

UNESP

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2001



1110000458



***"Proposta de um Processo
Inovativo de Tratamento de
Resíduos Sólidos Orgânicos
Domiciliares, por Fermentação
Anaeróbica, para a Cidade de
Guaratinguetá"***

ANDRÉ LUIS DE PAULA MARQUES

143



**PROPOSTA DE UM PROCESSO INOVATIVO DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DOMICILIARES, POR FERMENTAÇÃO
ANAERÓBICA, PARA A CIDADE DE GUARATINGUETÁ**

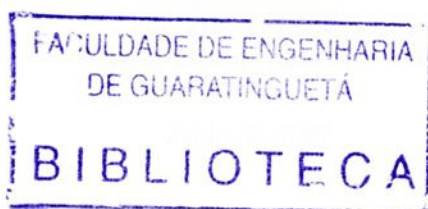
ANDRÉ LUIS DE PAULA MARQUES

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
Guaratinguetá da Universidade Estadual
Paulista, para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Nazem Nascimento

Guaratinguetá

2001



458

--458

24/01/02

R\$ 20,00

Doação

Ficha catalográfica preparada na Seção de Aquisição e Tratamento da Informação da Biblioteca - FEG/UNESP

Marques, André Luis de Paula
M257p Proposta de um processo inovativo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, por fermentação anaeróbica, para a cidade de Guaratinguetá / André Luis de Paula Marques.-
Guaratinguetá, 2001.
249f.: il.; 30 cm

Bibliografia: f. 210 - 218
Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2001
Orientador: Prof. Dr. Nazem Nascimento

1. Tratamento de lixo 2. Resíduos sólidos orgânicos I. Título

CDU 528.4

**“PROPOSTA DE UM PROCESSO INOVATIVO DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DOMICILIARES, POR FERMENTAÇÃO
ANAERÓBICA, PARA A CIDADE DE GUARATINGUETÁ”**

ANDRÉ LUIS DE PAULA MARQUES

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

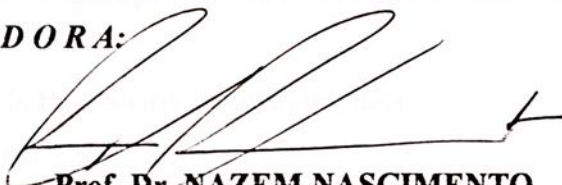
**ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

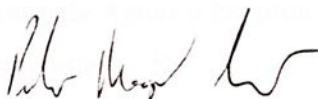


Prof. Dr. José Luz Silveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



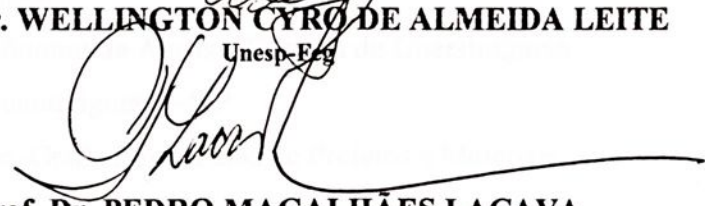
Prof. Dr. NAZEM NASCIMENTO
Orientador / Unesp-Feg



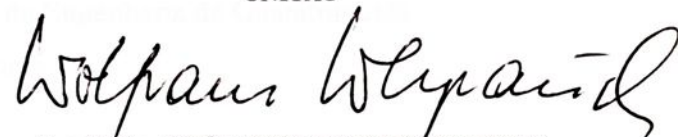
Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Unesp-Feg



Prof. Dr. WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE
Unesp-Feg



Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES LACAVA
UNITAU



Prof. Dr. WOLFRAM WEYRAUCH
Univ. de Ciências Aplicadas de Regensburg/Alemanha

Maio de 2001

DADOS CURRICULARES

ANDRÉ LUIS DE PAULA MARQUES

NASCIMENTO: 13/12/65 - São José do Rio Preto – S.P.

FILIAÇÃO: Octavio de Paula Marques

Marta Figueiredo Marques

1983/1987 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá
Guaratinguetá – S.P.

1988/1989 Engenheiro na LONA – Indústria, Comércio, e
Representação Comercial – ME
Guaratinguetá – S.P.

1988/1994 Curso de Pós-Graduação na área de Projetos e Materiais
Mestrado
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Guaratinguetá – S.P.

1989/1992 Diretor de Abastecimento
Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guaratinguetá
SAAEG - Guaratinguetá – S.P.

1992 Estágio Técnico Especializado
SÜDESSISCHE GAS UND WASSER AG
Darmstadt – Alemanha

1992 Diretor Técnico
Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guaratinguetá
SAAEG - Guaratinguetá – S.P.

1996/2001 Curso de Pós-Graduação na área de Projetos e Materiais
Doutorado
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Guaratinguetá – S.P.



1993/1999	Assistente Técnico Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guaratinguetá SAAEG - Guaratinguetá – S.P.
1999/2000	Engenheiro no Departamento de Meio Ambiente Bolsista da Fundação KRUPP Karlsruhe – Alemanha
2001/...	Assistente Técnico Especializado Secretaria de Serviços Urbanos e Agricultura Prefeitura Municipal de Guaratinguetá Guaratinguetá – S.P.

Dedico este trabalho a minha esposa Lúcia, e aos meus filhos André e Fernando, que com o seu apoio e alegria do dia a dia me incentivaram, a sempre continuar em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Nazem Nascimento, pelo apoio e orientações recebidas, que possibilitaram a conclusão deste trabalho;

À minha mãe Marta, que sempre me transmitiu paz e alegria, um incentivo a mais a continuar nos estudos;

À minha esposa Lúcia e meus filhos que me estimularam a seguir meus trabalhos de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Wolfram Weyrauch, pelo incentivo e apoio recebido durante minha estadia na Alemanha;

Às funcionárias da pós-graduação Regina e Elisa pelo ajuda recebida;

E principalmente a Deus, que é a razão de tudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

Resumo

Abstract

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Situação do processo de compostagem no Brasil	01
1.2. Objetivos do trabalho	02
1.3. O porque do trabalho na Alemanha	06
1.4. Revisão bibliográfica	13
1.5. Resumo dos capítulos	15
2. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	17
2.1. Os resíduos sólidos	17
2.2. A legislação dos resíduos sólidos no Brasil	19
2.3. Classificação básica e redefinição dos resíduos sólidos	24
2.4. Tipos de tratamentos de resíduos sólidos.....	30
2.5. Compostagem	31
3. TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PELO MÉTODO DE COMPOSTAGEM ANAERÓBICA.....	34
3.1. Material de entrada	34
3.2. Potencial de produção de resíduos orgânicos	39
3.3. Descrição do método de fermentação	42
3.4. Compatibilidade com o meio ambiente	63
3.5. Produto final	74
3.6. Compostagem.....	92
4. CONCEITO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE KARLSRUHE.....	94

4.1	Introdução	94
4.2	O Estado de Baden – Württemberg	99
4.3	A cidade de Karlsruhe	101
5.	OTIMIZAÇÃO, ESTUDOS E ANÁLISES DE FATORES INFLUENTES NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO COMPOSTO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INOVATIVO DE COMPOSTAGEM ANAERÓBICA.....	120
5.1	Introdução.....	120
5.2	Quantificação e qualificação da usina de compostagem por fermentação de Karlsruhe.....	121
5.3	Análise quantitativa e qualitativa do material de entrada e % de materiais perturbadores ainda presentes nos resíduos orgânicos.....	125
5.4	Análise quantitativa e qualitativa dos restos de fermentação e de material estrutural.....	130
5.5	Análise da relação do número de dissoluções dos resíduos orgânicos e o tempo real de permanência no reator.....	138
5.6	Quantificação e análise da água do processo.....	139
5.7	Análise da produção de biogás.....	142
5.8	Análise da produção de energia.....	147
5.9	Análises e testes na câmara de decomposição.....	152
6.	PROPOSTA E PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INOVATIVO PARA APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS EM GUARATINGUETÁ.....	164
6.1	Introdução	164
6.2	Descrição do sistema de coleta e disposição dos resíduos em Guaratinguetá	166
6.3	Análise qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos	168
6.4	Composição dos resíduos sólidos domiciliares	169
6.5	Definição de um conceito inovativo e integrado de resíduos sólidos em Guaratinguetá.....	172
6.6	Proposta e planejamento de um sistema inovativo de uma usina de compostagem por fermentação.....	172

