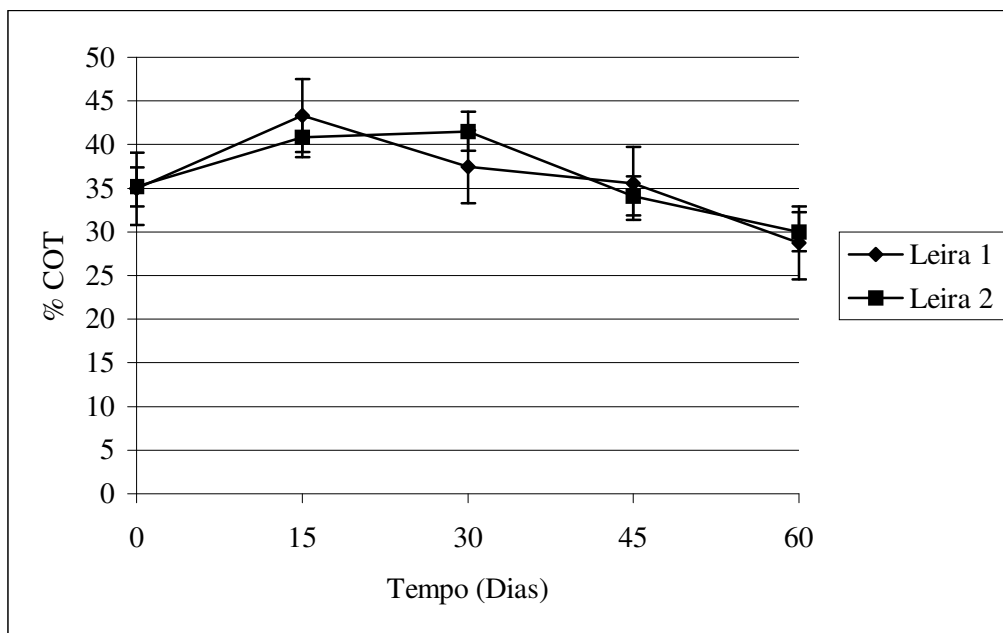
FIGURA 15 – Gráfico de acompanhamento do teor de umidade nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

No geral o comportamento do teor de umidade nas leiras dividiu-se em três fases: camada externa com um aspecto mais seco devido à facilidade da fuga do vapor de água e o contato direto com o ar ambiente; camada interna mais úmida e quente em função da proteção da camada externa caracterizando a fase termófila; camada central próxima da base das leiras onde ocorria um acúmulo excessivo de água pelo efeito da gravidade.

Neste local destacavam-se os sítios anaeróbios que originavam problemas de odores desagradáveis que constituíam um atrativo para insetos (moscas), principalmente nos primeiros trinta dias. A quantidade de água adicionada em cada leira foi de 5 Litros e ocorria duas vezes por semana, sendo que inicialmente umedecia-se a camada externa e o restante era distribuído na leira durante o revolvimento.

3.5.4 Carbono Orgânico Total - COT

A variação do conteúdo de COT do material bioestabilizado de cada leira apresentou similaridade, conforme é mostrada na FIGURA 16.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 16 - Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

Nos primeiros trinta dias as leiras apresentaram uma rápida elevação nos valores de COT em relação aos valores iniciais. Este fato deve-se a dificuldade de homogeneização dos resíduos celulósicos e gordurosos nas leiras. As características estruturais dos resíduos no início não permitiram que houvesse uma “completa distribuição ao acaso” (OHLWEILER, 1982). Neste sentido, verificou-se uma tendência para a reunião dos pequenos fragmentos no fundo e no centro das leiras e dos fragmentos maiores nas bordas. À medida que a estrutura dos resíduos modificava-se, a homogeneização das leiras apresentava-se mais homogênea.

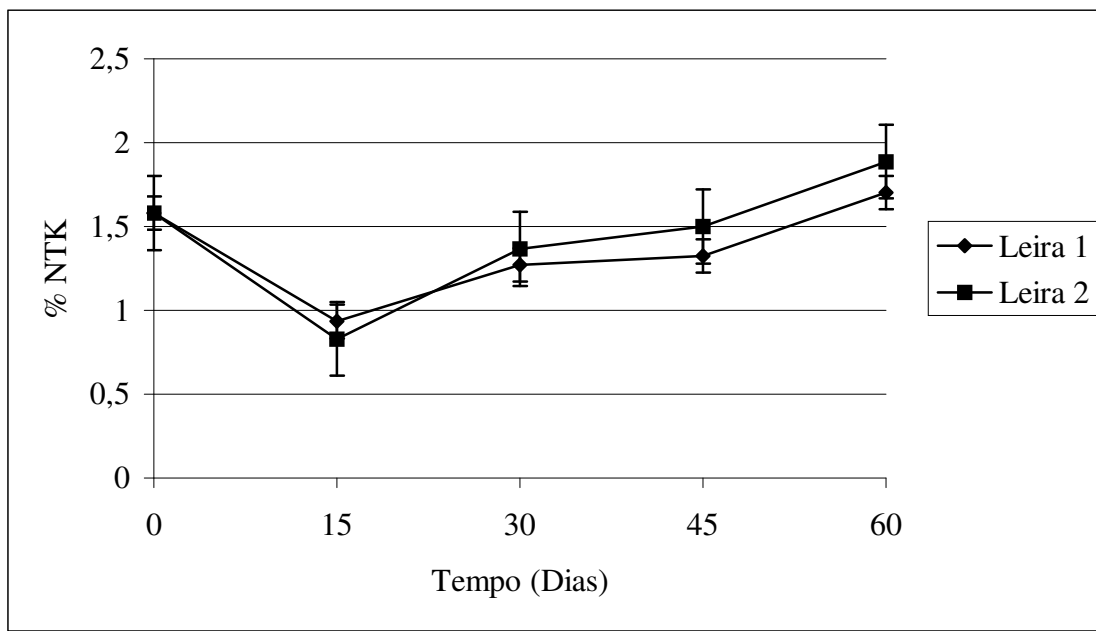
Ao longo do processo de bioestabilização (60 dias), ocorreu um descenso gradual atingindo uma taxa final de 17,7 % para a LEIRA 1 e 14,7 % para a LEIRA 2. Esta redução nos valores de COT é causada principalmente pela transformação do carbono orgânico em CO₂ pelo metabolismo microbiano (BERNAL, 1997; LANGENHOVE, BO & SMET 1999; TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002).

Pode-se considerar que a adição do rúmen bovino, levando em conta a quantidade a ser utilizada, poderia desempenhar um importante papel na questão da velocidade e eficiência do processo de bioestabilização, conforme já descrito em outros trabalhos (LEITE, V.D.; LOPES, W. S.; PRASAD, S., 2002). Isto porque o rúmen bovino acrescenta microorganismos nativos que degrada material celulósico, proteína, carboidrato e nutrientes.

No entanto, a prática não demonstrou os resultados esperados (vide figura 16). Acredita-se que o fato da utilização do bolo alimentar procedente do folhoso não foi adequado, bem como a inoculação do rúmen em ambiente misto (aeróbio/anaeróbio) tenha sido determinante, uma vez que o ambiente ruminal é estritamente anaeróbio.

3.5.5 Nitrogênio Total Kjeldahl– NTK

De acordo com a FIGURA 17, os valores iniciais de nitrogênio para as leiras situaram-se em torno de 1,58% e apresentaram um comportamento muito similar entre elas durante todo o estágio de bioestabilização.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 17 - Gráfico de acompanhamento dos valores de NTK nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

A queda nos valores de nitrogênio total nos primeiros quinze dias deve-se a dificuldade de homogeneização dos resíduos celulósicos e gordurosos nas leiras. As características estruturais dos resíduos no início não permitiram que houvesse uma “completa distribuição ao acaso” (OHLWEILER, 1982). Neste sentido, verificou-se uma tendência para a reunião dos pequenos fragmentos na base e no centro das leiras e dos fragmentos maiores nas bordas. À medida que a estrutura dos resíduos modificava-se, a homogeneização das leiras apresentava-se mais homogênea.

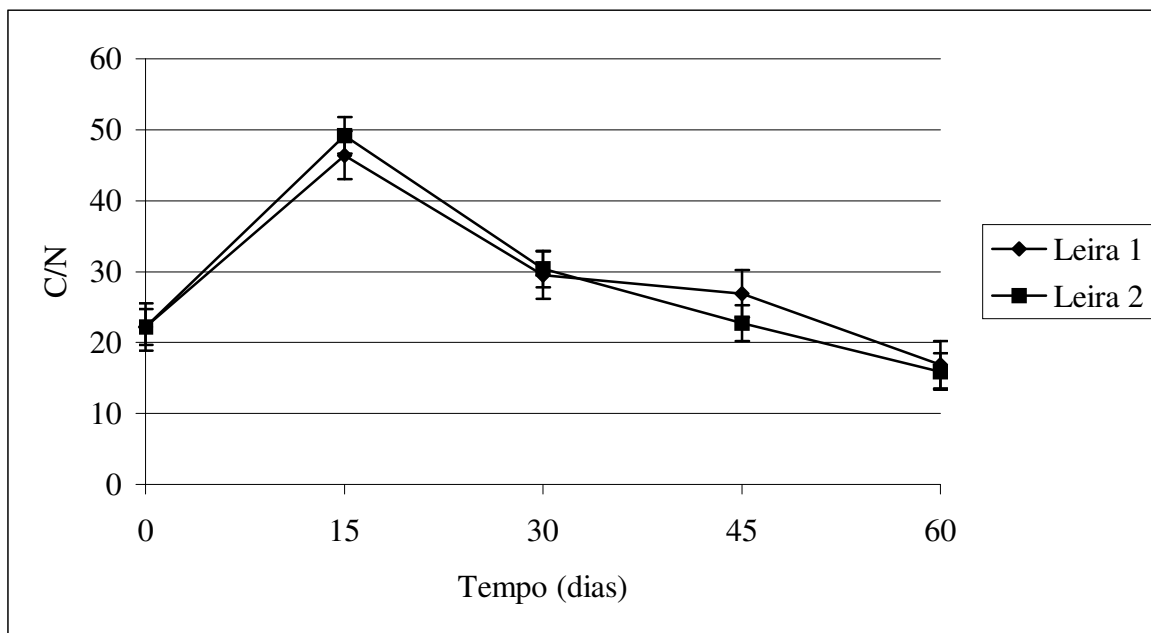
Um fator negativo percebido no início do processo de compostagem foi a perda deste nutriente por volatilização ou por lixiviação (TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002), em virtude da dificuldade de homogeneização. Como não havia uma distribuição completa da massa “*in natura*”, pode ter ocorrido sítios com uma concentração elevada de nitrogênio.

Considerando-se a relação C/N muito baixa, ocorre a eliminação de nitrogênio preponderantemente por volatilização (FERNANDES & SILVA, 1999; KIEHL, 2002).

A ascendência exibida ao longo da compostagem se deve ao consumo de carbono orgânico e a combinação dos parâmetros temperatura e pH que foram favoráveis ao processo de bioestabilização (LANGENHOVE, BO & SMET, 1999; SÁNCHEZ et al., 2001; TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002). A recuperação parcial do nitrogênio pode ter sido realizada pelas bactérias nitrificantes durante a fase mesofílica (BERNAL, 1997; SÁNCHEZ et al., 2001). A taxa final de concentração deste nutriente nas LEIRAS 1 e 2 foi de 7,6% e 19,6% respectivamente.

3.5.6 Avaliação da relação C/N

A relação C/N é usada para descrever o grau de decomposição de resíduos orgânicos (FERNANDES & SILVA, 1999). O comportamento do gráfico de acompanhamento da relação C/N apresentou-se de forma inversa ao do NTK, como pode ser observado na FIGURA 18. Isto indica que houve uma variação significativa nos valores de nitrogênio total nos primeiros quinze dias.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 18 – Gráfico de acompanhamento da relação C/N nas leiras em compostagem na ETAPA 1.

A relação inicial (22/1) das LEIRAS é considerada para alguns autores relativamente baixa (KIEHL, 1985; HORWATH, 1996; STENTIFORD, 1996; GHOSH, KAPADNIS & SINGH, 2000). Outros autores descrevem que a relação pode permanecer em um intervalo de 20-70/1, dependendo do tipo de resíduo utilizado na compostagem. Valores abaixo de 20/1 podem tornar-se um fator crítico para a perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia nos processos de compostagem (KIEHL, 1985; ATKINSON, JONES & GAUTHIER, 1997; SHARMA et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; MADEJÓN et al., 2001; SÁNCHEZ et al., 2001; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002; TÍQUIA, RICAR & HONEYMAN, 2002).

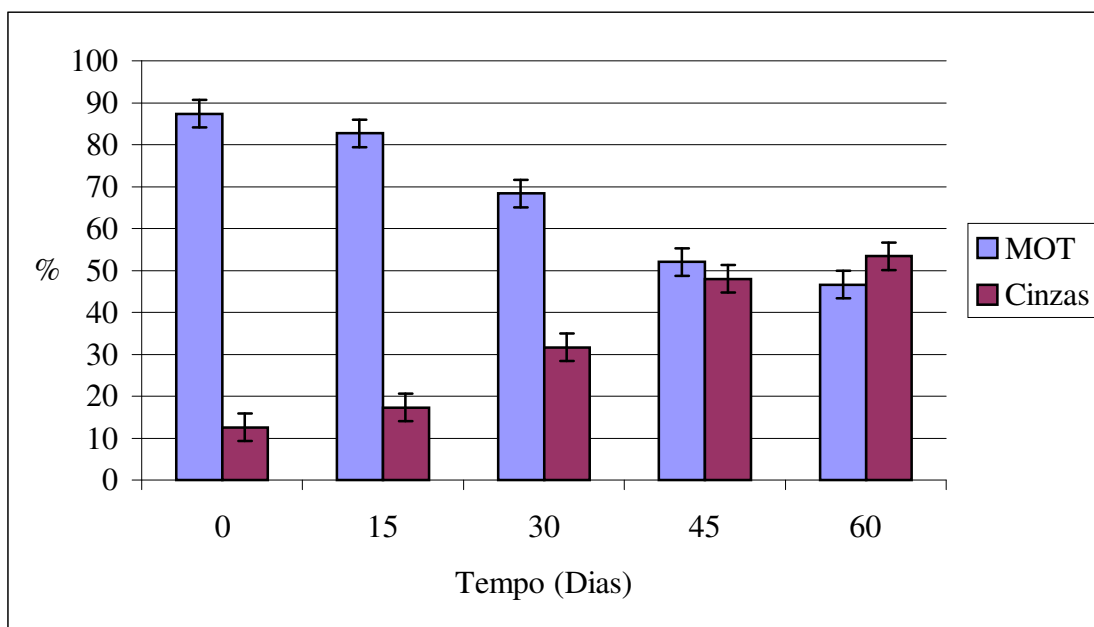
Na ETAPA 1, foi percebida a presença de amônia durante o acompanhamento diário da compostagem. Porém isto não impediu que o processo de bioestabilização se efetivasse.

No final da etapa de bioestabilização, a relação C/N das leiras permaneceu na faixa entre 16 e 17. Segundo alguns autores (BERNAL, 1997), o valor apresentado pode ser considerado alto para o índice de estabilidade, uma vez que propõem relações em torno de 12. Outros autores (KIEHL, 1985, SHARMA et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; SÁCHEZ et al., 2001) têm definido que uma relação abaixo de 18 indica a estabilização do composto.

3.5.7 Matéria Orgânica Total – MOT e Cinzas

Como é mostrado nas FIGURAS 19 e 20, ao longo do processo de bioestabilização ocorreu um descenso gradual do conteúdo de MOT nas LEIRAS 1 e 2, atingindo uma taxa final de redução em torno de 46,7% e 46,4%, respectivamente. Estes valores são esperados para este tipo de compostagem (MADEJÓN et al., 2001; TÍQUIA RICHARD & HONEYMAN, 2002; KOMILIS & HAM, 2003).

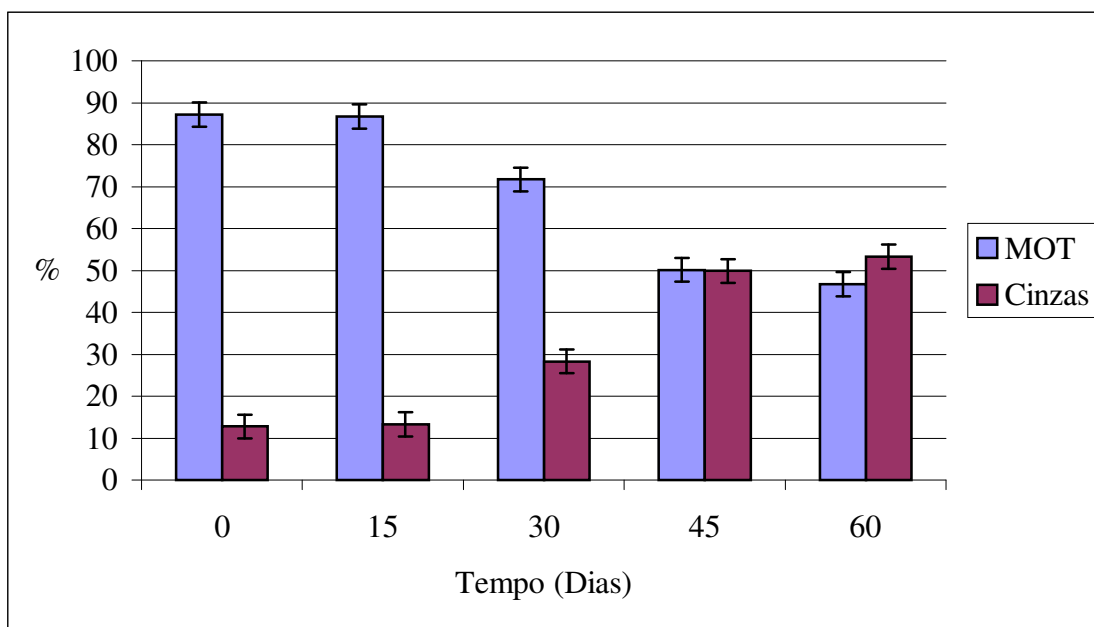
Nos primeiros quinze dias a redução do teor de cinzas é causada pelo elevado conteúdo de MOT e a má distribuição dos resíduos orgânicos. Na medida que a MOT é eliminada, principalmente, pela ação dos microorganismos, ocorre um aumento na concentração de cinzas. Os elevados valores de cinzas foram causados pelo excesso de areia contido no resíduo gorduroso e lodo biológico, proveniente dos leitos de secagem.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 19 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas nas leiras em compostagem na LEIRA 1.

A redução dos valores de MOT é causada principalmente pela transformação da fração de carboidratos da matéria orgânica em CO₂ pelo metabolismo microbiano (LANGENHOVE, BO & SMET, 1999; MADEJÓN et al., 2001). Um outro fator que contribui para a redução advém da geração de compostos orgânicos voláteis tais como: álcoois, ésteres, éteres e compostos sulfurados (LANGENHOVE, BO & SMET, 1999). A pequena quantidade de chorume gerado nas leiras também favoreceu a redução deste parâmetro. A perda de massa total em base seca, da LEIRA 1 e LEIRA 2, foi de 65,8 % e 68,8 %, respectivamente. No ANEXO B, é possível visualizar as etapas de decomposição de uma LEIRA em triplicata.



Valores médios para n = 3.

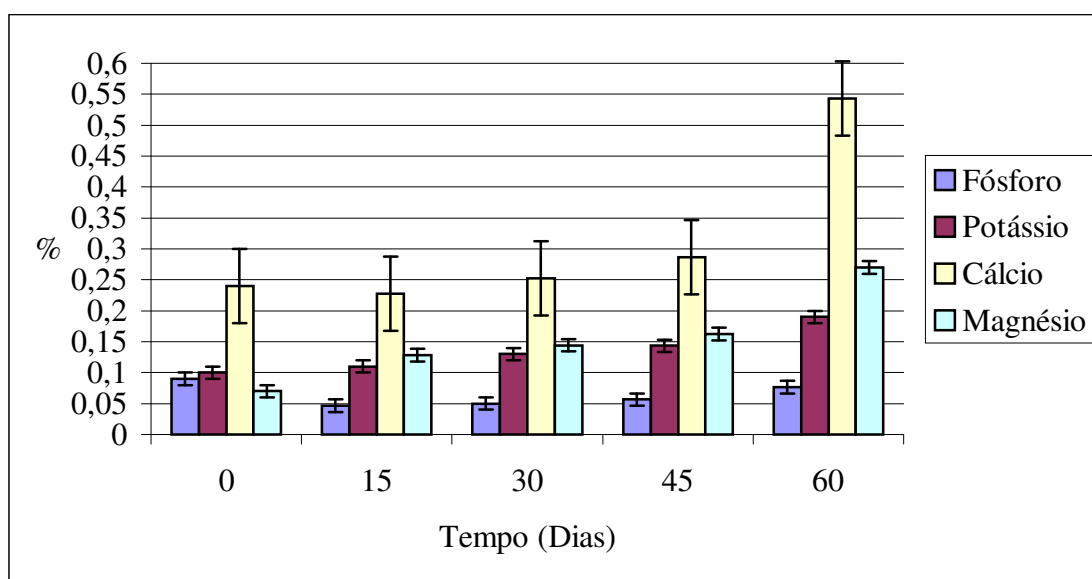
FIGURA 20 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e cinzas nas leiras em compostagem na LEIRA 2.

Grande parte da massa perdida está relacionada com a quantidade de resíduo celulósico degradado pela atividade hidrolítica dos microorganismos, o que ocorre durante o processo de compostagem. Isto pode ser explicado pelo baixo conteúdo de lignina nas LEIRAS, uma vez que lignina em grandes quantidades diminui a superfície de contato do material celulósico, impedindo o acesso de microorganismos e enzimas (MADEJÓN, et al., 2001; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002; KOMILIS & HAM, 20003).

Outra parte da massa eliminada está relacionada com a hidrólise dos resíduos gordurosos através de microorganismos e enzimas lipolíticas, produzindo glicerol e ácidos graxos livres. A oxidação do glicerol ocorre de maneira análoga a dos carboidratos. Já os ácidos graxos envolvem uma seqüência de reações conhecidas como beta-oxidação (FORSTER & WAKELIN, 1997; MATSUMURA & NAKANO, 2001).

3.5.8 Macronutrientes (P, K, Ca e Mg)

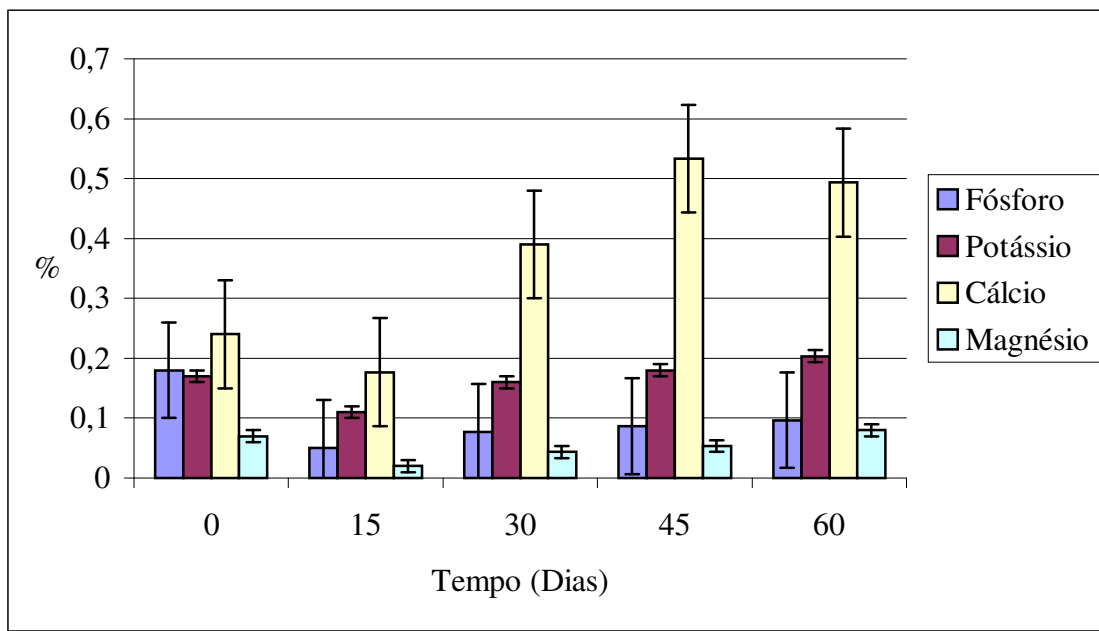
Observando-se a FIGURA 21, após o estágio de bioestabilização houve um aumento nas concentrações finais dos macronutrientes, com exceção do fósforo. O acréscimo na concentração para potássio, cálcio e magnésio foi de 90%, 125% e 285% respectivamente. Enquanto que, a concentração final do fósforo sofreu uma redução de 11% em relação a sua concentração inicial.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 21 – Gráfico de acompanhamento dos macronutrientes da LEIRA 1.

Na FIGURA 22, o comportamento dos macronutrientes da LEIRA 2 nos primeiros quinze dias apresentou uma redução nas suas concentrações, devido a quantidade de matéria orgânica presente na LEIRA e da dificuldade de homogeneização. A tendência final dos macronutrientes em relação a concentração ocorreu de forma semelhante à LEIRA 1. Potássio, cálcio e magnésio tiveram um ganho em suas concentrações de 17%, 104% e 14% respectivamente. A taxa de redução da concentração para o fósforo foi de 44%.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 22 – Gráfico de acompanhamento dos macronutrientes da LEIRA 2.

Os macronutrientes nas leiras desempenham um importante papel na compostagem, pois quando disponíveis são rapidamente assimilados e imobilizados pelos microorganismos (TAM, TÍQUIA & VRIJMOED, 1996). Uma vez que a forma disponível para fósforo, potássio e magnésio não é volátil, as eventuais perdas podem ser atribuídas pelo escoamento destes elementos durante a adição de água nas leiras, bem como por arraste no chorume gerado (TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002). O comportamento diferenciado do cálcio em relação aos demais nutrientes, pode ser explicado pela sua maior resistência a processos de lixiviação devido a formação de carbonatos insolúveis.

3.6 Caracterização do composto obtido na ETAPA 2

A ETAPA 2 caracteriza-se pela menor frequência de revolvimento (três dias). O que acarretou diferenças significativas no comportamento dos parâmetros de NTK, umidade e relação C/N. No QUADRO 3, estão representadas as quantidades de resíduos sólidos utilizados para LEIRA 3 e LEIRA 4.

QUADRO 3 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 3 e 4.

Matéria – prima	Leira 3	Leira 4
RC (kg)	110	110
RG (Kg)	30	30
LB (Kg)	30	30
RB (kg)	-	10
Total (Kg)	170	180

Quantidades utilizadas conforme TABELA 5. Onde: RC = Resíduo Celulósico; RG = Resíduo Gorduroso; LB = Lodo Biológico; RB = Rúmen Bovino.

As TABELAS 13 e 14 apresentam os percentuais de formulação para as LEIRAS. O período dos experimentos foi de dois meses: julho e agosto de 2003.

TABELA 13 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 3

Parâmetro	RC	LB	RG	Total	%
COT (kg)	48,07 ± 0,26	6,41 ± 0,79	15,59 ± 2,30	70,07 ± 1,12	41,22 ± 1,12
NTK (kg)	0,14 ± 0,01	1,00 ± 0,36	0,48 ± 0,14	1,62 ± 0,17	0,95 ± 0,17
Relação C/N	343,4	6,41	32,5	45,5	43,4
Umidade (kg)	64,21 ± 0,72	25,17 ± 1,65	2,86 ± 0,33	92,24 ± 0,90	54,26 ± 0,90
MOT (kg)	108,74 ± 0,22	15,87 ± 1,07	22,15 ± 0,16	146,76 ± 0,48	86,33 ± 0,48
Cinzas (kg)	1,27 ± 0,22	14,21 ± 1,07	7,83 ± 0,16	23,31 ± 0,48	0,14 ± 0,48
P Total (kg)	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,02
K (kg)	0,10 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,19 ± 0,00	0,11 ± 0,00
Ca (kg)	0,04 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,24 ± 0,08	0,44 ± 0,04	0,26 ± 0,04
Mg (kg)	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,04 ± 0,03
S (kg)	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,00	0,05 ± 0,00
Fe (kg)	0,04 ± 0,01	0,18 ± 0,10	0,10 ± 0,01	0,32 ± 0,04	0,19 ± 0,04
Na (kg)	0,66 ± 0,03	0,12 ± 0,06	0,03 ± 0,00	0,81 ± 0,00	0,48 ± 0,00
Zn (kg)	0,15 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,02 ± 0,00	0,18 ± 0,02	0,11 ± 0,02
pH	6,80 ± 0,00	7,43 ± 1,08	5,40 ± 0,75	6,54 ± 0,61	

Onde: RC = Resíduo Celulósico; LB = Lodo Biológico; RG = Resíduo Gorduroso; RB = Rúmen Bovino; COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; MOT = Matéria Orgânica Total; Valores médios para n = 3.

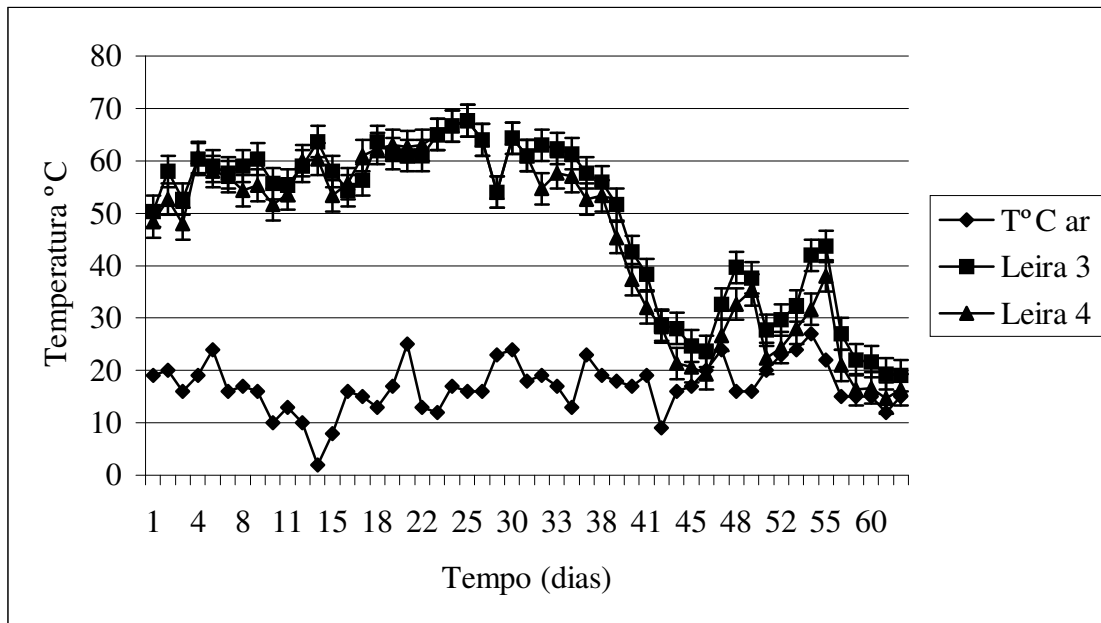
TABELA 14 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 4

Parâmetro	RC	LB	RG	RB	Total	%
COT (Kg)	48,07 ± 0,26	6,41 ± 0,79	15,59 ± 2,30	3,58 ± 0,36	73,65 ± 0,93	40,92 ± 0,93
NTK (Kg)	0,14 ± 0,01	1,00 ± 0,36	0,48 ± 0,14	0,09 ± 0,05	1,71 ± 0,14	0,95 ± 0,14
C/N	343,4	6,41	32,5	39,77	43,10	43,10
Umid. (Kg)	64,21 ± 0,72	25,17 ± 1,65	2,86 ± 0,33	8,63 ± 0,53	100,87 ± 0,81	56,04 ± 0,81
MOT (Kg)	108,74 ± 0,22	15,87 ± 1,07	22,15 ± 0,16	8,89 ± 0,23	155,65 ± 0,42	86,47 ± 0,42
Cinzas (Kg)	1,27 ± 0,22	14,21 ± 1,07	7,83 ± 0,16	1,11 ± 0,23	24,48 ± 0,42	0,14 ± 0,42
P Total (Kg)	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,06 ± 0,02
K (Kg)	0,10 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,13 ± 0,01
Ca (Kg)	0,04 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,24 ± 0,08	0,02 ± 0,01	0,46 ± 0,04	0,26 ± 0,04
Mg (Kg)	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,08 ± 0,01	0,04 ± 0,01
S (Kg)	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Fe (Kg)	0,04 ± 0,01	0,18 ± 0,10	0,10 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,35 ± 0,03	0,19 ± 0,03
Na (Kg)	0,66 ± 0,03	0,12 ± 0,06	0,03 ± 0,00	0,16 ± 0,09	0,89 ± 0,05	0,49 ± 0,05
Zn (Kg)	0,15 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,22 ± 0,02	0,12 ± 0,02
pH	6,80 ± 0,00	7,43 ± 1,08	5,40 ± 0,75	7,43 ± 0,14	6,77	

Onde: RC = Resíduo Celulósico; LB = Lodo Biológico; RG = Resíduo Gorduroso; RB = Rúmen Bovino; COT = Carbono Orgânico Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl; Umid. = Umidade; MOT = Matéria Orgânica Total; Valores médios para n = 3.