7. CONCLUSÕES 205

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 210

ANEXO A 219

ANEXO B 232

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Número de usinas de compostagem, método anaeróbico e sua capacidade de tratamento – 1995/1996.....	08
FIGURA 02 – Quantificação do número de instalações de compostagem existentes e capacidade produtiva em relação ao método biológico de tratamento (1995/1996).....	09
FIGURA 03 – Aptidão orgânica dos resíduos sólidos para um tratamento anaeróbico ou aeróbico.....	35
FIGURA 04 – Esquematização do caminho dos resíduos em uma usina de compostagem pelo método anaeróbico.....	38
FIGURA 05 – Digestão anaeróbica de biomassa e a formação de biogás (CH_4 e CO_2).....	45
FIGURA 06 – Procedimentos gerais no tratamento de resíduos sólidos pelo método anaeróbico.....	46
FIGURA 07 – Diagrama de fluência de um tratamento biológico, desde a entrada do material até a formação do composto, com apenas uma fase de fermentação.....	55
FIGURA 08 – Diagrama de fluência de um tratamento biológico, desde a entrada do material até a formação do composto, com duas fases de fermentação.....	56
FIGURA 09 – Necessidade específica de mão-de-obra para o funcionamento de uma usina de compostagem por fermentação.....	60
FIGURA 10 – Custos específicos de investimentos para uma usina de compostagem (inclusive com o encerramento com uma compostagem aeróbica do composto) em dependência da capacidade de tratamento da usina.....	62
FIGURA 11 – Custos específicos de operação (inclusive com o encerramento através de uma compostagem aeróbica do composto e a venda do biogás) em relação à capacidade de tratamento da instalação.....	63

FIGURA 12 – Exemplo de um balanço de massa de entrada e saída em uma usina de compostagem pelo método “via seca” (forte dependência do material de entrada e procedimentos).....	65
FIGURA 13 – Exemplo de um balanço de massa de entrada e saída em uma usina de compostagem pelo método “via úmida” (forte dependência do material de entrada e procedimentos).....	66
FIGURA 14 – Volume de águas residuárias produzida por tonelada de material de entrada.....	71
FIGURA 15 – DQO e DBO ₅ - Valores médios das águas residuárias medidos em uma usina de fermentação (Proporção DQO/DBO ₅ entre 1.6 a 2.0).....	73
FIGURA 16 – Valores específicos de necessidade de área para uma usina de compostagem em dependência da quantidade do material de entrada.....	74
FIGURA 17 – Quantidade de restos de fermentação, em referência a quantidade de massa seca por tonelada de material de entrada.....	75
FIGURA 18 – Potencial de produção do biogás em relação a diferentes materiais de entrada.....	84
FIGURA 19 – Energia equivalente utilizando biogás como combustível de veículos.....	91
FIGURA 20 – Vista geral da usina de compostagem de Karlsruhe.....	106
FIGURA 21 – Fluxograma da usina de compostagem de Karlsruhe.....	108
FIGURA 22 – Vista da balança localizada entre as duas comportas.....	109
FIGURA 23 – Vista do silo de concreto para recebimento dos resíduos orgânicos.....	110
FIGURA 24 – Esteira transportadora de resíduos orgânicos.....	110
FIGURA 25 – Vista do moinho helicoidal.....	111
FIGURA 26 – Vista geral do sistema de biofiltros.....	111
FIGURA 27 – Vista geral do sistema inovativo do tanque de dissolução e separação.....	112

FIGURA 28 – Sistema de remoção dos materiais pesados do tanque de dissolução e separação.....	113
FIGURA 29 – Sistema de remoção dos materiais leves do tanque de dissolução e separação.....	114
FIGURA 30 – Vista geral do tanque separador de areia.....	114
FIGURA 31 – Vista geral do reator de metano.....	115
FIGURA 32 – Vista geral do sistema de produção e energia.....	116
FIGURA 33 – Vista geral da centrífuga decantadora.....	116
FIGURA 34 – Reservatório de acumulação de água do processo.....	117
FIGURA 35 – Vista geral da câmara de decomposição aeróbica.....	118
FIGURA 36 – Quantificação do volume de material de entrada e a porcentagem de materiais perturbadores leves e pesados.....	127
FIGURA 37 – Produção mensal de biogás em relação aos ROT e RO.....	143
FIGURA 38 – Variação diária da produção de biogás.....	145
FIGURA 39 – Potencial de aproveitamento de energia na usina de Karlsruhe, através de um sistema de produção de energia elétrica e térmica..	150
FIGURA 40 – Esquema antigo de funcionamento da câmara de decomposição aeróbica.....	153
FIGURA 41 – Esquema proposto para funcionamento da câmara de decomposição aeróbica.....	154
FIGURA 42 – Esquema geral dos componentes de controle da câmara de decomposição	157
FIGURA 43 – Localização de Guaratinguetá na região.....	166
FIGURA 44 – Fluxograma dos resíduos sólidos em Guaratinguetá.....	167
FIGURA 45 - Representação dos níveis do grau de decomposição.....	227
FIGURA 46 - Esquema de montagem para a determinação do grau de decomposição de um composto orgânico.....	229
FIGURA 47 - Gráfico das variações de temperatura em função do tempo....	231

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	Localização, método biológico de tratamento e status das principais usinas de compostagem no Brasil em 1995.....	01
TABELA 2 –	Composição percentual em peso dos resíduos sólidos domiciliares em Guaratinguetá – 1992.....	05
TABELA 3 –	Composição percentual em peso dos resíduos domiciliares na Alemanha – 1992.....	06
TABELA 4 –	Situação das usinas de compostagem, método anaeróbico em Baden-Württemberg em 1996.....	10
TABELA 5 –	Parâmetros de qualidade de um composto orgânico.....	11
TABELA 6 –	História da compostagem.....	13
TABELA 7 –	Comparação dos sistemas de disposição de resíduos sólidos municipais em diversos países.....	30
TABELA 8 –	Aptidão de diferentes materiais de entrada para o tratamento pelo método anaeróbico “via seca” em relação ao método anaeróbico “via úmida”.....	36
TABELA 9 –	Métodos para a preparação dos resíduos sólidos antes da fermentação.....	49
TABELA 10 –	Preparação e pré-tratamento de resíduos orgânicos por diferentes processos de fermentação.....	50
TABELA 11 –	Dados importantes dos métodos de fermentação.....	53
TABELA 12 –	Estimativa do carregamento dos gases de escape com odores em uma usina de compostagem por fermentação em relação a uma instalação aeróbica.....	67
TABELA 13 –	Concentração em diferentes locais de gases com carga de germes.....	69
TABELA 14 –	Carga média das águas residuárias provenientes de uma usina de compostagem por fermentação da cidade de Ismaning, na Alemanha, que tem uma capacidade de 10.000 Mg/a de	

	material de entrada e o cálculo específico da carga de esgoto por tonelada de material de entrada.....	72
TABELA 15 –	Qualidade do composto de uma usina de compostagem anaeróbica em relação a uma instalação de compostagem aeróbica.....	77
TABELA 16 –	Valores definidos pela Portaria Federal em relação de substâncias prejudiciais no composto orgânico	79
TABELA 17 –	Valores comercializados de compostos de resíduos orgânicos em Ackerbau.....	82
TABELA 18 –	A composição do biogás.....	83
TABELA 19 –	Parâmetros técnicos de queima do gás natural e de um biogás, tendo este como exemplo uma composição de 60% de metano, 38% de dióxido de carbono e 2% outros gases.....	85
TABELA 20 –	Balanço de energia em uma usina de fermentação anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos interligada a um sistema de produção de energia elétrica e térmica.....	89
TABELA 21 –	Comparação entre o processo anaeróbico e processo aeróbico.....	93
TABELA 22 –	Composição dos resíduos sólidos totais do Estado de Baden-Württemberg – 1992.....	100
TABELA 23 –	Composição percentual dos resíduos sólidos recicláveis do estado de Baden-Württemberg.....	101
TABELA 24 –	Composição dos resíduos sólidos domiciliares e semelhantes aos resíduos domiciliares da cidade de Karlsruhe – 1998.....	103
TABELA 25 –	Conceito integrado de resíduos sólidos de Karlsruhe (CIRSK).	104
TABELA 26 –	Principais problemas ocorridos na usina de Karlsruhe no período de 01/05/99 a 31/12/99.....	119
TABELA 27 –	Quantificação mensal da usina de compostagem por fermentação de Karlsruhe-ano base 1999.....	122
TABELA 28 –	Quantificação dos resíduos orgânicos e percentuais de materiais perturbadores.....	126