Nas FIGURAS 23, 24, e 25, observa-se comportamento de tendências idênticas aquelas descritas e explicadas na ETAPA 1.

3.6.1 Temperatura

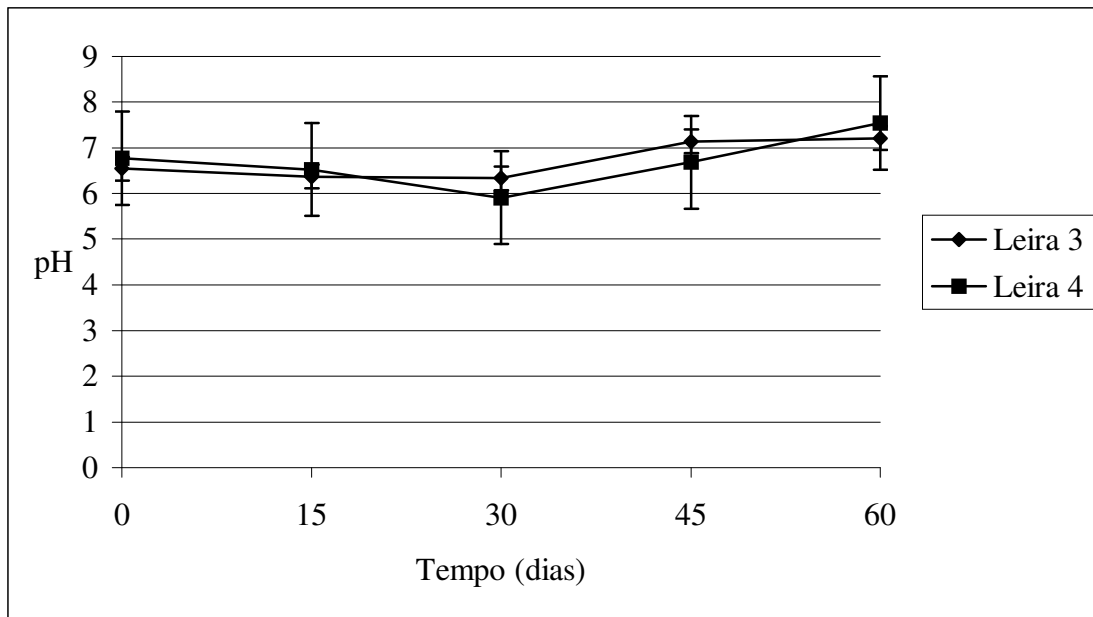


Valores médios para $n = 3$.

FIGURA 23 – Gráfico de acompanhamento das temperaturas das leiras em compostagem na ETAPA 2.

Após a sexta semana, iniciou-se o descenso gradual do perfil da temperatura em todas as leiras (fase mesófila), devido à baixa atividade microbiana pela falta de substrato de fácil assimilação (SÁNCHEZ et al., 2001), se aproximando da temperatura ambiente.

3.6.2 pH

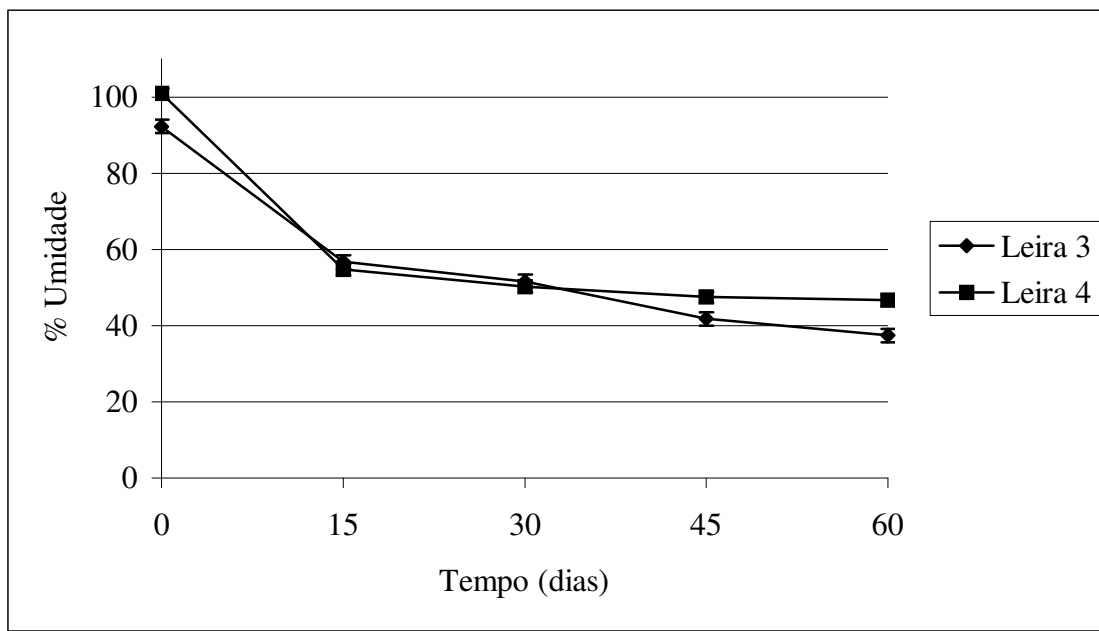


Valores médios para n = 3.

FIGURA 24 – Gráfico de acompanhamento dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 2.

3.6.3 Umidade

Exceto os valores iniciais de umidade das leiras, durante todo o processo de bioestabilização manteve-se entre 40 % e 60 % conforme FIGURA 25. A distribuição do conteúdo de umidade comportou-se de forma semelhante a ETAPA 1.

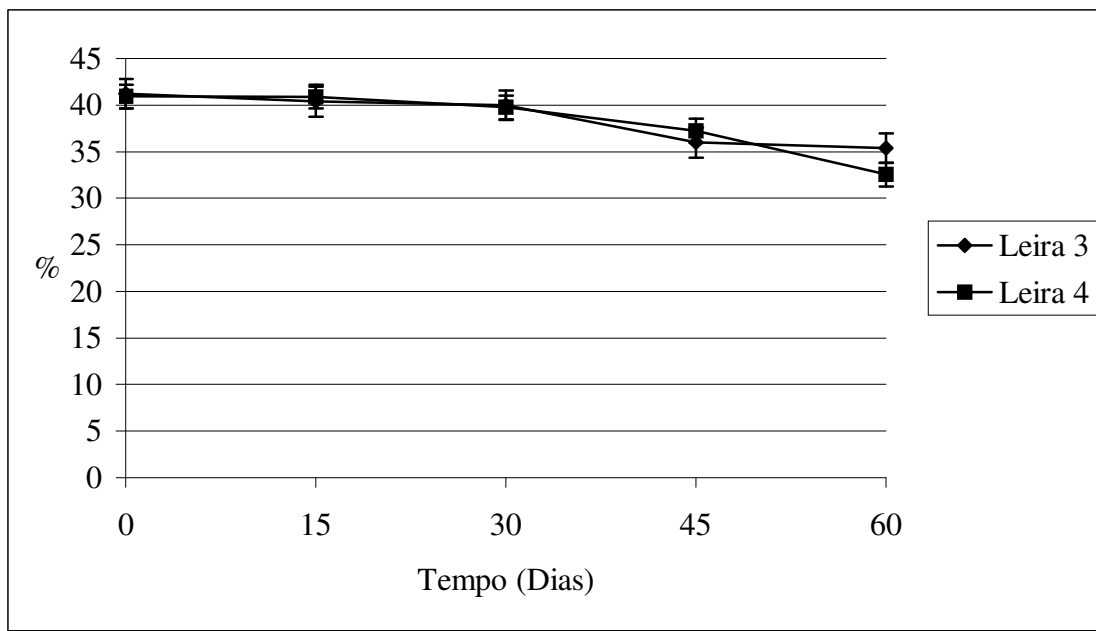


Valores médios para n = 3.

FIGURA 25 – Gráfico de acompanhamento dos valores de umidade das leiras em compostagem na ETAPA 2.

3.6.4 Carbono Orgânico Total - COT

A variação do conteúdo de COT do material bioestabilizado de cada LEIRA apresentou similaridade, conforme é mostrada na FIGURA 26. Nos primeiros trinta dias ambas as leiras mantiveram os seus valores de COT muito próximos aos valores iniciais. Este fato pode ser explicado pela presença de um grande volume de matéria orgânica nas LEIRAS. A partir do trigésimo dia, o processo de bioestabilização comportou-se de forma gradual atingindo uma taxa final de 14% para a LEIRA 1 e 20% para a LEIRA 2.



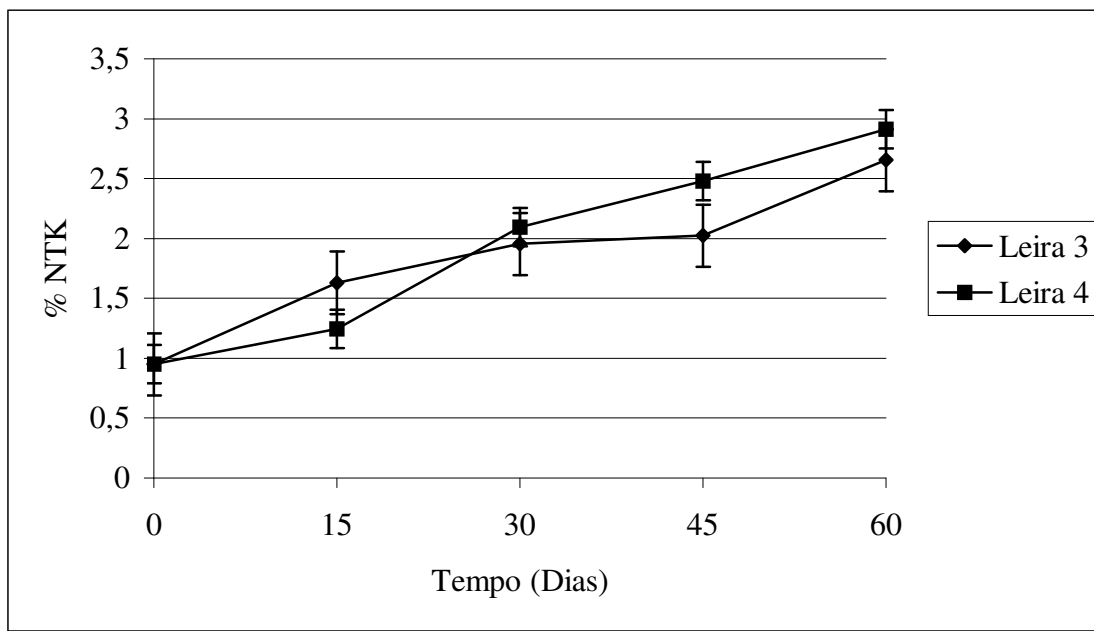
Valores médios para n = 3.

FIGURA 26 – Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA 2.

A variação do conteúdo de COT do material bioestabilizado de cada LEIRA apresentou similaridade, conforme é mostrada na FIGURA 26. Nos primeiros trinta dias ambas as leiras mantiveram os seus valores de COT muito próximos aos valores iniciais. Este fato pode ser explicado pela presença de um grande volume de matéria orgânica nas LEIRAS. A partir do trigésimo dia, o processo de bioestabilização comportou-se de forma gradual atingindo uma taxa final de 14% para a LEIRA 1 e 20% para a LEIRA 2.

3.6.5 Nitrogênio Total – NT

De acordo com a FIGURA 27, os valores iniciais de nitrogênio para as leiras situaram-se na faixa entre 1,6 % - 1,7 %.



Valores médios para n = 3.

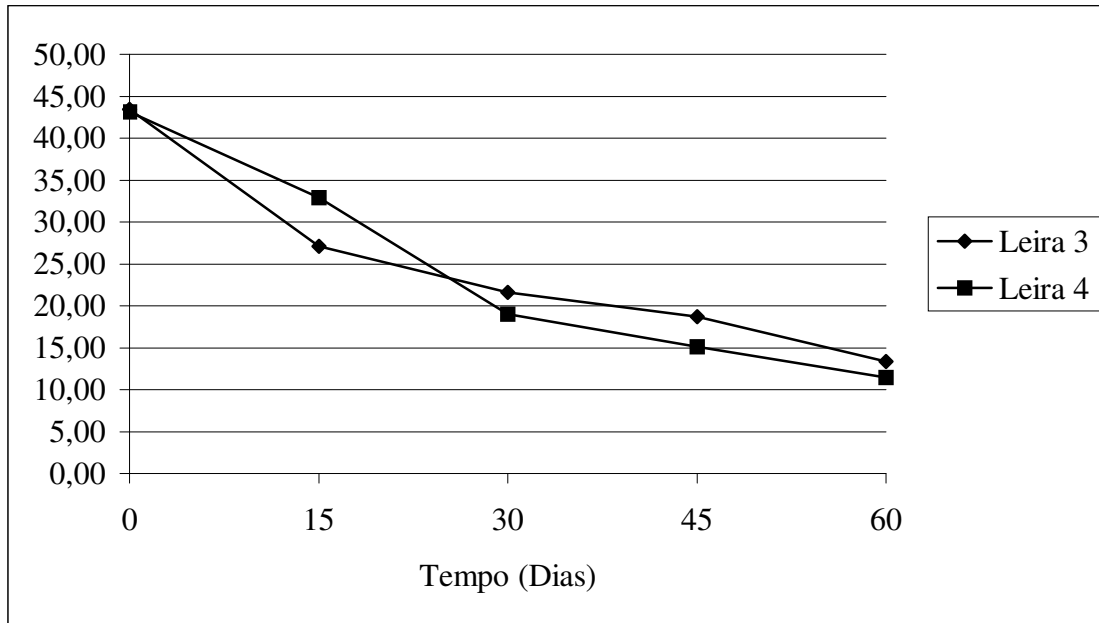
FIGURA 27 – Gráfico de acompanhamento dos valores de NTK nas leiras em compostagem na ETAPA 2.

O conteúdo final de NTK nas LEIRAS 3 e 4 foram de 2,65 % e 2,91 % respectivamente, representando que a concentração final atingiu, aproximadamente, 2,5 vezes a mais em relação a teor inicial deste nutriente nas LEIRAS. Nesta ETAPA, não foi percebida a presença de amônia durante o acompanhamento diário da compostagem.

3.6.6 Avaliação da relação C/N

Observando-se a FIGURA 28, o comportamento da relação C/N das LEIRAS apresentou-se de forma coerente com a literatura (KIEHL, 1985; STENTIFORD, 1996; SHARMA et al., 1997). Para alguns autores, uma compostagem com uma relação em torno de 43/1 e bem conduzida, favorece a velocidade do processo, bem como evita problemas com a volatilização da amônia. (ATKINSON, JONES & GAUTHIER, 1997; FERNANDES &

SILVA, 1999; MADEJÓN, et al., 2001; SÁNCHEZ, et al., 2001; BEAUCHAMP & CHAREST, 2002).



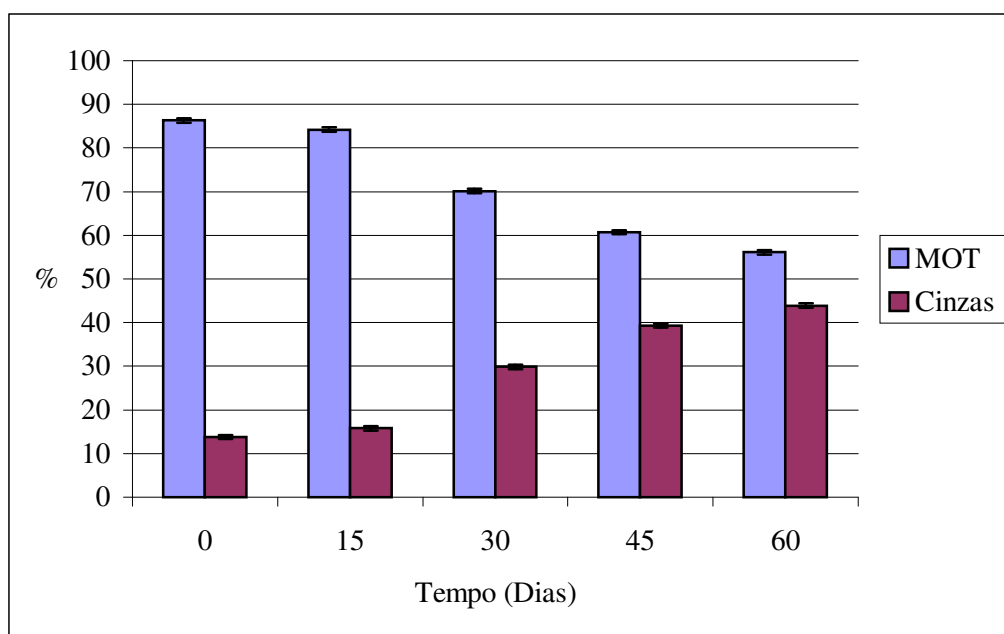
Valores médios para n = 3.

FIGURA 28 – Gráfico de acompanhamento dos valores de C/N nas leiras em compostagem na ETAPA 2.

No final da etapa de bioestabilização, a relação C/N das LEIRAS 3 e 4 atingiu valores de 13,4 e 11,4 respectivamente. Segundo alguns autores (BERNAL, 1997), os valores apresentados podem ser considerados satisfatórios para o índice de estabilidade, uma vez que propõem relações em torno de 12. Outros autores (KIEHL, 1985, SHARMA, et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; SÁNCHEZ, et al., 2001) têm definido que uma relação abaixo de 18 indica a estabilização do composto.

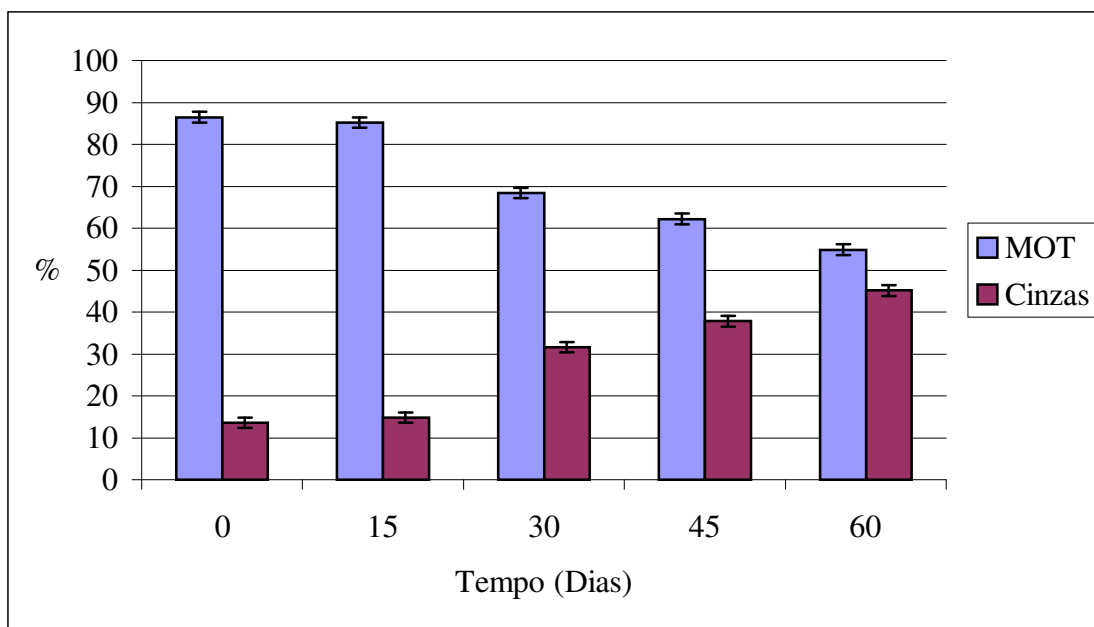
3.6.7 Matéria Orgânica Total – MOT e Cinzas

Como é mostrado nas FIGURAS 29 e 30, ao longo do processo de bioestabilização ocorreu um descenso gradual do conteúdo de MOT nas LEIRAS 3 e 4, atingindo uma taxa final de redução em torno de 35,0% e 36,5% respectivamente. Estes valores são esperados para este tipo de compostagem (MADEJÓN et al., 2001; TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002; KOMILIS & HAM, 2003). Os valores de cinzas apresentam um comportamento idêntico a ETAPA1, bem como os elevados valores de cinzas foram causados pelo excesso de areia contido no resíduo gorduroso e lodo biológico, proveniente dos leitos de secagem. A pequena quantidade de chorume gerado nas leiras também favoreceu a redução deste parâmetro. A perda de massa total em base seca da LEIRA 3 e LEIRA 4 foi de 94,9 % e 91,4, % respectivamente.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 29 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e Cinzas da LEIRA 3.

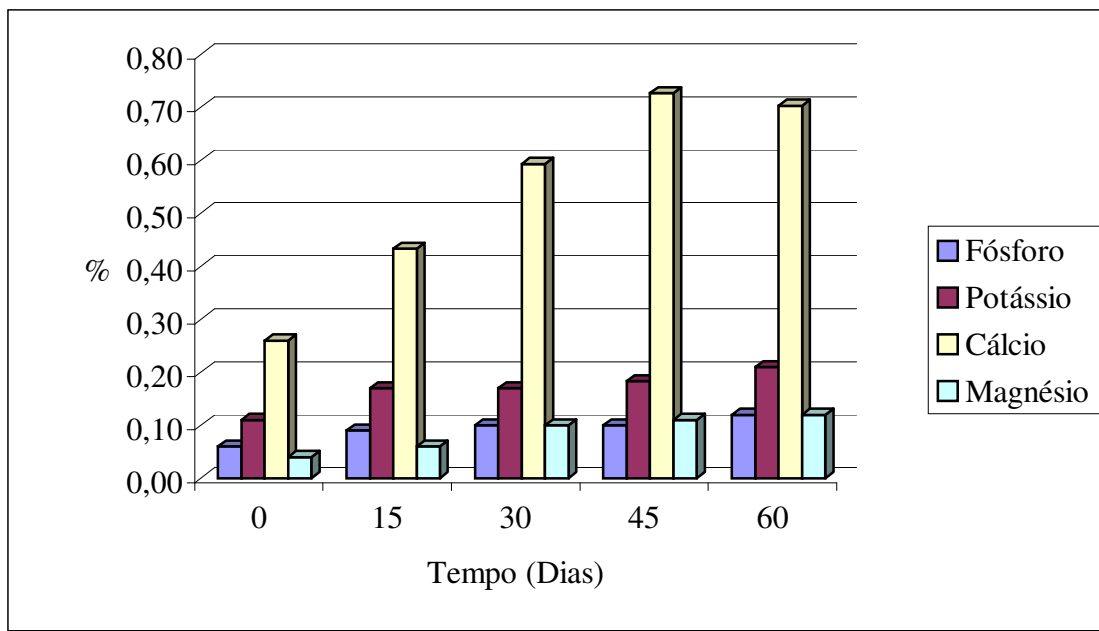


Valores médios para n = 3.

FIGURA 30 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e Cinzas da LEIRA 4.

3.6.8 Macronutrientes (P, K, Ca e Mg)

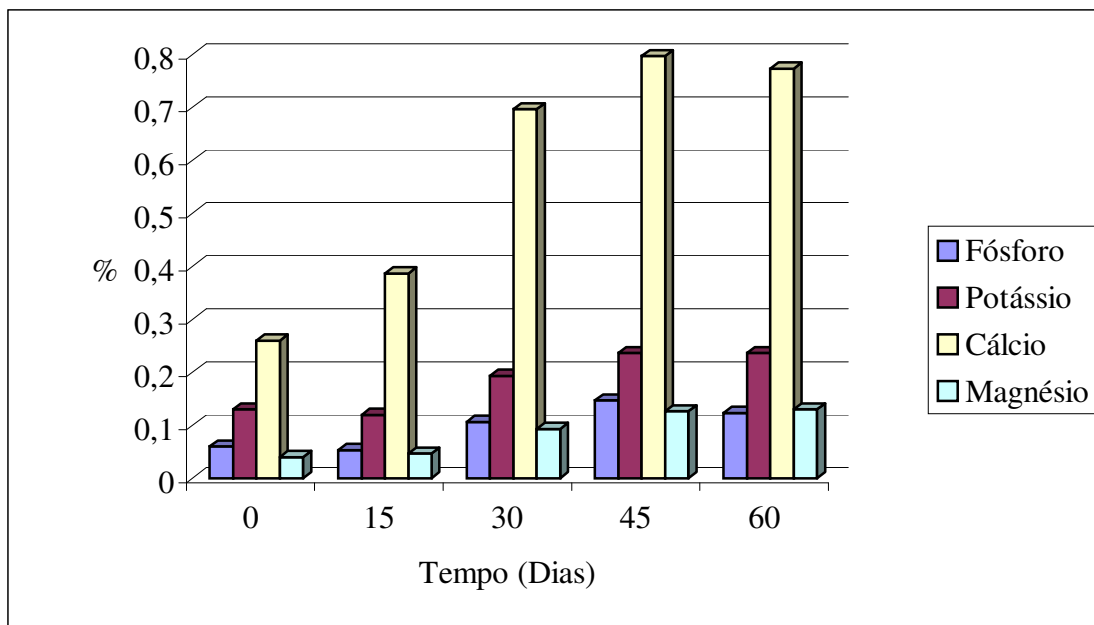
Observando-se a FIGURA 31 e 32, todos os macronutrientes apresentaram um comportamento muito similar entre as LEIRAS durante o estágio de bioestabilização. Na LEIRA 3, os valores iniciais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram de 0,06%, 0,11%, 0,26% e 0,04% respectivamente. Ao final do estágio de bioestabilização houve um acréscimo nas suas concentrações na ordem de 100%, 91%, 170% e 200% respectivamente.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 31 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 3.

Enquanto que, na LEIRA 4, os valores iniciais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram de 0,06%, 0,13%, 0,26% e 0,04%, respectivamente. Ao final do estágio de bioestabilização houve um acréscimo nas suas concentrações na ordem de 100%, 85%, 200% e 200%, respectivamente. O ganho obtido na concentração dos macronutrientes nesta ETAPA pode estar relacionado com a frequência de revolvimento (TÍQUIA, RICHARD & HONEYMAN, 2002).

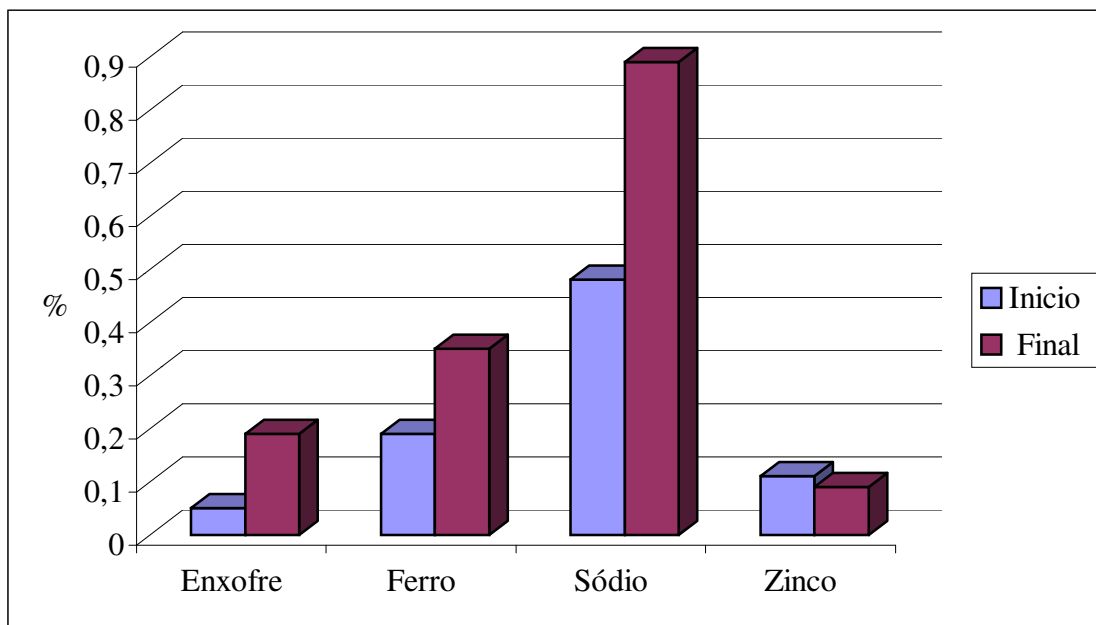


Valores médios para n = 3.

FIGURA 32 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 4.

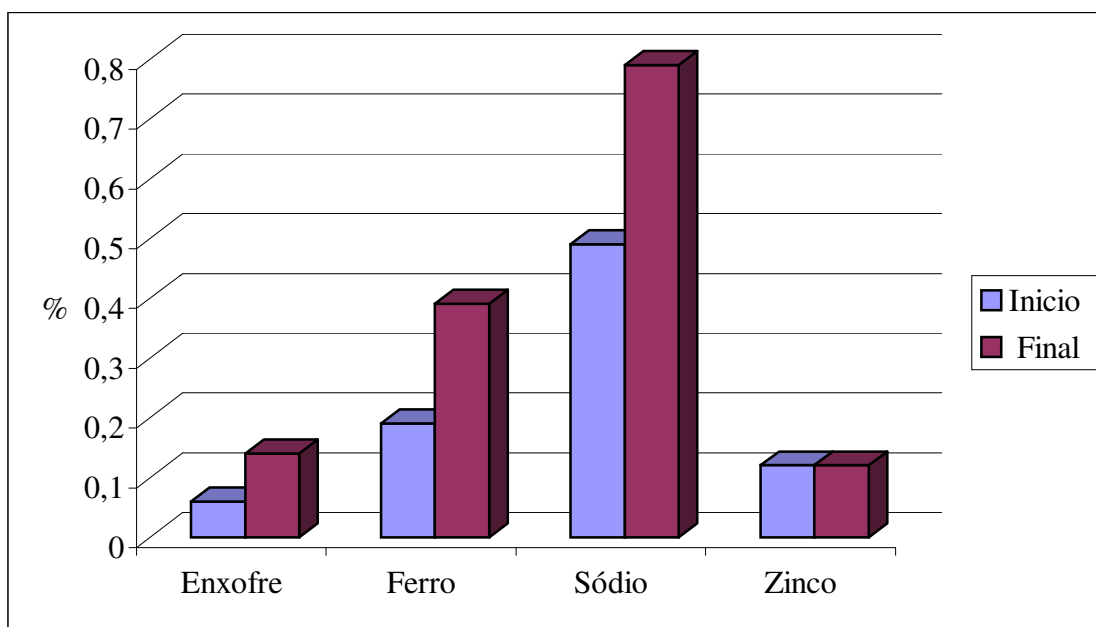
3.6.9 Micronutrientes (S, Fe, Na e Zn)

Analisando os valores dos micronutrientes na FIGURA 33 e 34, os valores dos micronutrientes comportam-se de maneira semelhante em ambas as LEIRAS. Verifica-se que apenas o zinco apresentou redução na sua concentração final em 12% na LEIRA 3. O comportamento da concentração de zinco não encontra explicação com respaldo na literatura.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 33 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos micronutrientes na LEIRA 3.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 34 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos micronutrientes na LEIRA 4.