TABELA 29 –	Quantificação e análise dos restos de fermentação e material estrutural.....	130
TABELA 30 –	Comparação do composto anaeróbico de Karlsruhe em relação ao composto anaeróbico de várias instalações e com os valores de compostos aeróbicos.....	134
TABELA 31 –	Número de dissoluções e tempo de permanência da solução no reator.....	138
TABELA 32 –	Quantificação e qualificação da água do processo.....	140
TABELA 33 –	Análise da concentração de metais pesados permitidos na entrada de uma estação de tratamento de esgotos e da análise existente da água processual da usina de Ismaning.....	141
TABELA 34 –	Parâmetros de análise de entrada e saída do chorume na estação de tratamento de chorume, coletados no período de 01.07.99 a 23.09.99.....	142
TABELA 35 –	Quantificação e análise do biogás produzido.....	143
TABELA 36 –	Variação diária a produção do biogás em relação aos resíduos sólidos totais.....	144
TABELA 37 –	Variação semanal da produção de gás.....	145
TABELA 38 –	Análise da produção de energia elétrica pelo biogás da usina de compostagem e do aterro sanitário através do sistema existente de produção de energia elétrica e térmica.....	148
TABELA 39 –	Valores atuais de composição do biogás em comparação com uma análise de 08.07.1998.....	148
TABELA 40 –	Estimativa do potencial de produção de energia elétrica e energia térmica da usina de compostagem se esta fosse interligada a um sistema de produção de energia elétrica e térmica.....	150
TABELA 41 –	Análise do consumo de energia em relação ao tratamento de resíduos orgânicos e totais.....	151
TABELA 42 –	Variações dos parâmetros de controle na câmara de decomposição.....	158

TABELA 43 – Valores coletados nos testes da câmara de decomposição.....	159
TABELA 44 – Parâmetros finais obtidos na câmara de decomposição em comparação com os parâmetros de operação na usina.....	163
TABELA 45 – Quantitativo de resíduos sólidos em Guaratinguetá.....	169
TABELA 46 – Composição dos resíduos sólidos em Guaratinguetá.....	170
TABELA 47 – Quantitativo percentual dos resíduos sólidos nos diversos níveis sociais de Guaratinguetá.....	171
TABELA 48 – Conceito inovativo e integrado de resíduos sólidos de Guaratinguetá.....	173
TABELA 49 – Especificação dos resíduos sólidos orgânicos de Guaratinguetá utilizados no projeto da usina de compostagem por fermentação.....	174
TABELA 50 – Duração máxima de um ciclo de dissolução.....	178
TABELA 51 – Variações de volume de suspensão em referência ao teor de resíduos secos.....	179
TABELA 52 – Variações percentuais da concentração do teor de resíduos secos na suspensão.....	180
TABELA 53 – Variações do volume do reator de metano em relação ao tempo de permanência para uma suspensão com 8% de resíduos secos.....	182
TABELA 54 – Análise do novo teor de resíduos secos da suspensão fermentada em relação a diferentes graus de decomposição.....	185
TABELA 55 – Parâmetros de operação da câmara de decomposição, após os testes experimentais.....	192
TABELA 56 – Balanço da produção de biogás e energia elétrica.....	196
TABELA 57 – Relação da capacidade de tratamento de usina pela área necessária a sua construção (m ²).....	197
TABELA 58 – Valores finais do projeto da usina de fermentação anaeróbica de Guaratinguetá.....	198
TABELA 59 – Custos específicos de investimentos de uma usina de fermentação anaeróbica.....	199

TABELA 60 – Custos específicos operacionais de uma usina de fermentação anaeróbica..... 201

TABELA 61 – Custos de investimentos e operacionais para coleta e tratamento de resíduos orgânicos em uma usina de fermentação anaeróbica na cidade de Guaratinguetá..... 203

TABELA 62 – Valores de venda de compostos orgânicos da cidade de Karlsruhe..... 204

TABELA 63 – Exemplificação de um teste realizado com um composto com intervalos de leitura de 4 horas..... 230

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Água Processual
APE	Água Processual Excedente
AS	volume de Água na Suspensão
ARO	volume de Água contida nos Resíduos Orgânicos
BG	Biogás
CEE	Consumo de Energia Elétrica
CEEE	Consumo de Energia Elétrica no Escritório
CEET	Consumo de Energia Elétrica no Tratamento
CET	Consumo de Energia Térmica
CETESB	Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico
CESP	Companhia Energética do Estado de São Paulo
CIRSK	Conceito Integrado de Resíduos Sólidos de Karlsruhe
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DIN	Norma Industrial Alemã
DT	Dias Trabalhados
EEPE	Energia Elétrica Produzida na Estação
EETCE	Energia Elétrica Total Consumida na Estação
EETCU	Energia Elétrica Total Consumida na Usina
EETCUE	Energia Elétrica Total Consumida na Usina e na Estação
E.T.Ch.	Estação de Tratamento de Chorume
GA	Gás de Aterro
GDI	Grau de Decomposição Inicial
GDF	Grau de Decomposição Final
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
KO	Composto Orgânico
LF	Condutibilidade

LS	Líquido Separado
LSC	Líquido Separado na Centrífuga
ME	Materiais Estranhos
MPL	Materiais Perturbadores Leves
MPP	Materiais Perturbadores Pesados
ND	Número de Dissoluções
PE	Potencial Elétrico
PET	Potencial Energético Total
PT	Potencial Térmico
ROT	Resíduos Orgânicos Totais
RS	Resíduos Secos
SEC	Suspensão Enviada a Centrífuga
SER	Suspensão Enviada ao Reator
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SPEET	Sistema de Produção de Energia Elétrica e Térmica
SO	Substâncias Orgânicas
TPR	Tempo de Permanência no Reator
TU	Teor de Umidade
UE	União Européia

LISTA DE SÍMBOLOS

a	ano	ano
c	calor específico	$\text{kJ/kg} \times ^\circ\text{K}$
GE/m^3	Carga de gases de escape com odores	GE/m^3
J	Joule	Joule
kJ	kilojoule (10^3 Joule)	Joule
kg	kilograma (10^3 gramas)	kg
kWh	kilowatt/h	kWh
l	litro	l
Mg	Megagrama (10^6 gramas = 1.000 kg) = tonelada	kg
MJ	Megajoule (10^6 Joule)	Joule
Nm^3	m^3 normatizado (0°C , 1,01325 bar)	m^3
t	tempo	s
ton.	tonelada (1.000 kg = 10^6 gramas)	kg
T	Temperatura	$^\circ\text{C}$
ΔT	variação de temperatura em	$^\circ\text{K}$
V(ad)	Volume de ar aduzido	m^3
$\varnothing$	Concentração de CO_2	%

MARQUES, A.L.P., *Proposta de um processo inovativo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, por fermentação anaeróbica, para a cidade de Guaratinguetá*, Guaratinguetá, 2001. 297 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

A simples remoção e disposição dos resíduos sólidos de forma inadequada, pode comprometer o solo, o ar, as águas e os recursos naturais, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, o que é uma séria ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. O complexo tema dos resíduos sólidos sempre foi motivo de discussão nos municípios brasileiros; esta discussão deve ser ampliada, buscando-se assim uma solução final para este problema. Uma forma integrada de tratar a problemática dos resíduos sólidos inclui um grande número de medidas singulares e níveis de ações interligadas da comunidade, o que envolve um objetivo comum: acabar com o conceito antigo da simples remoção e disposição dos resíduos; estudos nesta área são de profundo interesse tanto do ponto de vista técnico, como científico e político. Este trabalho, cuja parte experimental foi desenvolvida na usina de compostagem da cidade de Karlsruhe, Alemanha, procura mostrar um conceito inovativo de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, através de fermentação anaeróbica, com uma subsequente fase de tratamento aeróbico. O trabalho possibilitou o desenvolvimento de um projeto inovativo de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares para a cidade de Guaratinguetá, baseado em levantamentos quantitativos e qualitativos dos resíduos gerados. Este projeto viabiliza a solução de parte dos problemas gerados pelo “lixo”, tendo em vista que 60% dos resíduos domiciliares gerados são resíduos orgânicos, como na maioria dos municípios brasileiros. Também foi feita uma análise dos custos de investimentos e operacionais da usina projetada, de forma a evidenciar sua viabilidade econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de lixo, resíduos orgânicos, fermentação e composto