3.7 Caracterização do composto obtido na ETAPA 3

A ETAPA 3 caracterizou-se por diferenças em relação somente ao teor de umidade, quando comparada com as ETAPAS 1 e 2. O parâmetro umidade revelou valores limítrofes segundo a literatura (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD, 2002). Os demais parâmetros apresentaram comportamento análogo a ETAPA 2. O acompanhamento quinzenal nos diversos estágios de estabilização auxiliaram na análise do processo de bioestabilização, a eficiência do processo e a qualidade do composto obtido. Os valores dos micronutrientes foram avaliados no início da compostagem e no final da etapa de bioestabilização.

No QUADRO 4, estão representadas as quantidades de resíduos sólidos utilizados para LEIRA 5 e LEIRA 6.

QUADRO 4 – Relação das quantidades de resíduos sólidos empregados nas LEIRAS 5 e 6.

Matéria – prima	Leira 5	Leira 6
RC (kg)	110	110
RG (Kg)	30	30
LB (Kg)	30	30
Total (Kg)	170	170

Quantidades utilizadas conforme TABELA 5. Onde: RC = Resíduo Celulósico; RG = Resíduo Gorduroso; LB = Lodo Biológico.

O período deste experimento compreendeu dois meses: outubro e novembro de 2003.

Na TABELA 15 estão representados os valores iniciais de cada leira.

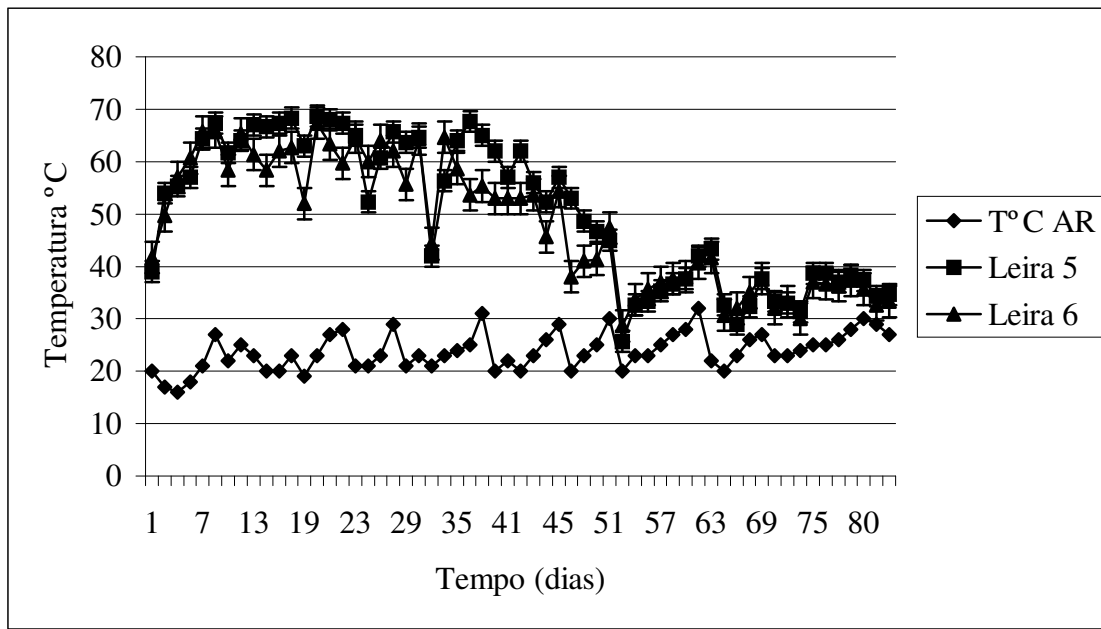
TABELA 15 – Descrição das quantidades de substratos utilizados na LEIRA 5 e 6

Parâmetro	RC	LB	RG	Total	%
COT (%)	43,44 ± 0,38	9,00 ± 0,62	18,36 ± 2,62	70,80 ± 1,21	41,65 ± 1,21
N Total (%)	0,22 ± 0,10	1,41 ± 0,26	0,64 ± 0,26	2,27 ± 0,21	1,34 ± 0,21
Relação C/N	197,5	6,38	28,7	31,2	31,1
Umidade (%)	39,69 ± 0,98	25,42 ± 0,12	6,54 ± 0,17	71,65 ± 0,42	42,15 ± 0,42
MOT (%)	108,52 ± 0,10	20,45 ± 0,39	22,41 ± 1,71	151,38 ± 0,73	89,05 ± 0,73
Cinzas (%)	1,41 ± 0,10	9,49 ± 0,39	7,39 ± 1,71	18,29 ± 0,73	10,76 ± 0,73
P Total (%)	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,05	0,02 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,07 ± 0,02
K (%)	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,02 ± 0,06	0,20 ± 0,02	0,12 ± 0,02
Ca (%)	0,01 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,36 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Mg (%)	0,02 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,07 ± 0,00
S (%)	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,03	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,05 ± 0,02
Fe (%)	0,04 ± 0,01	0,18 ± 0,05	0,10 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,19 ± 0,02
Na (%)	0,66 ± 0,03	0,08 ± 0,06	0,03 ± 0,00	0,73 ± 0,03	0,43 ± 0,03
Zn (%)	0,15 ± 0,03	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,18 ± 0,01	0,11 ± 0,01
pH	6,8 ± 0,88	7,43 ± 0,95	5,4 ± 0,42	6,54 ± 0,75	

Onde: RC = Resíduo Celulósico; LB = Lodo Biológico; RG = Resíduo Gorduroso; RB = Rúmen Bovino; COT = Carbono Orgânico Total; MOT = Matéria Orgânica Total; ND = Não Determinado; Valores médios para n = 3.

3.7.1 Temperatura

A temperatura das LEIRAS 5 e 6 variou como é mostrado na FIGURA 35. A etapa mesofílica foi muito rápida em todas as leiras no máximo 48 horas. A fase termofílica nas leiras permaneceu por 6 semanas, apresentando uma temperatura máxima de 68°C para ambas e uma temperatura média manteve-se de 62°C e 58°C respectivamente. Estes patamares de temperatura atingem critérios de uma boa qualidade sanitária para o composto obtido (STRAUCH, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999).

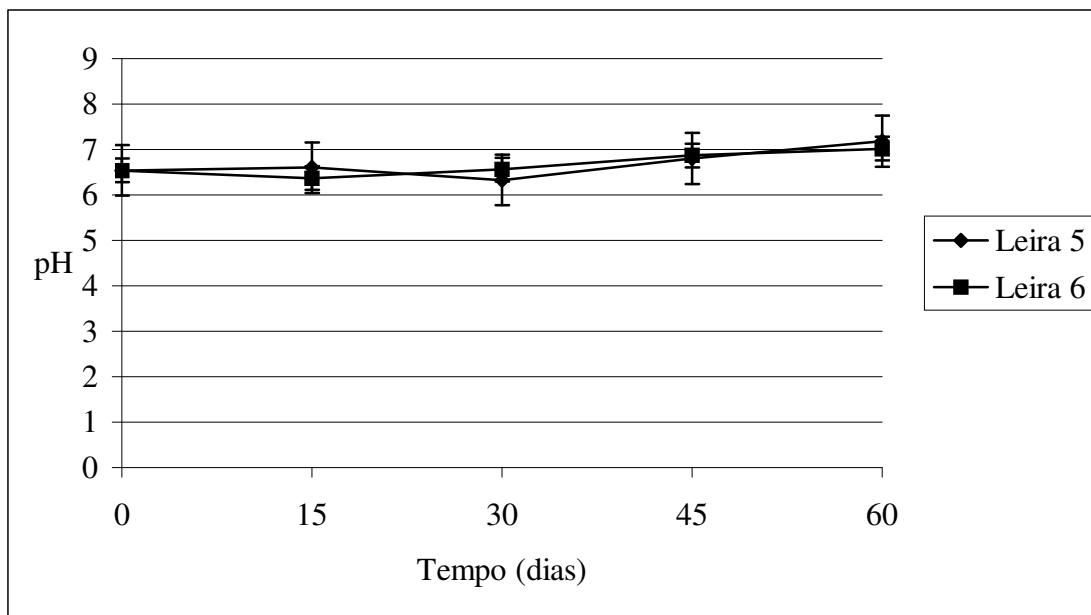


Valores médios para n = 3.

FIGURA 35 – Gráfico de acompanhamento das temperaturas das leiras em compostagem na ETAPA 3.

As quedas de temperatura durante a fase termófila foram causadas pela falta de umidade nas leiras. A recuperação da fase termófila ocorria logo depois do revolvimento e adição de água.

3.7.2 pH



Valores médios para n = 3.

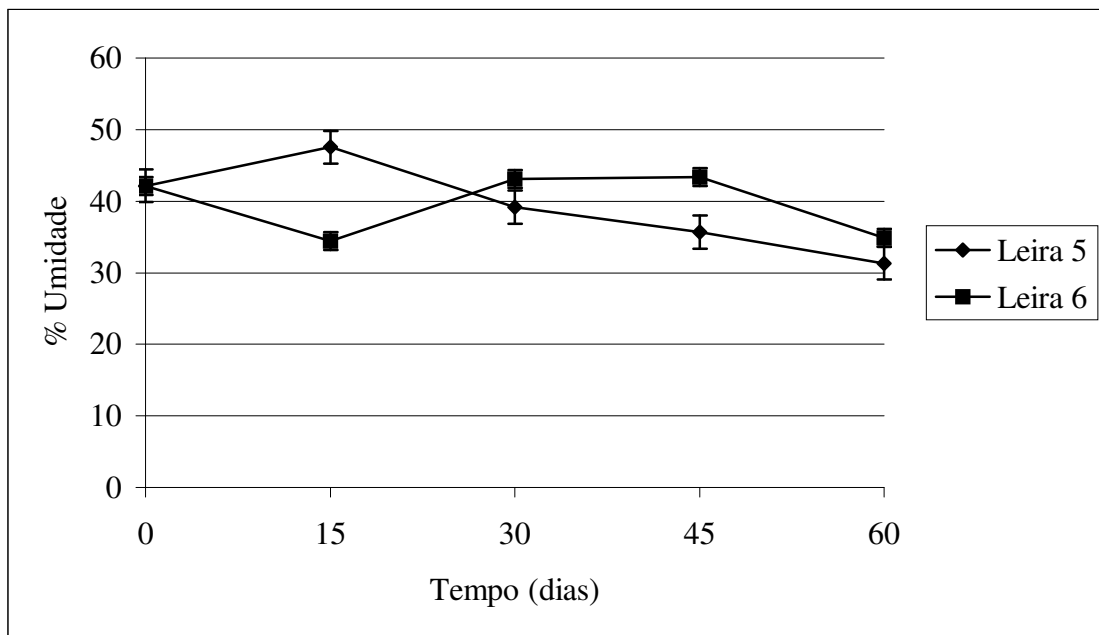
FIGURA 36 – Gráfico de acompanhamento dos valores de pH nas leiras em compostagem na ETAPA 3.

O comportamento dos valores de pH observados na FIGURA 36 revela que o valor mais ácido ocorreu na metade do período da compostagem para a LEIRA 5, enquanto que para a LEIRA 6, ocorreu nos primeiros 15 dias.

3.7.3 Umidade

Observando a FIGURA 37, os valores de umidade das LEIRAS durante todo o processo de bioestabilização mantiveram-se numa faixa (30 % e 50 %) considerado limite por

alguns autores (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999). A adição de água em cada leira era de 5 Litros e ocorria duas vezes por semana durante o processo de revolvimento.

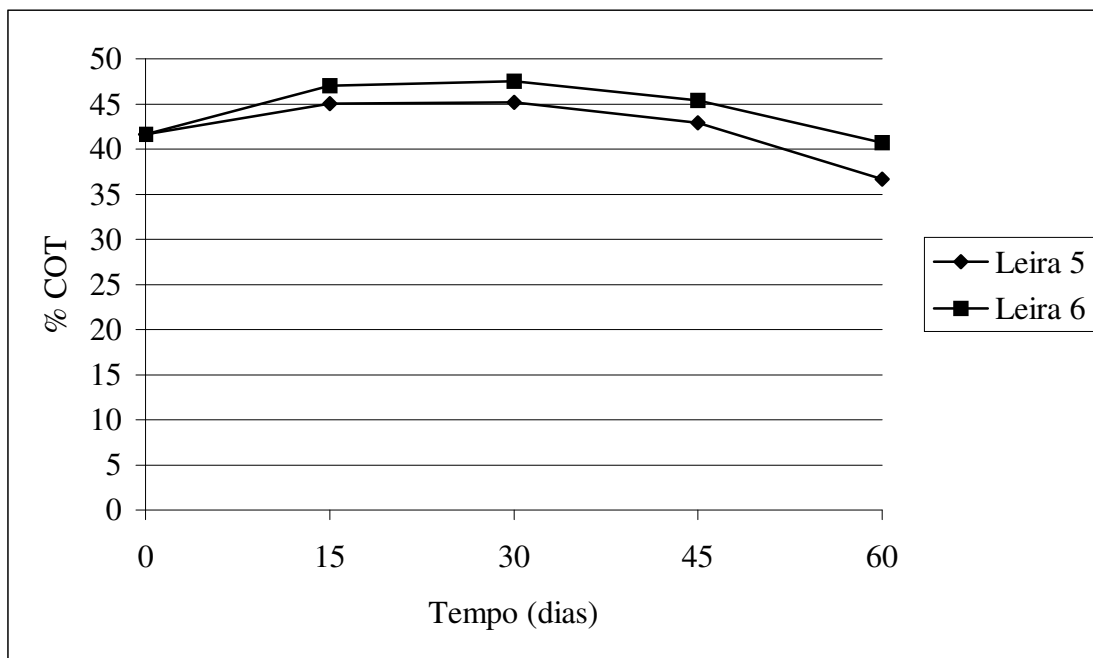


Valores médios para n = 3.

FIGURA 37 – Gráfico de acompanhamento dos valores de umidade nas leiras em compostagem na ETAPA 3.

3.7.4 Carbono Orgânico Total - COT

A variação do conteúdo de COT do material bioestabilizado de cada LEIRA apresentou similaridade, conforme é mostrada na FIGURA 38. Nos quarenta e cinco dias ambas as leiras apresentaram uma rápida elevação nos valores de COT em relação ao valor inicial, a taxa de redução do conteúdo de COT nas LEIRAS 5 e 6 foi de 12 % e 2,3 %, respectivamente. Esses valores podem estar vinculados a geração de novos microrganismos bem como em um composto bioestabilizado.

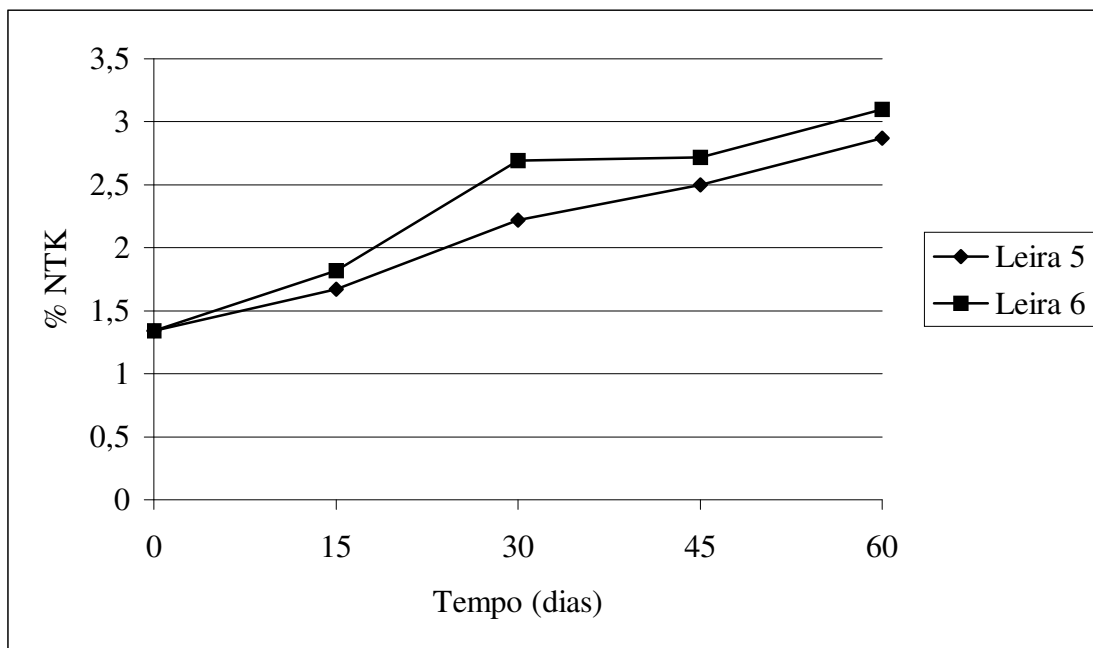


Valores médios para n = 3.

FIGURA 38 – Gráfico de acompanhamento dos valores de COT nas leiras em compostagem na ETAPA 3.

3.7.5 Nitrogênio Total – NT

O ganho final de NTK nas LEIRAS 5 e 6 praticamente dobraram. Nesta ETAPA, não foi percebida a presença de amônia durante o acompanhamento diário da compostagem.

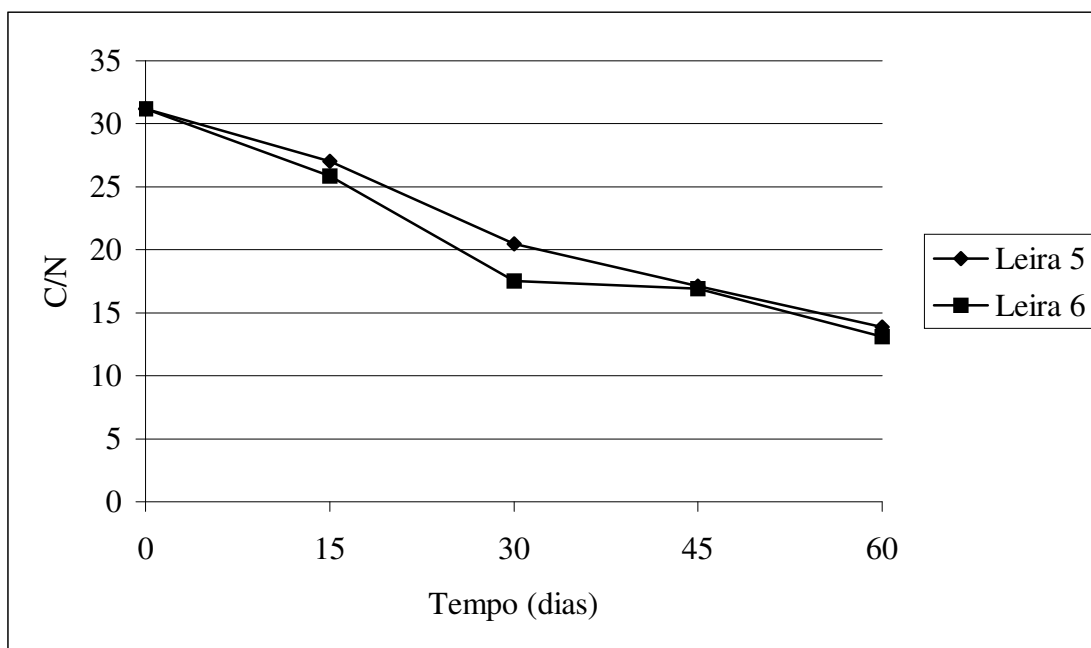


Valores médios para n = 3.

FIGURA 39 – Gráfico de acompanhamento dos valores de NT nas leiras em compostagem na ETAPA 3.

3.7.6 Avaliação da relação C/N

No final da etapa de bioestabilização, a relação C/N das LEIRAS 5 e 6 representados na FIGURA 40, atingiu valores de 13,1 e 13,9, respectivamente. Segundo alguns autores (BERNAL, 1997), os valores apresentados podem ser considerados satisfatórios para o índice de estabilidade, uma vez que propõem relações em torno de 12. Outros autores (KIEHL, 1985, SHARMA, et al., 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; SÁNCHEZ, et al., 2001) têm definido que uma relação abaixo de 18 indica a estabilização do composto.

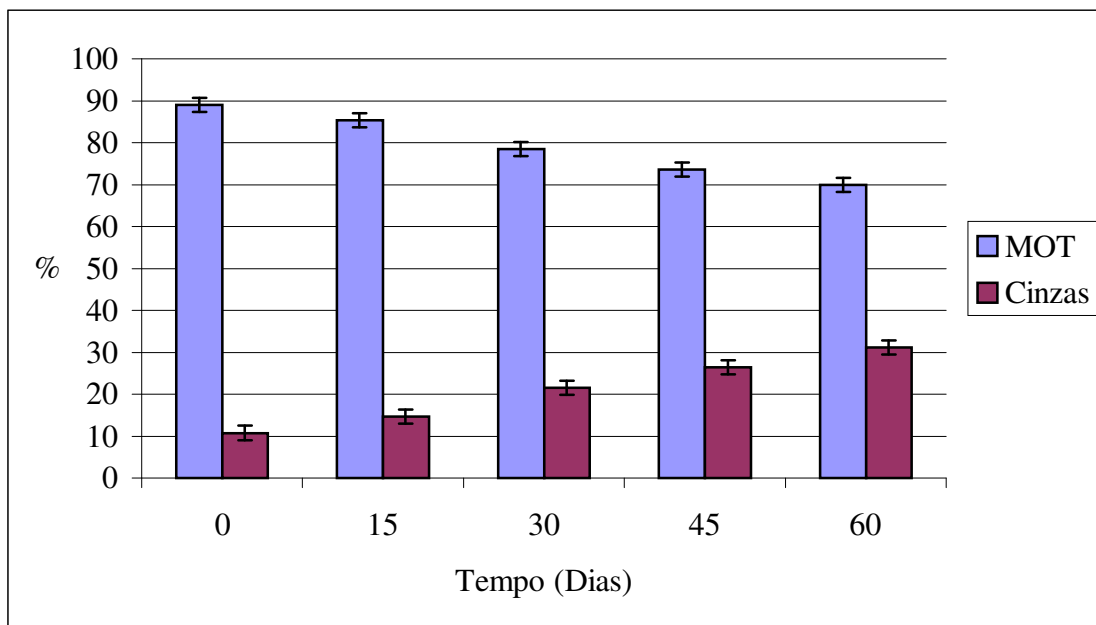


Valores médios para n = 3.

FIGURA 40 – Gráfico de acompanhamento dos valores de C/N nas leiras em compostagem na ETAPA 3.

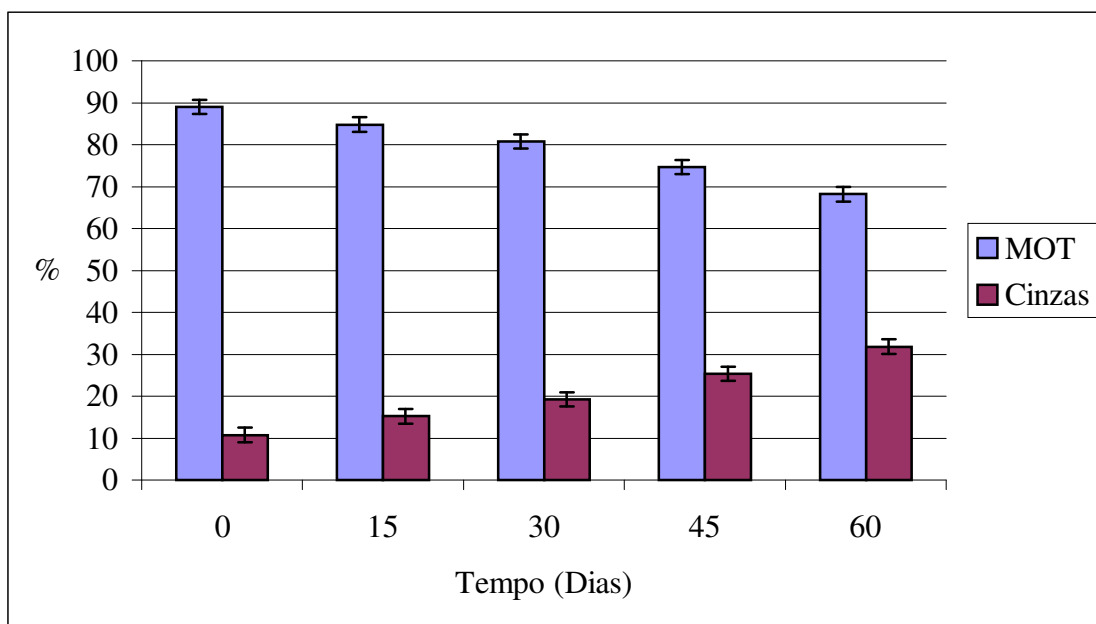
3.7.7 Matéria Orgânica Total – MOT e Cinzas

Nas FIGURAS 41 e 42, é mostrado o descenso gradual de MOT nas LEIRAS 5 e 6, atingindo uma taxa final de redução em torno de 21,5 % e 23,4 %, respectivamente. A redução dos valores de MOT é causada pela perda de CO₂ (LANGENHOVE, BO & SMET, 1999; MADEJÓN, et al., 2001), e compostos orgânicos voláteis (FISCHER, 1996; LANGENHOVE, BO & SMET, 1999). A perda de massa total em base seca da LEIRA 5 e LEIRA 6 foi de 67,4 % e 54,5 %, respectivamente.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 41 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e Cinzas na LEIRA 5.

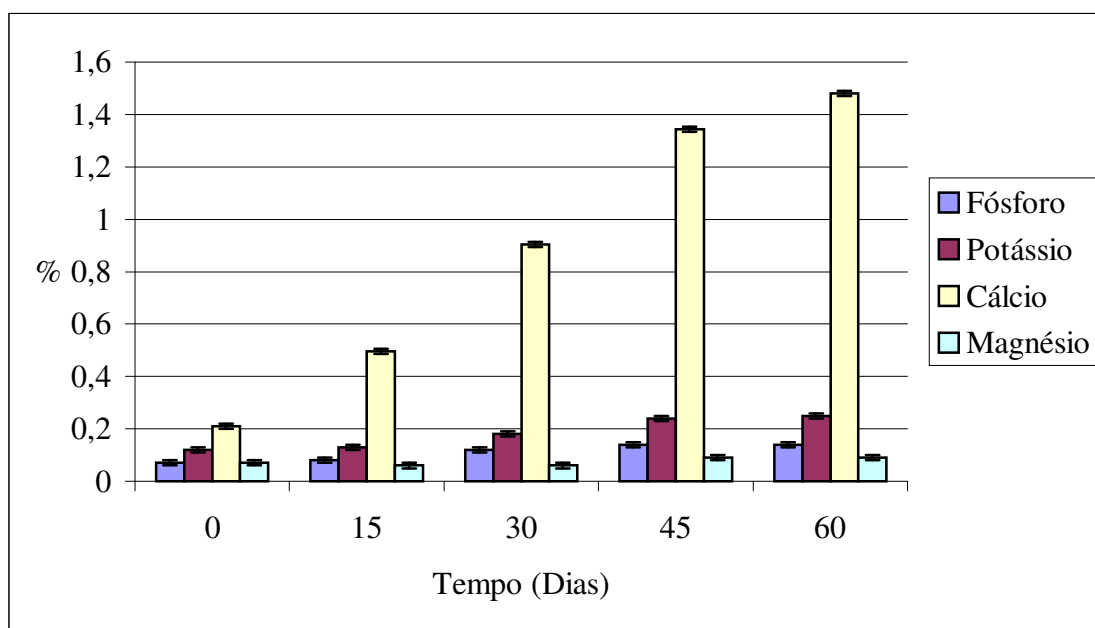


Valores médios para n = 3.

FIGURA 42 – Gráfico de acompanhamento dos valores de MOT e Cinzas na LEIRA 6.

3.7.8 Macronutrientes (P, K, Ca e Mg)

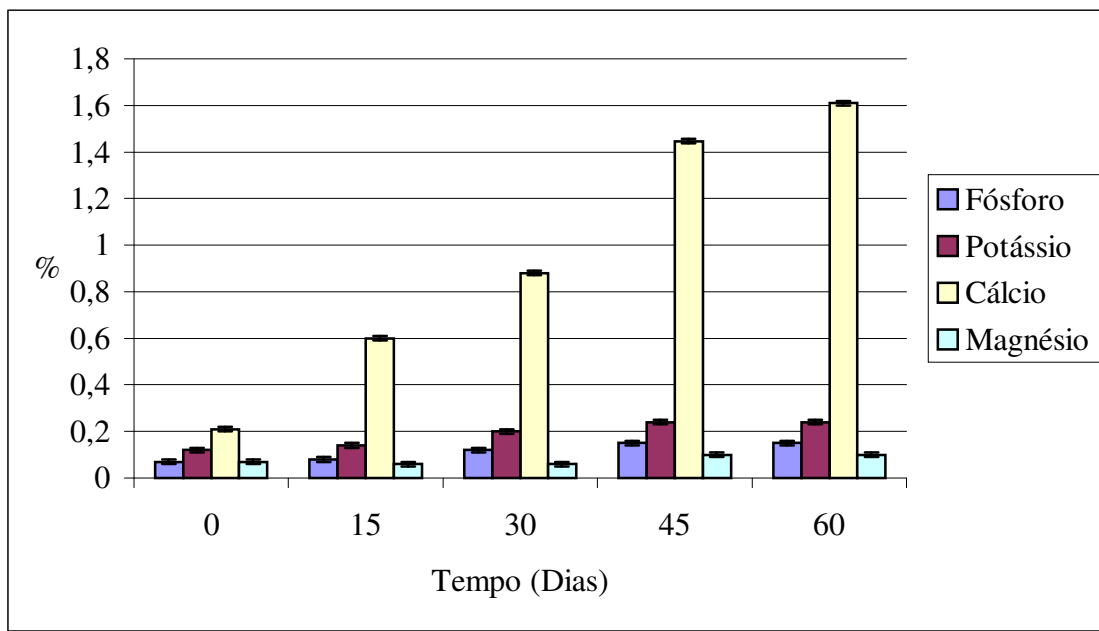
Observando-se a FIGURA 43, os valores iniciais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram de 0,07 %, 0,12 %, 0,21 % e 0,07 % respectivamente. Ao final do estágio de bioestabilização houve um acréscimo na concentração do fósforo e potássio na ordem de 100%. O cálcio apresentou um valor final 7 vezes superior ao inicial (1,48 %), enquanto que a concentração final do magnésio aumentou em 28 %.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 43 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 5.

Os valores da concentração dos macronutrientes da LEIRA 6 no final do estágio de bioestabilização, representados na FIGURA 44, apresentaram um comportamento semelhante aos da FIGURA 43. O ganho obtido na concentração dos macronutrientes pode estar relacionado com o teor de umidade mantido durante a compostagem.