MARQUES, A.L.P., *Proposal of an inovative process of the treatment of domiciliar organic solid residues by an anaerobic fermentation to the city of Guaratinguetá.* Guaratinguetá, 2000. 297p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

SUMMARY

The simple removal and disposition of the solid residues in an inadequate way can compromise the soil, the air, the water and the natural resources, altering their physical, chemical and biological characteristics. This is a serious menace to the public health and the environment. The complex fear of the solid residues was always reason for discussion in the brazilian cities. This discussion should be enlarged with the objective to find a final solution for this problem. An integrated form of analysis of the problems concerning the solid residues includes a great number of singular measures and levels of community actions. It involves a common objective: to end with the old concept of the simple removal and disposition of the solid residues. Studies in this area are of great technical, cientific and political interest. This work shows a inovative concept to the treatment of the domiciliar organic solid residues by an anaerobic fermentation process with a subsequent phase of anaerobic treatment. The experimental part of the work was developed in Karlsruhe, Germany. The work was developed as an inovative project for the city of Guaratinguetá, based on quantitative and qualitative informations about the solid residues produced in the city. The project shows a solution for a part of this problem, because about 60% of the domiciliar solid residues are organic residues. An analysis of the investments and operational costs is developed in this work. It shows the economic viability of the project.

KEYWORDS: Garbage treatment, organic residues, fermentation and compost



1. INTRODUÇÃO

1.1. Situação do processo de compostagem no Brasil

Embora o Brasil seja um país de origem agrícola, o país tem pouca tradição na produção de compostos através de resíduos orgânicos provenientes principalmente de restos de comida. As principais instalações de compostagem são 15 (quinze), das quais, somente 2 (duas) estão em pleno funcionamento. Não há atualmente uma estimativa da produção de composto no país.

Na Tabela 1, é mostrado um quadro da localização das principais instalações de compostagem existentes no Brasil em 1995 (Lima, 1995), o método biológico de tratamento utilizado e o status operacional.

TABELA 1 - Localização, método biológico de tratamento e status das principais usinas de compostagem no Brasil em 1995.

Localização	Método de tratamento	Status operacional
São Paulo/São Paulo	Misto	Desativada
Vila Leopoldina/São Paulo	Aeróbico	Operando
São Mateus/São Paulo	Aeróbico	Operando
São José dos Campos/São Paulo	Aeróbico	Parada
Araçatuba/São Paulo	Aeróbico	Desativada
Bauru/São Paulo	Aeróbico	Desativada
Presidente Prudente/São Paulo	Aeróbico	Desativada
Niterói/Rio de Janeiro	Misto	Operando
Recife/Pernambuco	Misto	Operando
Maceió/Alagoas	Misto	Operando
Brasília /Distrito Federal	Aeróbico	Operando
Belém/Pará	Aeróbico	Desativada
Belo Horizonte/Minas Gerais	Aeróbico	Operando
Boa Vista/Roraima	Aeróbico	Parada
Manaus/Amazonas	Aeróbico	Parada

Os motivos que levaram a estas condições precárias nestas instalações de compostagem são os mais diversos possíveis, e os principais são:

- Falta de um estudo rigoroso, tanto quantitativo como qualitativo dos resíduos sólidos totais e conseqüentemente dos resíduos sólidos orgânicos;
- Uma análise rigorosa do melhor método biológico de tratamento dos resíduos;
- Mau planejamento da transferência tecnológica para implantação do sistema ;
- Mau dimensionamento, em relação à capacidade real necessária ao sistema;
- Falta de recursos financeiros para operação e manutenção do sistema;
- Falta de mão-de-obra especializada na operação do sistema;
- Falta de uma coleta seletiva, etc.

Na prática, o que se observa no Brasil, é que este não se encontra ainda muito bem fundamentado na área de compostagem, tanto pelo método aeróbico, anaeróbico ou misto. Devido aos vários motivos já citados e várias experiências mal sucedidas, que logicamente sempre levaram à produção de um composto de má qualidade; o processo como um todo está desacreditado no país.

O que se espera é que num futuro bem próximo os municípios brasileiros possam fazer um melhor planejamento em relação ao tratamento de resíduos sólidos, para fazerem uso efetivo dos recursos disponíveis e com isto possa ser mostrado a ótima qualidade que se pode obter através da produção de compostos de resíduos orgânicos.

1.2 Objetivos do trabalho

Os resíduos sólidos orgânicos coletados e dispostos de forma inadequada, ou seja, sem um pré-tratamento e uma disposição adequada, podem comprometer o solo, o ar e os recursos naturais, alterando suas características físicas, químicas e biológicas sendo de imediato uma séria ameaça à saúde pública e comprometendo no futuro o meio ambiente como um todo, trazendo conseqüências ainda não mensuráveis para o homem.

Este problema atinge dimensões ainda maiores no Brasil, pois o assunto resíduos sólidos, lixo, sempre foi colocado, como fora das prioridades dos municípios brasileiros. Uma estimativa feita pela Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico (CETESB, 1992), relata que aproximadamente 76% dos

municípios brasileiros não dispõem de um local adequado para a disposição dos resíduos, mas somente dos famosos “lixões”.

Logicamente, existem casos isolados e que devem ser citados; como as cidades de São Sebastião, Belo Horizonte e principalmente o estado do Paraná que iniciou um programa de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos, já implantado em Curitiba (Verano, 1999) e em mais da metade dos municípios do estado; estes são bons exemplos que devem ser seguidos.

A remoção dos resíduos urbanos não deve ser entendida simplesmente como aquele montante coletado pelas prefeituras e depositados nos lixões.

As remoções dos resíduos sólidos totais, são problemas a serem equacionados com alta prioridade. Para se obter uma solução adequada para os resíduos sólidos deve-se pensar na complexidade de seus aspectos, e sua discussão deve ocorrer nos vários grupos e níveis da sociedade, dependendo de informações técnicas, financeiras e ambientais.

Uma forma integrada de tratar os resíduos sólidos inclui um grande número de medidas singulares e níveis de ação interligados da comunidade que envolve um objetivo comum; acabar com o conceito antigo da simples remoção e disposição dos resíduos sólidos, e sim dirigir a um programa mais complexo baseado em uma solução definitiva para os resíduos sólidos, chamado *conceito integrado de resíduos sólidos*, e este, baseado nos seguintes princípios:

- Reduzir e evitar a geração de resíduos sólidos;
- Reciclar e tratar adequadamente os resíduos sólidos gerados;
- Depositar adequadamente os resíduos sólidos não aproveitáveis.

Isto deve iniciar-se com uma completa reestruturação dos departamentos de limpeza pública urbana.

A disposição final dos resíduos sólidos como parte integral do conceito, está inteiramente interligada com a conscientização da população, a capacidade de reciclagem e grau de tratamento. Eliminando os possíveis materiais recicláveis e após um tratamento seja ele, incineração, pirólise ou *compostagem aeróbica ou*

fermentação anaeróbica ou sejam eles todos juntos, sempre haverá rejeitos a serem dispostos de maneira adequada; técnica e economicamente.

Fica claro então que haverá sempre um aterro sanitário, e que é possível discutir a considerável redução dos resíduos a serem depositados neste e as possíveis diminuições de elementos contaminantes e danosos ao meio ambiente.

Baseado neste princípio, uma coleta e disposição final dos resíduos sólidos, segura e de bom senso é um dos assuntos mais importantes em relação à política atual do meio ambiente. O tratamento de resíduos orgânicos, por processos de compostagem, ganha, no momento, uma importância considerável no processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos domiciliares.

A compostagem, resumidamente, pode ser definida como a ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos em um composto estável que tenha como principal função a de fertilizante orgânico.

A principal diferença entre os processos de compostagem por fermentação método anaeróbico em relação ao processo de compostagem, método aeróbico situa-se exatamente na rigorosa falta de ar no decurso do processo (reatores fechados ou fermentadores). O método aeróbico é baseado no revolvimento da massa para a sua oxigenação ou mesmo o fornecimento de oxigênio.

Em relação à qualidade do composto produzido, as exigências devem ser iguais para ambos os processos. As fases de preparação e pós-preparação dos processos são comparáveis.

As principais vantagens do método anaeróbico em relação ao método aeróbico são:

- A produção de energia, ou biogás tendo normalmente 2/3 de composição em forma de metano e sendo este auto-sustentável do ponto de vista energético;
- Uma reduzida necessidade de área para sua implantação;
- E ainda uma reduzida quantidade de emissões.

A compostagem, como forma de aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos, no Brasil, assume um papel ainda mais importante representado na Tabela 2, que

mostra a composição dos resíduos sólidos domiciliares com valores de matéria orgânica próximos de 60% .

TABELA 2 – Composição percentual em peso dos resíduos sólidos domiciliares em Guaratinguetá – 1992 (Marques, 1991)

Especificação dos resíduos sólidos domiciliares	% em peso
Matéria orgânica *	58,45%
Papel e papelão	17,29%
Vidro	2,81%
Plástico e material têxtil	12,18%
Metal	4,31%
Outros materiais finos até 8mm	2,49%
Outros materiais médios até 16 mm	2,47%

*A fração orgânica é composta por 80% de restos de cozinha e 20% de restos de jardins

Este trabalho tem por intuito os seguintes objetivos:

- Um estudo minucioso do método de compostagem anaeróbica por fermentação de resíduos orgânicos provenientes de restos de comida;
- Análise quantitativa e qualitativa de todo o processo em relação ao material de entrada, composto produzido, biogás produzido, substâncias perturbadoras no processo, volume excedente de água do processo;
- Análise e discussão de fatores interferentes no processo como; a temperatura de operação do digestor, pH, metais pesados;
- Estudo minucioso do sistema de higienização do composto, e análise dos possíveis elementos interferentes no sistema como; tempo de permanência do composto, temperatura, relação quantitativa entre o composto e o material estrutural, o valor da umidade inicial e final, e variações do grau de decomposição;
- Análise de problemas operacionais e construtivos da usina de fermentação anaeróbica e do sistema de higienização do composto;
- Definição de um sistema inovativo para a decomposição dos resíduos sólidos orgânicos;

- Projeto e análise de custos para a construção de uma usina de fermentação anaeróbica em municípios brasileiros tendo como exemplo a cidade de Guaratinguetá.

A necessidade de uma política séria em relação aos resíduos sólidos é visível em quase todos os municípios brasileiros, espero assim, com este trabalho, contribuir para a solução deste problema brasileiro.

1.3. O porque do trabalho na Alemanha

A Alemanha, sempre trabalhando com o seu conceito integrado de resíduos sólidos e tendo um objetivo ímpar de evitar a produção de resíduos sólidos e o reaproveitamento dos resíduos que não podem ser evitados; está sempre procurando soluções alternativas e inovativas para o reaproveitamento dos resíduos sólidos.

No país, a parte orgânica representa 30% em peso dos resíduos sólidos domiciliares, inclusive os resíduos comerciais semelhantes aos residenciais, conforme mostrado na Tabela 3, ou seja, a compostagem representa um importante potencial de reaproveitamento deste tipo de resíduo.

TABELA 3 - Composição percentual em peso dos resíduos domiciliares na Alemanha - 1992 (Umweltbundesamt, 1984).

Especificação dos resíduos sólidos domiciliares	% em peso
Matéria orgânica	30,00%
Papel e papelão	16,00%
Vidro	9,00%
Plástico e material têxtil	10,00%
Metal	3,00%
Outros materiais finos até 8mm	16,00%
Outros materiais médios até 16 mm	16,00%

Na Alemanha, são utilizados os dois métodos biológicos de compostagem, tanto o aeróbico como o anaeróbico. É importante relatar que o país também enfrentou problemas iniciais na aceitação da produção de compostos através de resíduos sólidos orgânicos.

Os dois métodos de compostagem, aeróbico e anaeróbico são utilizados na Alemanha, sendo que o método aeróbico já se encontra bem mais difundido.

O método aeróbico é o mais utilizado estando com uma produção de 750 mil Mg/a de biocomposto. No estado de Baden-Württemberg, havia no final de 1993, 23 regiões com o sistema de coleta seletiva implantado e neste mesmo ano houve um aproveitamento de 127 mil Mg de resíduos sólidos orgânicos.

Em relação aos resíduos orgânicos domiciliares, dos 30% de matéria orgânica presente, 15% destes são resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, existindo ainda os resíduos provenientes de indústrias de produtos alimentícios, restaurantes, cantinas e indústrias de materiais estimulantes (café, cigarro, refrigerantes, etc) que apresentam uma melhor aptidão para serem tratados através de um processo biológico anaeróbico. Tendo este método além da vantagem da produção de um composto com excelente qualidade, a obtenção de um gás natural de boa qualidade.

Nos últimos anos este método tem evoluído muito tanto na Alemanha como na Europa, principalmente pelo motivo da produção do biogás e também por ser este um processo extremamente fechado (a decomposição dos resíduos orgânicos é feita em um reservatório hermeticamente fechado). Isto evita uma grande emissão de gases poluentes na atmosfera, quando comparado com o processo de compostagem aeróbica.

Na Alemanha, no final de 1993 eram cerca de 30 mil Mg/a de resíduos sólidos orgânicos tratados em três usinas de fermentação anaeróbica existentes. No começo de 1996 já eram 19 usinas em funcionamento com uma capacidade de tratamento de 350 mil Mg/a de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restos de comida como mostrado na Figura 1 (Herstellerangaben, 1996).

No entanto, ainda se pode observar, a existência de vinte usinas em planejamento, em aprovação ou já em construção, o que acrescentará uma capacidade de tratamento de mais 300 mil Mg/a, pois cresce não só o número de usinas como também a capacidade de tratamentos destas.



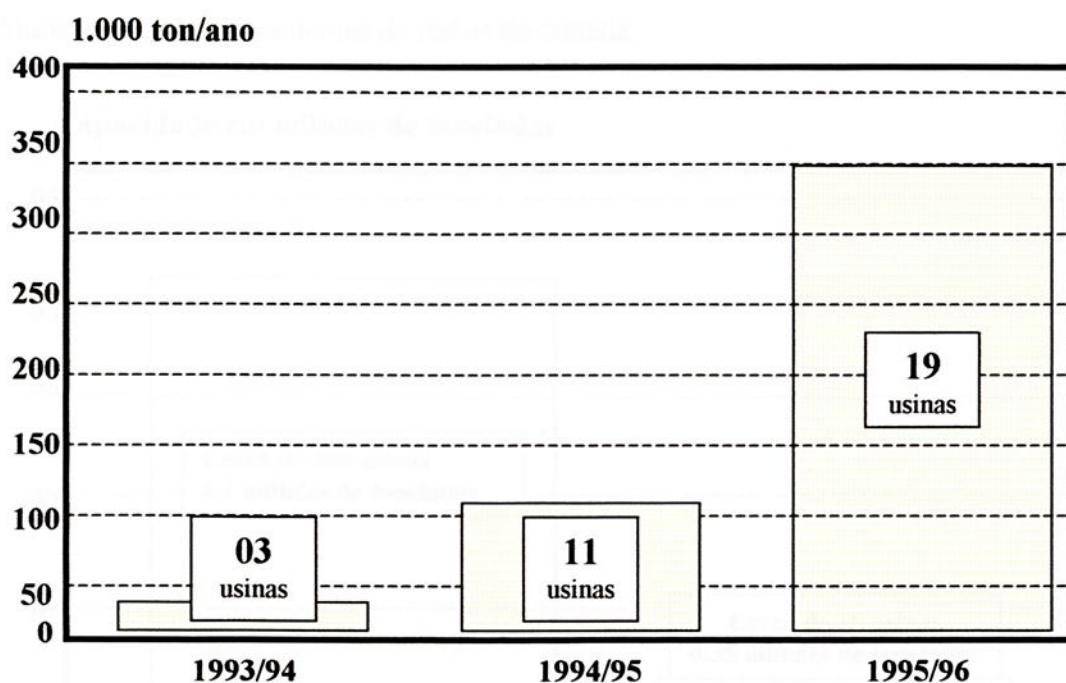


FIGURA 1 - Número de usinas de compostagem, método anaeróbico e sua capacidade de tratamento (1995/1996).