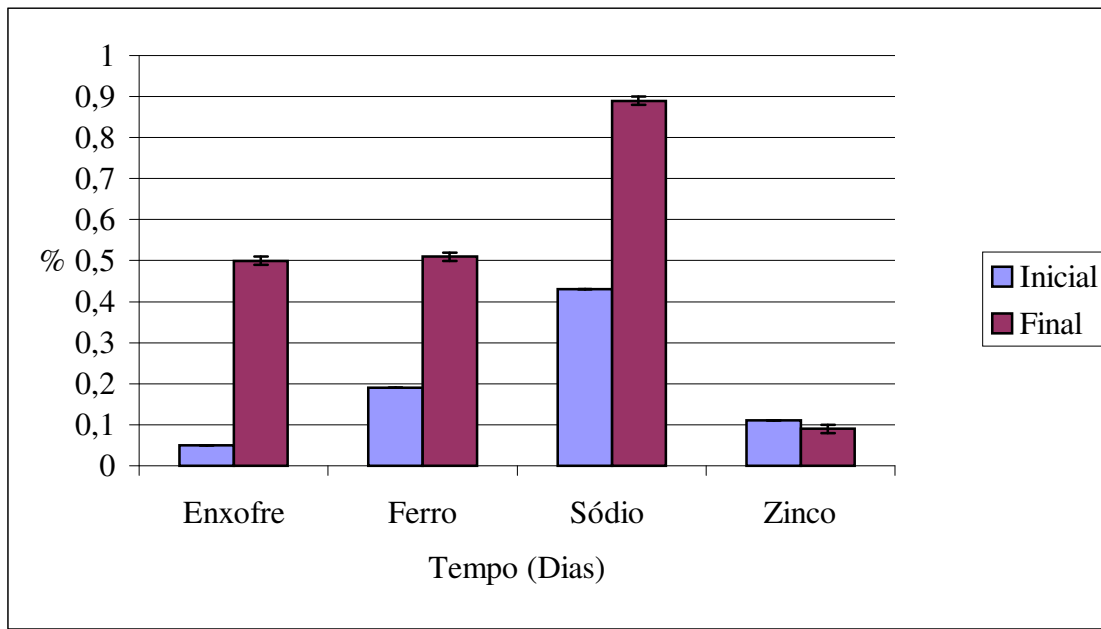


Valores médios para n = 3.

FIGURA 44 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos macronutrientes da LEIRA 6.

3.7.9 Micronutrientes (S, Fe, Na e Zn)

Analisando os valores dos micronutrientes na FIGURA 45, antes de iniciar a compostagem e no término do processo de estabilização, verifica-se que apenas o zinco apresentou redução na sua concentração final em 20 %. O ganho na concentração final do enxofre, ferro e sódio foi 10 vezes, 1,5 vezes e o dobro respectivamente em relação a concentração inicial.



Valores médios para n = 3.

FIGURA 45 – Gráfico de acompanhamento dos valores dos micronutrientes na LEIRA 6.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos biodegradáveis originados em indústrias de produtos cárneos embutidos pode ser uma das tecnologias mais promissoras nos dias atuais, pois temos condições tropicais e uma diversidade de microorganismos que favorece a adoção de métodos de biotransformação eficazes, sem necessariamente serem exigentes nos investimentos de capital. Além disso, técnicas de compostagem são ecologicamente mais corretas do que outras práticas de gestão de resíduos sólidos orgânicos, tais como incineração e aterros sanitários.

O estudo demonstrou que existe a possibilidade de utilização de resíduos celulósicos e gordurosos de origem frigorífica na produção de adubo orgânico para ser utilizado na agricultura. Em especial na região sul do país que concentra um número muito grande de indústrias frigoríficas dos mais diversos portes. No momento em que este sistema for sendo praticado, estaríamos contribuindo com o meio ambiente, como também, desenvolvendo a geração de empregos tanto na indústria como campo.

A combinação de resíduos celulósicos, gordurosos, lodo biológico e rúmen bovino utilizada na compostagem apresentou-se adequada para o sistema de compostagem artesanal, definindo a seleção de um método de tratamento potencialmente aplicável. Apesar de que a

utilização do rúmen bovino (bolo alimentar) como inóculo não apresentou os resultados esperados, devido a quantidade utilizada ser muito pequena, em torno de 5% da massa total da leira, por ter sido utilizado em ambiente misto e a coleta deste material não foi do rúmen e sim do folhoso. Este resíduo tem um grande potencial de aplicabilidade.

Problemas operacionais, como geração de odores e a atração de insetos (moscas) não foram contornados pelo aumento da frequência de revolvimento como se esperava. O processo de oxigenação através de revolvimentos periódicos não garante um tempo de residência elevado de oxigênio nas leiras, desta forma o processo anaeróbio passa a predominar. O sistema torna-se atrativo para insetos (moscas), porém não ocorre a proliferação devido a morte de suas larvas ao entrarem em contato com as temperaturas da fase termófila durante o revolvimento. Somente a aeração mecanizada poderia minimizar este problema.

Apesar disso, as frequências de revolvimento apresentaram adequadas para o sistema, uma vez que houve a manutenção da temperatura de forma similar em todas etapas demonstrando uma alta atividade microbiana, garantindo uma boa sanidade do composto. O tempo médio da etapa de estabilização do composto esteve dentro de uma faixa citada na literatura. Para a obtenção de um melhor desempenho do processo torna-se necessário o aprimoramento do sistema de aeração.

Quanto a qualidade do composto, a relação C/N final das etapas ficou próxima de 10/1. Exceto a etapa 1, que foi influenciada pela perda de nitrogênio por volatilização devido à uma relação C/N inicial relativamente baixa e dificuldades de homogeneização. Neste caso, um reestabelecimento do balanço entre o conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio seria

necessário com a finalidade de evitar a perda deste nutriente na forma de gás amônia. A concentração final dos macronutrientes atende a legislação vigente para um composto orgânico maturado (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999).

A maior dificuldade enfrentada foi a homogeneização nos primeiros 20 dias, devido a granulometria muito fina dos resíduos gordurosos e do lodo biológico que ocasionava o aglutinamento destes resíduos e não ocorria a mistura com o resíduo celulósico. Para contornar este problema é necessária a implementação de equipamentos que possibilitam homogeneização destes resíduos de forma sistêmica.

O mercado de produtos orgânicos vem crescendo no Brasil e no mundo a cada ano. A região do Vale do Rio Pardo é marcada basicamente pela atividade agrícola onde as pessoas estão condicionadas a promover o aumento da produção agrícola por intermédio do uso de insumos de origem inorgânica. A realização de um programa de conscientização do uso de adubo orgânico nas lavouras através dos órgãos competentes promoveria o incentivo da aplicação das técnicas de compostagem com tecnologia própria e genuína.

A utilização do composto orgânico se apresentaria como um acréscimo na sustentabilidade, não somente para a atividade agrícola, mas para o contexto ambiental, higiênico-sanitário, econômico e educacional. Sendo assim, pode-se oportunizar um futuro com melhor qualidade de vida, respeito pela cidadania e pelo uso racional dos recursos naturais que levem ao desenvolvimento sustentável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLÈGRE, Claude. *Ecologia das cidades ecologia dos campos*. Lisboa: Instituto Pieget, 1993.

ALLINGER, N.L. et. al. *Química orgânica*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

ALTVATER, Elmar. Introdução: por que o desenvolvimento é contrário ao meio ambiente. In: _____. *O preço da riqueza*. Tradução de Wolfgang Leo Maar. São Paulo: EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 1995, p. 21-42.

_____. Sintropia e entropia ou: por que conceitos da física termodinâmica podem ser úteis nas ciências sociais. In: _____. *O preço da riqueza*. Tradução de Wolfgang Leo Maar. São Paulo: EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 1995, p. 43-62.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S. C. *Reciclagem agrícola do lodo de esgoto*. Curitiba: SANEPAR, 1999.

AOSHIMA, M. et al. Analyses of microbial community a composter operated using household garbage with special reference to the addition of soybean oil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. v. 91, n. 5, p. 456-461, 2001.

ARVANITOYANNIS, I. S.; THASSITOU, P. K. Bioremediation: a novel approach to food waste management. *Food science & technology*. v. 12, p. 185-196, 2001.

ASSIS, Luis Fernando Soares de. Interdisciplinaridade: necessidades das ciências modernas e imperativo das questões ambientais. In: PHILIPPI Jr., Arlindo. *Interdisciplinaridade em ciências ambientais*. São Paulo: SIGNUS EDITORA, 2000, p. 171-184.

ATKINSON, C. F.; JONES, D. D.; GAUTHIER, J. J. Microbial activities during composting of pulp and paper-mill primary solids. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. v. 13, p. 519-525, 1997.

AVNIMELECH, Y. et al. Estimation of bulk of a composting process in windrows. *Journal of Agricultural Engineering research*. v. 73, p. 113-121, 1999.

BARRINGTON, Suzelle et al. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource technology*. v. 83, p. 189-194, 2002.

BARROS, A. J. M. et al. Estudo de macronutrientes no processo de compostagem anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais ABES*. CD-ROM.

BARROS, L. S. S. e; AMARAL, L. A. do; JUNIOR, J. de L. Eficiência de um sistema integrado de tratamento de águas residuárias de suinocultura, em relação à capacidade de remoção de zinco e cobre de três diferentes tipos de solos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais ABES*. CD-ROM.

BEAUCHAMP, C. J.; CHAREST, M. H. Composting of de-inking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behavior of physico-chemical parameters. *Bioresource Technology*, v. 81, p. 7-17, 2002.

BECK-FRIIS, B. et al. Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *Journal of agricultural engineering research*. v. 78, p. 423-430, 2001.

BEFFA, T. et. al. *Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 149–161. 1996.

BERNAL, M. P. et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. v. 63, p. 91-99, 1998.

BEZERRA, M. C. L.; MUNHOZ, T. M. T. *Gestão dos Recursos Naturais: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio TC/BR/FUNATURA, p. 200. 2000.

BOLLEN, G. J.; VOLKER, D. *Phytohigiemic aspects of composting*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 233 – 246. 1996.

BOOTHE, D. D. H. et al. Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process. *Advances environmental research*. v. 6, p. 401-409, 2002.

BRANCO, S. M. *O meio ambiente em debate*. 4. ed. São Paulo: moderna, 1998.

BRINCKMANN, W. E. *Sustentabilidade ambiental e gestão das águas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*. Santa Cruz do Sul: Redes, v. 4, n. 2, p. 111-127, maio/ago. 1999.

BRITO, A. L. F. de. et al. Processo de codisposição de resíduos sólidos industriais de curtume. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES*. v. 7, n. 3, jul./set. 2002 e n. 4, out./dez. 2002. p. 144-150.

BRUNETTI, G.; SENESI, N. *Chemical and physico-chemical parameters for quality evaluation of humic substances produced during composting*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 195 – 212. 1996.

CAPORAL, Francisco Roberto. *A extensão rural no Rio Grande do Sul: do modelo “Made in USA” ao paradigma agroecológico*. Disponível em: < [http:// www.emater.tche.br/biblioteca](http://www.emater.tche.br/biblioteca)>. Acesso em 22 dez. 2002.

_____.; COSTABEBER, J. A. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova extensão rural*. In: ETGES, Virgínia Elisabeta (Org.) *Desenvolvimento rural: potencialidades em questão*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 201, p. 19-52.

CHAGAS e SILVA, Renato das (Coord.). *Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do RS*. – FEPAM. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/rsi.asp.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2003.

CARRASCO, J. et al. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology*. v. 67, p. 89-92. 1999.

CASTRO, M. C. de. et. al. *Biodegradação de compostos ligninocelulósicos pelo fungo Pleuroteus sajor - caju*. In: 22^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais do 22^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville: ABES, 2003. CD-ROM. Produzido por Microservice.

COOPERBAND, Leslie. The art and science of composting: a resource for farms and compost producers. *University of Wisconsin-Madison*. Mar. 2002. Center for Integrated Agricultural Systems. Disponível em: <<http://www.wisc.edu/cias/pubs/artofcompost.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2003.

CORTELLINI, L. et al. *Effects on the content of organic matter, nitrogen, phosphorus and heavy metals in soil and plants after application of compost and sewage sludge*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 457-468. 1996.

CRUZ, P; ALEXANDER, R. *Composting biosolis*. Glasgow. Disponível em: <<http://www.remade.org.uk/organics-documents/20020713-biosolidsfactsheet.pdf>>. Acesso em 09 mai. 2003.

DAJÓZ, Roger. *Ecologia geral*. Petrópolis: Vozes, 1978.

DAS, K. C.; LIANG, C.; McCLENDON, R. W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource technology*. v. 86, p. 131-137, 2003.

EHALIOTIS, Constantinos et al. Respiration profiles in monitoring the composting of by-products from the olive oil agro-industry. *Bioresource technology*. v. 87, p. 331-336, 2003.

ETGES, Virgínia Elisabeta. A região no contexto da globalização: o caso do vale do Rio Pardo, In: VOGT, ° P.; SILVEIRA, R. L. L. da (Org.) *Vale do Rio Pardo: (re)conhecendo a região*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2001, p. 351-365.

_____. O papel da região na era da globalização. *Jornal gazeta do Sul*, Santa Cruz do Sul, 27 e 28 de jun. 1998. Guia Sócio Econômico, p. 3

EZELIN, K. et. al. *Glucose influence on the asymbiotic nitrogen fixation during lignocellulose waste composting*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 138 - 148. 1996.

FARIA, L. C. de.; RODRIGUEZ, L. C. E. Demanda potencial por biossólido em povoamentos de eucalipto no entorno da ETE de Barueri, SP. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES*. v. 6, n. 3, p. 123-130, jul./set. 2001.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da (Org.). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

FISCHER, Klaus. Environmental impact of composting plants. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 81-86. 1996.

FILHO, P, B. Tratamento anaeróbico de resíduos sólidos e lodos de tanques sépticos utilizando reator em fase semi-sólida seguido de reator anaeróbico fluxo ascendente com manta de lodo. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais ABES*. CD-ROM.

FONSECA, Edmilson. *Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos e da limpeza urbana*. 2. ed. João Pessoa: JRC Gráfica e Editora, 2001.

FORSTER, C. F.; WAKELIN N. G. An investigation into microbial removal of fats, oils and greases. *Bioresource Technology*. v. 59, p. 37-43. 1997.

GAJDOŠ, Ruzena. Bioconversion of organic waste by the year 2010: to recycle elements and save energy. *Resources, Conservation and Recycling*. v. 23, p. 67 – 86. 1998.

GARIGLIO, L. P.; MELO, G. C. B. de. Metodologia racional para monitoramento ambiental de aterros resíduos sólidos urbanos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais ABES*. CD-ROM.

GEISSMAN, T. A. *Principios de química orgánica*. 2. ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1974.

GHOSH, S.; KAPADNIS, B. P.; SINGH, N. B. Composting of cellulosic hospital solid waste: a potentially novel approach. *International biodeterioration & biodegradation*. v. 45, p. 89-92, 2000.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1996.

GOLUEKE, C. G.; DIAZ, L. F. *Historical review of composting and its role in municipal waste management*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 3 – 14. 1996.

GOUVEIA, L. C.; NETO, J. T. P. *Análises de amostras e compostos orgânicos de origem urbana e agrícola sob diferentes estágios de degradação*. IV SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS: GESTÃO INTEGRADA, 2000, Recife. *Anais ABES*.

GUEVARA, A. J. de H. *Conhecimento, cidadania e meio ambiente*. 3. ed. São Paulo: Editora Fundação Pierópolis, v. 2, 1998.

HAUG, R. T. Composting plant design and process management. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 60 – 70. 1996.

HELLBRAND, H. J.; KALK, W. D. Emission of carbon monoxide during composting of dung and green waste. *Nutrient cycling agroecosystems*. n. 60, p. 79-82, 2001.

HILL, D.H. The effects of climate on production. In: Payne, W.J.A. *Cattle and buffalo meat production in the tropics*. London: Longman Scientific & Technical, 1988. p. 6-17.

HORWATH, W. R. et al. *Processes regulating grass straw composting*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 627-636. 1996.

IGARASHI, Y. et al. Isolation and characterization of predominant microorganisms during decomposition of waste materials in a field-scale composter. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. v. 95, n. 4, p. 368-373. 2003.

JOENG, Yeon-Koo; KIM, Jin-Soo. A new method for conservation o nitrogen in aerobic composting processes. *Bioresource technology*. n. 79, p. 129-133, 2001.

JÚNIOR, J. L.; GORGATI, C. Q. Fração orgânica de lixo urbano como substrato para biodigestor. *Energia na Agricultura*, v. 14, n. 4, p. 45-54. 1998.

KARNOPP, E. et. al. *Desenvolvimento rural sustentável: reflexões e ações em âmbito regional*. Santa Cruz do Sul: Redes, v. 4, n. 2, p. 161-186, maio/ago. 1999.

KEENER, H. M.; DAS K. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. In: *THE SCIENCE OF COMPOSTING*. England: Chapman & Hall, part 1, p. 116 – 125. 1996.