Na Figura 2 (Herstellerangaben, 1996), é feita uma comparação entre o número de instalações existentes e a capacidade de produção entre os dois métodos de compostagem, ano base 1996. Em relação ao método aeróbico observa-se a existência de 360 instalações com uma produção de 4.1 milhões de toneladas e em relação ao método anaeróbico a existência de 19 instalações com uma produção de 0,35 milhões de toneladas.

Existem atualmente na Alemanha 20 firmas, especializadas em construção de usinas de fermentação anaeróbica para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos.

Em Baden-Württemberg, o sistema tradicional de compostagem pelo método aeróbico é mais utilizado que o método anaeróbico. Em 1995, um balanço feito em Baden-Württemberg apresentou um total de 270 mil Mg de resíduos orgânicos provenientes de restos de comida e 630 mil Mg de resíduos verdes coletados. Isto corresponde a 4,90% em massa do total de resíduos sólidos coletados em Baden - Württemberg ou 87 kg/hab x a (1994 - 77kg/hab.x a).

Em 1985, em Baden-Württemberg, havia 45 estações de compostagem, método aeróbico para resíduos verdes e 25 usinas de compostagem método anaeróbico para resíduos orgânicos provenientes de restos de comida.

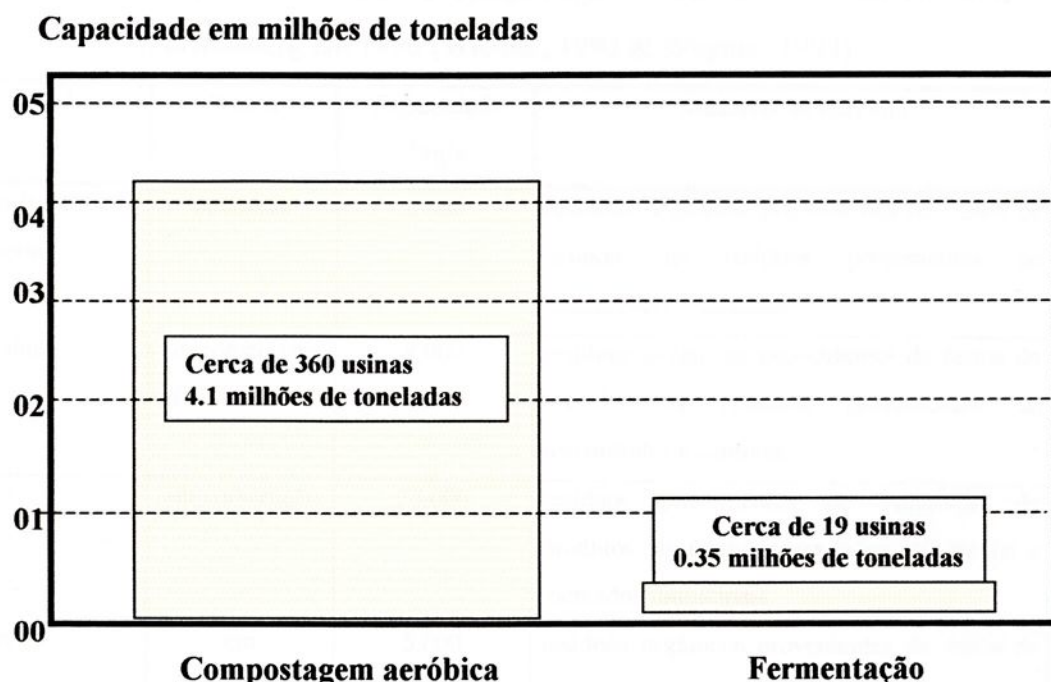


FIGURA 2 – Quantificação do número de instalações de compostagem existentes e capacidade produtiva em relação ao método biológico de tratamento (1995/1996) (Wiemer, 1996).

A partir de 1996, com a lei federal sobre resíduos sólidos de 12.02.1996, tornou-se obrigatório a coleta seletiva e o reaproveitamento dos resíduos verdes e resíduos sólidos orgânicos provenientes de restos de cozinha.

Na Tabela 4, são mostradas situações das usinas de fermentação anaeróbica, sua capacidade, material de entrada e seu status operacional.

No passado se discutia qual dos dois processos, compostagem método aeróbico ou compostagem método anaeróbico seria melhor ou mais adequado; hoje a concepção está fortemente voltada para uma instalação combinada, trabalhando com as duas técnicas em conjunto buscando com isto, o melhor tratamento dependendo do material de entrada.

A compostagem pelo método anaeróbico na Alemanha está em pleno

desenvolvimento, já produzindo compostos de igual qualidade em comparação com a compostagem pelo método aeróbico.

TABELA 4 – Situação das usinas de compostagem, método anaeróbico em Baden-Württemberg em 1996 (Wiemer, 1992 & Wiemer, 1994).

Local	Status	Capacidade Mg/a	Material de entrada
Baden-Baden Sinzheim	operando	5.000	resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, os resíduos provenientes de restaurantes e cantinas
Kalsruhe*	em construção, fase de testes	8.000	resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, os resíduos provenientes de restaurantes e cantinas
Singen	em construção	25.000	resíduos provenientes de indústrias de produtos alimentícios, cozinhas industriais e mercados municipais
Heilbronn	em planejamento	5.000	resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, os resíduos provenientes de restaurantes e cantinas
Mögglingen	em aprovação	2.000	70% de resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, restaurantes, cantinas e 30% de resíduos provenientes de indústrias de produtos alimentícios, grandes mercados e cozinhas industriais

Ao contrário, no Brasil, os processos de compostagem enfrentam uma série de problemas, devido às condições precárias das instalações de compostagem e também à má qualidade do composto produzido. Este é um dos principais fatores que grande parte de nosso estudo foi desenvolvido na Alemanha; um país com consciência ambiental, e com um intensivo e eficaz trabalho na parte de tratamento de resíduos sólidos. Sendo, atualmente, esta área também uma importante fonte geradora de empregos.

Na Tabela 5, é feita uma comparação de alguns parâmetros que definem a qualidade de um composto orgânico proveniente da compostagem de resíduos sólidos orgânicos, entre compostos produzidos na Alemanha e várias instalações no Brasil. Aqui, mais uma vez, é colocado a importância da compostagem, que está intimamente ligada com a qualidade do composto produzido e a conseqüente possibilidade de sua utilização na agricultura.

TABELA 5 - Parâmetros de qualidade de um composto orgânico – Brasil e Alemanha (Lima, 1995, Portaria Brasileira Nº 1 de 04/03/83 & Umweltministerium Baden-Württemberg, 1994).

Parâmetro / unidade	Alemanha faixa de valores	Brasil faixa de valores	Manaus	São Mateus	Vila Leopoldina	São Jose dos Campos
Matéria orgânica %	27,00-40,00	36,00-40,00	55,13	56,02	61,53	58,00
Valor de pH	7,20-7,80	5,40-6,00	7,90	8,33	8,07	5,05
Teor de umidade %	31,00-43,00	40,00-44,00	44,99	33,44	30,75	52,90
Nitrogênio %	0,88-1,50	0,90-1,00	1,04	1,58	1,59	0,80
Fósforo %	0,38-0,80	-	0,22	0,28	0,27	0,20
Potássio %	0,60-1,40	-	0,54	0,96	0,98	0,30
Relação C/N	12,00-20,00	18,00-21,00	25,11	17,47	19,28	41,75

A Alemanha aumentou ainda mais seus trabalhos após a Conferência do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas realizada no Rio de Janeiro em 1992, com 178 países participantes, que se comprometeram pela diretiva conjunta do *desenvolvimento sustentável*. A melhoria das condições econômicas e sociais de vida de todos os seres deve estar ligada à garantia, a longo prazo, das bases de vida naturais. Infelizmente, a poluição do meio ambiente não conhece fronteira, havendo assim a necessidade do trabalho em conjunto.

A política de defesa ambiental alemã é baseada em três princípios:

- *O princípio da prevenção:* A política de defesa ambiental deve estar esboçada de tal maneira, que dentro do possível, sejam eliminados perigos e evitados prejuízos ao meio ambiente;

- **O princípio do causador:** Não a comunidade, mas quem causa o dano ao meio ambiente é responsável e arca com os custos de sua eliminação;
- **O princípio da cooperação:** O Estado, a economia e os cidadãos cooperam na solução dos problemas ambientais, já que cada um tem responsabilidade para com meio ambiente.