KIEHL, Edmar José. *Fertilizantes organominerais*. 3. ed. Piracicaba: Editado pelo autor, 1999.

_____. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 3. Ed. Piracicaba: Edição do autor, 2002.

_____. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1985.

KÖCHE, José Carlos. *Fundamentos de metodologia científica*. 7. ed. Caxias do Sul: Editora Vozes, 1982.

KOMILIS, D. P.; HAM R. K. The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste management*. v. 23, p. 419-423, 2003.

KRIKSTAPONIS, A. et al. Enzymatic activities of aspergillus fumigatus strains isolated from the air at waste landfills. *Ann Agricultural Environmental Medicine*, v. 8, p. 227-234, nov. 2001.

KRISHNA, Chundakkadu. Production of bacterial cellulases by solid state bioprocessing of banana wastes. *Bioresource technology*. v. 69, p. 231-239, 1999.

KROTSCHECK, C.; NARODOSLAWSKY, M. Integrated ecological optimization of processes with the sustainable process index. *Waste management*, v. 20, p. 599-603, 2000.

LANGENHOVE, H. V.; BO, I. D.; SMET, E. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. *Atmospheric environment*. v. 33, p. 1295-1303, 1999.

LEIFELD, J.; SIEBERT, S.; KOGEL-KNABNER, I. Changes in the chemical composition of soil organic matter after application of compost. *European journal of soil science*. v. 53, p. 299-309, 2002.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; PRASAD, S. Processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos urbanos e rurais. *Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES*, vol. 7, n. 1, p. 48-56, jan./mar. 2002 e abr./jun. 2002.

LELIS, M. P. N.; NETO, J. T. P. *Avaliação da eficiência da degradação dos resíduos orgânicos sob baixos teores de umidade*. IV SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS: GESTÃO INTEGRADA, 2000, Recife. *Anais ABES*.

LIMA, A. U.; AQUARONE, E; BORZANI, W. *Biotecnologia: tecnologia das fermentações*. 5. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, v. 1. 1992.

LIMA, A. U. et al. (coords.). *Biotecnología industrial: procesos fermentativos e enzimáticos*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, v. 3. 2001.

LIMA, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3. ed. São Paulo: Editora Hemus Ltda, 1995.

MADEJÓN, Engracia et al. Co-composting of sugarbeet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used. *Bioresource Technology*. v. 76, p. 275-278, 2001.

_____. et al. New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Bioresource technology*. v. 85, p. 73-78, 2002.

_____. et al. Composting of vinasse and cotton gin waste by using two different systems. *Resources, conservation and recycling*. v. 34, p. 235-248, 2002.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989, Piracicaba.

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresources technology*. v. 74, p. 3-16, 2000.

MATSUMURA, M.; NAKANO, K. Improvement of treatment efficiency of thermophilic oxic process for highly concentrated lipid wastes by nutrient supplementation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. v. 92, n. 6, p. 532-538. 2001.

MENDES, M. R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. Assessment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in São Paulo city. *Waste management*. v. 23, p. 403-409. 2003.

MERICO, L. F. K. Entropia e economia. In:____. *Introdução à economia ecológica*. Blumenau: Ed. FURB, 1996, p. 41-49.

MONTARDO, Otaliz de Vargas. *Alimentos & alimentação do rebanho leiteiro*. Guaíba: Agropecuária, 1998.

MORIN, Edgar. *Os setes saberes necessários à educação do futuro*. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

NAKASAKI, K.; OHTAKI, A.; TAKANO H. Biodegradable plastic reduces ammonia emission during composting. *Polymer degradation and stability*. n. 70, p. 185-188, 2000.

NAPPI, P.; BARBERIS, R. Evaluation of compost stability. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 175 – 184. 1996.

NETO, João Tinoco Pereira. *Composting: experiences and perspectives in brazil*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 2, p. 729-735. 1996.

NETO, J. T. P.; LELIS, M. P. N. *Reciclagem dos resíduos orgânicos: avaliação do potencial de reintegração ambiental e econômica nos municípios de pequeno porte do estado de Minas Gerais*. IV SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS: GESTÃO INTEGRADA, 2000, Recife. *Anais ABES*.

_____. *A compostagem como forma de tratamento dos resíduos orgânicos*. IV SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS: GESTÃO INTEGRADA, 2000, Recife. *Anais ABES*.

NUNN, W. D. A molecular view of fatty acid catabolism in *Escherichia coli*. *Microbiology Review*. v. 50. p. 179-192, 1986.

OHLWEILER, Otto Alcides. *Química analítica quantitativa*. 3 Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda, v. 1. 1982.

OLIVEIRA, Ariovaldo Umbelino de. *Modo capitalista de produção e agricultura*. São Paulo: Editora Ática, 1986.

PARDI, M. C. et al. *Ciência, higiene e tecnologia da carne*. Goiânia: Editora UFG, v. 1 1995.

PANDEY, A. et al. Biotechnological potencial of agro-industrial residues: sugarcane bagasse. *Bioresource technology*. v. 74, p. 69-80, 2000.

PINHEIRO, A.; VIEIRA, B. A. *Implantação de composteiras domésticas: avaliação da percepção da população urbana de Indaial – SC*. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, 2003, Joinville. *Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville: ABES, 2003. CD-ROM. Produzido por Microservice.

PRIMAVESI, Artur. *A biocinose do solo na produção vegetal*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1964.

PULLAMMANAPPALLIL, P. C. et al. Cellulolytic activity in leachate during leach-bed anaerobic digestion of municipal solid waste. *Bioresource Technology*. v. 80, p. 205-210, 2001.

RATLEDGE, C. Microbial oxidations of fatty alcohols and fatty acids. *Journal chemistry technology biotechnology*. v. 55, p. 399-400, 1992.

REICHERT, G. A. et al. *Programa de desenvolvimento de recursos humanos: gerenciamento de resíduos sólidos urbanos*. ABES Santa Cruz do Sul, 2001.

RENKOW, M.; RUBIN, A. R. Does municipal solid waste composting make economic sense?. *Journal of environmental management*. v. 53, p. 339-347, 1998.

RICHARD, T. *The science and engineering of composting*: Cornell Composting. Disponível em: <http://www.cfe.cornell.edu/compost/science.html>. acesso em: 10 ago. 2002.

ROBINZON, R. et al. Estimation of bulk parameters of a composting process in windrows. *Journal of agricultural engineering research*. v. 73, p. 113-121, 1999.

SACHS, Ignacy. Brasil rural: da descoberta à invenção. Separata de: *Estudos Avançados* – Revista da Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados. São Paulo, v. 43, n. 15, 2001, p. 75-81.

SACHS, Jeffrey. *Globalização para poucos amplia pobreza e revolta*. Jornal da Ciência online, [Mensagem Institucional]. Mensagem recebida por jacir@excelsior.ind.br em 10 nov. 2002.

SALMINEN, E.; RINTALA, J. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Biorsource technology*. v. 83, p. 13-26, 2002.

SÁNCHEZ, G. M. M. et al. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. *Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México*, 2001. Disponible em: <http://www.cepis.ops.oms.org/bvsaidis/resisoli/mexicon/R-0035.pdf>. Acesso em: 22 out. 2003.

SANTOS, L. J.; et al. Potencial agrônômico do resíduo da extração da fibra da casca do coco (*cocus nucifera*). IV SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS: GESTÃO INTEGRADA, 2000, Recife. *Anais ABES*.

SCHNACK, P. J. *Teste de compostagem com resíduos orgânicos elaborado para*: Fundação para Proteção Ambiental de Santa Cruz do Sul – FUPASC (RS). Relatório Técnico. Maio/2001.

SCHUMACHER, E. F. *O negócio é ser pequeno (small is beautiful)*. Tradução Octávio Alves Velho. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1983.

SEQUI, Paolo. The role of composting in sustainable agriculture. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 23-29. 1996.

SHARMA, V. K. et al. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review. *Energy convers. management*. v. 38, n. 5, p. 453-478, 1997.

SILVEIRA, R. L. L. da. *Repensando a região: o planejamento estratégico e participativo no vale do rio Pardo – RS*. In: REDES, Santa Cruz do Sul, v. 7, n. 2, p. 167-196, maio/ago. 2002.

SLATER, R. A.; FREDERICKSON, J. Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe. *Resources conservation & recycling*. v. 32, p. 359-374, 2001.

SMÅRS, S. et al. Improvement of the composting time for household waste during na initial low pH phase by mesophilic temperature control. *Bioresource technology*. v. 84, p. 237-241, 2002.

SOMDA, Jacques et al. Soil fertility management and socio-economic factors in crop-livestock systems in Burkina Faso: a case study of composting technology. *Ecological economics*. v. 43, p. 175-183, 2002.

SOMMER, S. G.; DAHL, P. Nutrient and carbon balance during the composting of deep litter. *Journal of agricultural engineering research*. v. 74, p. 145-153, 1999.

SONESSON, U. et al. Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste. *Resources, conservation and recycling*. v. 28, p. 29-53, 2000.

SOUMARÉ, M.; TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G. Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for lad application. *Waste management*. v. 23, p. 517-522, 2003.

STENTIFORD, E.I. Composting control: principles and practice. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 49 – 59. 1996.

STRAUCH, Dieter. Occurrence of microorganisms pathogenic for man and animal in source separated biowaste and compost – importance, control, limits, epidemiology. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 224-232. 1996.

STÜLP, Valter José. O setor primário da região do Vale do Rio Pardo. In: VOGT, P. O.; SILVEIRA, R. L. L. da. (Org.) *Vale do Rio Pardo: (re)conhecendo a região*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2001, p. 167-216.

TAM, N. F. Y.; TIQUIA, S. M.; VRIJMOED, L. L. P. *Nutrient transformation of pig manure under pig-on-litter system*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 96 – 105. 1996.

TARDY, R. J.; BECK, R. W. *Composting technology in the United States: research and practice*. In: THE SCIENCE OF COMPOSTING. England: Chapman & Hall, part 1, p. 939-947. 1996.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse* - METCALF & EDDY. 3 ed. New York: McGraw Hill, 1991.

TEDESCO, M. J. et. al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Boletim Técnico nº5. Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2. ed. Porto Alegre, 1995.

TIEZZI, E. *Tempos históricos, tempos biológicos*: Tradução de F. R. C. Ferreira & L. E. L. Brandão. São Paulo: Nobel, 1988.

TIQUIA, S. M.; RICHARD, T. L.; HONEYMAN, M. S. Carbon, nutrient and mass loss during composting. *Nutrient cycling in agroecosystems*. v. 62, p. 15-24, 2002.

_____. et al. Dynamics of yard trimming composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. *Process biochemistry*. v. 37, p. 1057-1065, 2002.

VIKMAN, M. et al. The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions. *Appl. microbiology biotechnology*. v. 59, p. 591-598, 2002.

VOGEL, Arthur I. *Análise química quantitativa*. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1992.

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 & environment*. v. 66, p. 19-29, 1997.

ZECHENDORF, Bernhardt. Sustainable development: how can biotechnology contribute? *Tibtech*. v. 17, p. 219-225. Jun.1999.

WALKER, L. P.; HIGGINS, C. W. Validation of a new model for aerobic organic solids decomposition: simulations with substrate specific kinetics. *Process biochemistry*. v. 36, p. 875-884, 2001.

ANEXO A

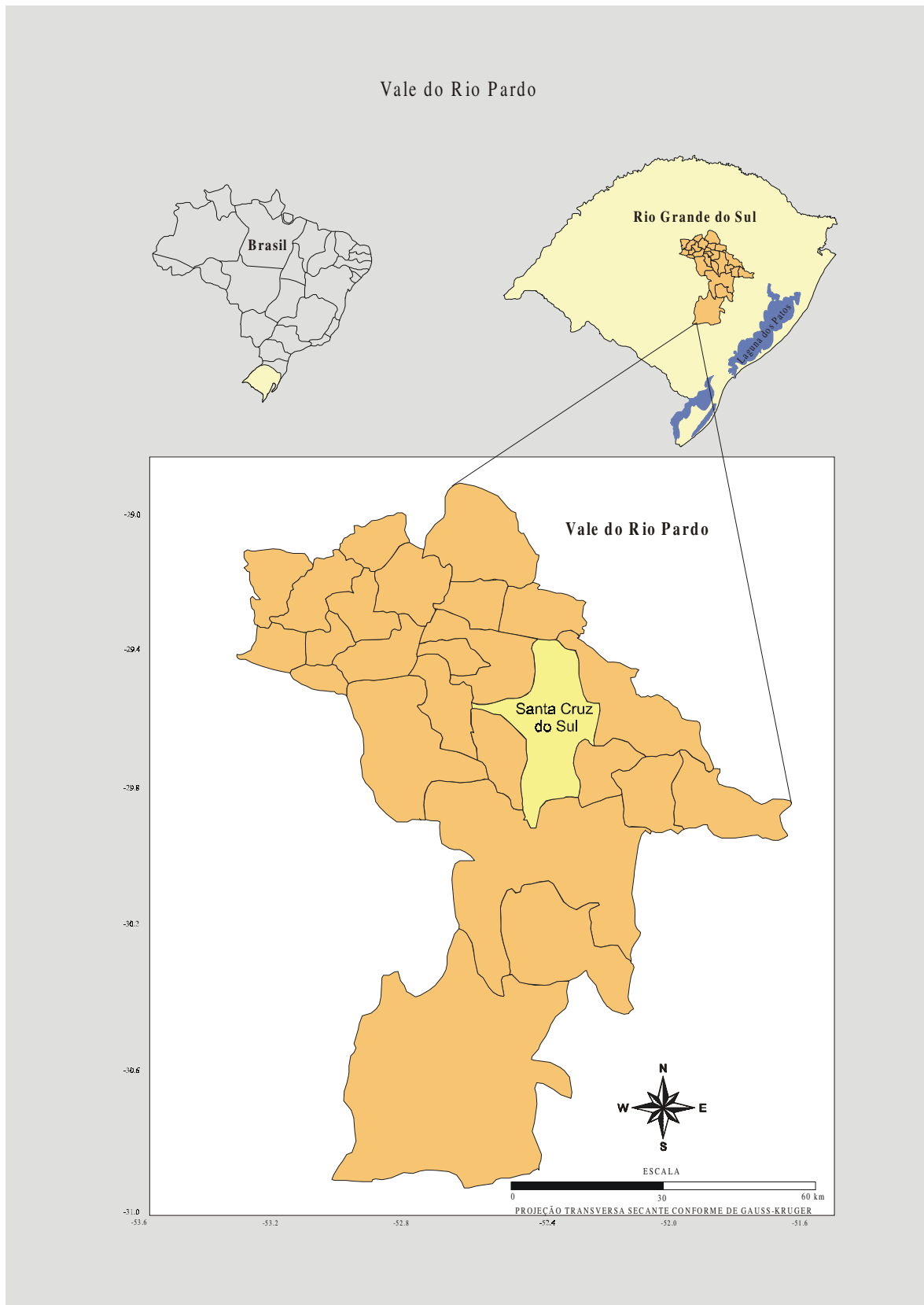


FIGURA 01 – Mapa geográfico da localização da Região do Vale do Rio Pardo.
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UNISC.

ANEXO B



(a)



(b)



(c)



(d)

Apresentação das etapas de fabricação de salsichas envolvendo a “tripa” de celulose: a) formato original do invólucro de celulose antes do processo de embutimento; b) ilustração do formato definido da salsicha após embutimento na “tripa” de celulose; c) processo de remoção da “tripa” de celulose após o cozimento; d) resíduo de celulose gerado após a remoção.

ANEXO C



Vista do Tanque de Retenção de Graxas da ETE.

ANEXO D



(a)



(b)

Foto ilustrativa do acondicionamento do resíduo gorduroso em leito de secagem: a) resíduo gorduroso após 20 dias no leito de secagem; b) resíduo gorduroso com 40 dias no leito de secagem.

ANEXO E



Vista do lodo biológico acondicionado nos leitos de secagem.

ANEXO F



a) Fase inicial (1º dia)



b) Fase intermediária (30 dias)



c) Fase final (60 dias)

Apresentação das três fases da compostagem dos resíduos estudados.