A indústria e a economia também já entenderam que economia e ecologia não precisam ser antagonistas, mas sim que a proteção ambiental também é necessária sob o ponto de vista econômico. A consequente proteção do ar, da água e do solo é, a longo prazo, uma condição central para o desenvolvimento sadio da economia. Na Alemanha trabalham na proteção ambiental, direta ou indiretamente, mais de 700 mil pessoas.

Tecnologia ambiental de ponta "*made in Germany*" já se tornou um produto de exportação, procurado mundialmente. A participação da indústria alemã de defesa ambiental no comércio mundial perfaz cerca de 20,5%.

A nova lei alemã sobre a ***economia em ciclo integral*** significa o abandono do programa de eliminação de resíduos sólidos a favor de uma economia em ciclo integral, que terá como consequências principais a poupança efetiva de recursos naturais e de matéria-prima, o desenvolvimento de produtos que produzam poucos resíduos, acarretando em longo prazo, uma reorganização de todo o sistema de consumo e de produção para uma economia cíclica.

Neste contexto, o princípio da responsabilidade do causador é colocado num ponto central, com a idéia de responsabilidade pelo produto. As iniciativas próprias da economia devem ser fortalecidas, através da possibilidade de associações e corporações de administração autônoma assumirem tarefas relativas à eliminação de resíduos. Evitar e reaproveitar os resíduos sólidos são de grande interesse para a Alemanha, um país pobre em matérias primas.

O princípio da responsabilidade pelo produto foi consolidado juridicamente pela primeira vez por intermédio da portaria relativa à embalagens. Tanto os produtores como os distribuidores de embalagens são obrigados a aceitar de volta e reciclar seus produtos após o uso. Em 1992, as partes implicadas criaram uma entidade organizada pela economia privada, o *Duales System Deutschland* (DSD "Ponto Verde"), que

recolhe as embalagens utilizadas pelos consumidores, reciclando-as posteriormente. Os custos estão embutidos no preço do produto.

A área de tratamento de resíduos sólidos, na Alemanha, em relação à compostagem está amplamente desenvolvida e em completa evolução. A portaria federal da Alemanha, que regulamenta e normatiza o aproveitamento e utilização dos resíduos sólidos em relação a compostagem data de 21.09.1998 com entrada em vigor em 01.10.1998.

A parte experimental do nosso trabalho foi desenvolvida, na cidade de Karlsruhe, estado de Baden - Württemberg, pois o complexo tema dos resíduos sólidos sempre foi motivo de discussão na cidade de Karlsruhe, tendo elaborado em 1979, o conceito integrado de resíduos sólidos de Karlsruhe (CIRSK), possuindo assim uma grande experiência na área.

A cidade de Karlsruhe tem uma política singular, em relação à coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos; tem trabalhado incansavelmente nos últimos vinte anos sobre o problema buscando sempre soluções inovativas, mostrando seriedade e tecnologia de ponta na procura das melhores soluções. A cidade de Karlsruhe, com certeza, a cada dia, está conseguindo uma cidade cada vez melhor para se viver.

1.4. Revisão bibliográfica

A Tabela 6, faz uma breve descrição da história da compostagem.

TABELA 6 - História da compostagem

Data	Histórico
Antiguidade	os orientais usavam o método de compostagem para produção de fertilizantes de maneira artesanal, ou seja disposição em leiras e alguns revolvimentos da massa, usados principalmente na agricultura, chamados sistema chinês e utilizado até os dias de hoje
1920	Alberto Howard desenvolveu o processo Indore na Índia, que consistia em dispor os resíduos em valas de ou em montes formadas por camadas intercaladas de resíduos, lodo de esgoto ou esterco de animais e a massa era revolvida periodicamente
1922	Giovanni Becarri desenvolveu em Florença na Itália, um processo biologicamente misto chamo sistema Becarri, onde os resíduos sólidos primeiramente são dispostos em uma célula fechada para uma compostagem anaeróbica e após um determinado período é introduzido ar na massa para uma compostagem aeróbica

Data	Histórico
1932	Van Manhen, na Holanda propôs uma alteração do sistema Indore com o fornecimento de ar (aeração) no interior da massa, isto evitou o desprendimento de odores da massa e reduziu o tempo de compostagem de 360 para 180 dias
Década de 50	Sistema Carel-Fouché-Languépin, desenvolvido na França, já podendo ser definido como um sistema mais complexo e compostos de cinco etapas: recepção, trituração, peneiramento, digestão aeróbica e maturação
1957	Sistema Kiehl, desenvolvido por Edmar José Kiehl, professor da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, um sistema de produção de compostos a custos reduzidos, compostos por 2 fases disposição da matéria prima e irrigação e revolvimentos, modo artesanal muito usado ainda hoje na agricultura
Década de 60	Sistema Fairfield-Hardy, desenvolvido nos Estados Unidos; este sistema aeróbico é dividido em sete etapas: recepção, triagem manual, seleção eletromagnética, preparação da polpa, digestão, estocagem e armazenamento e politização. O período de compostagem é de no máximo 140 dias
1961	Em Arnhem, na Holanda, foi desenvolvido um sistema simplificado para tratamento dos resíduos sólidos que consiste em recepção, triagem manual, separação balística de substâncias pesadas, separação eletromagnética de metais ferrosos, refinação, fermentação e maturação em leiras. Tempo de compostagem 6 a 8 meses
1966	Sistema Windrow, foi desenvolvido por J.S.Wiley, F.E.Gartell & H. Smith em Johnson City, Tennessee, sendo uma otimização do processo de compostagem em leiras através diversas operações preliminares onde os resíduos são tirados, moidos e umidificados
1969	Sistema Fairfield-Hardy-Di Bartolomeis, desenvolvido por Di Bartolomeis em Milão na Itália introduzindo um forno rotativo no Sistema Fairfield-Hardy para queimar os rejeitos e também uma modificação do sistema de preparação da polpa, substituído por um classificador rotativo
1970	Sistema Biorapid, desenvolvido pela Sorain Cecchini S.A., em Roma, capaz de produzir um composto pronto para o uso em 48 horas, sendo composto de 5 fases, preparação da massa compostável, alimentação do sistema, câmara aeróbica de bioestabilização, secagem e extração, peneiramento e qualificação, o sistema não atende padrões de qualidade
1970	Sistema Varro desenvolvido por Stephan Varro, em Massachusetts nos Estados Unidos, um projeto similar ao Sistema Carel-Fouché-Languépin mas com modificações no mecanismo de transporte interno e armazenamento

Data	Histórico
1971	Sistema Dano, desenvolvido por R. E. Thomas, sendo um dos processos aeróbicos mais utilizados no mundo, e no Brasil foram instaladas sete usinas deste tipo, sendo o sistema composto de seis fases, recepção, triagem manual, seleção eletromagnética, bioestabilização, peneiramento e cura do composto em pátio
1977	Sistema Comlurb, instalado no Rio de Janeiro, Brasil pela Companhia de Limpeza Urbana, trata-se um processo de separação e reciclagem dos resíduos sólidos e a compostagem em leiras dos resíduos orgânicos
1979	No Brasil, L.M.Q.Lima propôs na cidade de Manaus uma modificação no Sistema Fairfield-Hardy devido aos problemas de incineração dos rejeitos, por causa do baixo poder calorífico e fez uma triagem, secagem, trituração e politização dos resíduos formando peletes com um poder calorífico superior de 3.500 kcal/kg
Anos 80	Sistema T.U.C., desenvolvido pela Techniken für Umweltschutz, em Düsseldorf na Alemanha que consiste em dez fases, recepção e descarga, triagem manual, classificação de produtos leves e pesados, classificação eletromagnética, trituração das frações leves e gráudas, separação pneumática, separação dos não metálicos, refinação, digestão e peneiramento
1983	Sistema Biodurb, projeto desenvolvido por M. R. Mello em Blumenau, Santa Catarina, propôs a criação de unidades de biodigestão espalhadas pela cidade como uma solução do problema de disposição dos resíduos sólidos. Uma das idéias é a reciclagem dos materiais, trituração da matéria orgânica, mistura com água e a fermentação natural da mesma para a formação de compostos

1.5. Resumo dos capítulos

O trabalho se divide em dez capítulos, que podem ser resumidamente descritos da seguinte forma: **No capítulo 1.(Introdução)**, é discorrido em algumas linhas sobre a importância do trabalho, decorrente da situação existente no Brasil. Também é discutido sobre a necessidade deste trabalho ser realizado na Alemanha, onde já se tem uma política bem definida e desenvolvida tanto em relação ao tratamento de resíduos sólidos como à proteção meio ambiente. **No capítulo 2. (Os Resíduos sólidos)**, faz-se uma descrição dos conceitos básicos, definições e características dos resíduos sólidos comparativamente entre Brasil e Alemanha. Com uma introdução a um dos tipos de tratamentos de resíduos sólidos, a compostagem. **No capítulo 3. (Tratamento de resíduos sólidos pelo método de compostagem anaeróbica)**, é feita uma descrição

do complexo tema de fermentação anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos, procurando-se fazer uma análise dos diversos fatores influentes na formação do composto e sua caracterização. Os diversos parâmetros de produção de biogás, os custos de investimentos e operacionais da usina também são analisados. **No capítulo 4. (Conceito integrado de resíduos sólidos de Karlsruhe)**, é feito um posicionamento da Alemanha, do Estado e da cidade no contexto “meio ambiente”, fazendo assim como um detalhamento o conceito integrado de resíduos sólidos da cidade de Karlsruhe e todas as fases de implantação deste processo. Complementando o capítulo é apresentado uma análise dos resíduos totais da cidade. Assim como é feita a descrição técnica dos vários componentes e uma análise do processo da usina de fermentação anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos domiciliares de Karlsruhe. **No capítulo 5. (Otimização, estudos e análises de fatores influentes na formação do composto e desenvolvimento de um sistema inovativo de compostagem anaeróbica)**, é desenvolvido um sistema inovativo de fermentação anaeróbica, não existente no Brasil, apropriado para a cidade de Guaratinguetá. Conjuntamente é mostrada uma análise quantitativa e qualitativa do método de fermentação anaeróbica, em relação aos diversos fatores influentes no processo. Através de um estudo minucioso do sistema de higienização do composto foi feito à otimização do processo e o desenvolvimento de uma fase subsequente de compostagem aeróbica que possibilitou um aumento na eficiência de todo o processo. **No capítulo 6. (Proposta e planejamento de um sistema inovativo para o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos em Guaratinguetá)**, é mostrada a realidade nacional dos resíduos sólidos, baseada no município de Guaratinguetá, e desenvolvido um projeto específico para o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, tendo como referência à usina da cidade de Karlsruhe; este projeto é adaptado às condições socioeconômicas, culturais e políticas brasileiras. Também é feito uma análise dos custos de investimentos e operacionais e sua viabilidade econômica. **No capítulo 7 (Conclusões)**, são feitas as análises e discussões do tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares pelo método de fermentação anaeróbica, mostrando a importância e relevância do trabalho realizado.

Encerrando o trabalho são apresentados as referências bibliográficas e apêndices.

2. OS RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1. Os resíduos sólidos

O conceito atual de resíduos sólidos existentes nos municípios brasileiros não pode mais ser entendido simplesmente como aquele montante coletado pelas prefeituras e depositados nos lixões (afastamento dos centros urbanos).

Nas legislações federais, estaduais e municipais, mostradas no item 2.2. estão descritas as providências mínimas que devem existir em relação aos resíduos sólidos, mas que infelizmente exemplificando em 7 municípios pesquisados (Wehenpohl & Pfaff-Simoneit, 1993) próximos a cidade de Guaratinguetá, em nenhum deles é colocado em prática a própria *lei orgânica do município*. Deve-se dizer ainda que estes municípios não são exceções a uma regra e sim o que de mais comum acontece no estado de São Paulo e que é um reflexo no Brasil inteiro.

A simples remoção e disposição dos resíduos sólidos de forma inadequada, podem comprometer o solo, o ar, as águas e os recursos naturais alterando suas características físicas, químicas e biológicas sendo de imediato uma séria ameaça a saúde pública e comprometendo no futuro o meio ambiente como um todo, trazendo conseqüências ainda não mensuráveis pelo homem.

Como alguns exemplos de contaminação podem ser citados:

- A contaminação do solo é caracterizada principalmente pelas inúmeras substâncias químicas, metais pesados e outros materiais que são depositados de forma inadequada nos lixões;
- A contaminação das águas é caracterizada principalmente pela percolação do chorume até riachos, córregos e rios levando os mais variados tipos de substâncias químicas, contaminando a água, os peixes e todo o ecossistema como referência relevante a esta contaminação podemos nos basear em que a carga orgânica de líquidos provenientes de aterros de lixo indica um valor médio da ordem de 10 mil mg/l e se comparamos este mesmo parâmetro para os esgotos *in natura* que tem uma carga orgânica de 300 mg/l, podemos assim dimensionar a gravidade do problema;

- A contaminação do ar é caracterizada principalmente pela grande carga de efluentes gasosos e particulados emitidos na atmosfera que se encontram em grande concentração nestes lixões.

Este conceito antigo de tratar os resíduos sólidos no Brasil, deve ser mudado, é preciso se buscar uma forma integrada de tratar os resíduos sólidos que envolvem algumas medidas principais como:

- Alteração do princípio de total responsabilidade municipal, pois o poder público não é responsável pela produção total de resíduos, mas também a população em geral, e assim o poder público precisa de recursos, meios que envolvem um grande número de medidas singulares e níveis de ações interligadas da comunidade para a realização, aí sim de sua responsabilidade a de uma procura da melhor forma de coleta, valorização e uma disposição adequada dos resíduos sólidos;
- Planejamento de um programa com medidas a curto, médias e longas prazo, adequadas às condições políticas, socioeconômicas e administrativas de cada município, mas que tragam uma solução definitiva em relação aos resíduos sólidos;
- Redefinições de alguns conceitos, inclusive sobre o que é lixo, pois a indústria de proteção do meio ambiente é, no caso da construção de um aterro sanitário, estações de reciclagem, de estações de tratamento, também uma fonte geradora de empregos como já foi citado no Capítulo 1.

A redefinição do que são os resíduos sólidos urbanos (CETESB, 1997 & Umweltbundesamt, 1984) começa com algumas perguntas e respostas baseadas no novo conceito de resíduos sólidos:

- O que são resíduos sólidos?

É comum definir lixo como todo e qualquer resíduo que resulte das atividades diárias do homem, na realidade o que se diz hoje é que os resíduos sólidos podem ser definidos como dois tipos de resíduos os que podem ser reaproveitados, sejam reciclados, tratados ou de outra forma e os que realmente devem ser depositados.

- De onde vem os resíduos sólidos?

Os resíduos sólidos são provenientes das atividades diárias do homem e de resíduos sólidos provenientes de modificações na sua natureza e composição resultantes de alguma valorização.

- O que se pode fazer com os resíduos sólidos?

Os resíduos sólidos devem primeiramente ser evitados, então reaproveitados e por último depositados de forma adequada.

Esta nova visão do que se deve fazer com os resíduos sólidos, encontra em primeira instância, uma necessidade de redefinições dos tipos de resíduos e suas características, ou seja, as próprias definições dos tipos de resíduos não permitem uma quantificação adequada destes para um posterior reaproveitamento. Baseado nisto é mostrado uma nova definição utilizada na Europa e na Alemanha. Não adianta um país trabalhar em defesa do meio ambiente e o seu vizinho não, pois a poluição não conhece fronteira e dentro deste contexto na conferência do meio ambiente e desenvolvimento das Nações Unidas, realizada no Rio de Janeiro em 1992, se comprometeram numa ação conjunta para a resolução de problemas ambientais globais.

2.2. A legislação dos resíduos sólidos no Brasil

As principais Leis, Decretos, Portarias e Resoluções da legislação no Brasil sobre resíduos sólidos são: Código Nacional de Saúde – Decreto 49.974-A de 21/01/1961; Código Florestal, Lei Nº 4771, de 15/09/65; Decreto Nº 8468 de 08/09/1976; Lei Estadual Nº 1172, de 17 de novembro de 1976 – Lei de Proteção dos Mananciais; Decreto Nº 12.342, de 27/09/1978 – Código Sanitário Estadual; Portaria Nº 53 de 01/03/1979, do Ministério do Interior; Lei Federal Nº 6766, de 19/12/79; Lei Estadual Nº 4435, de 05 de dezembro de 1984; Resolução CONAMA Nº 05, de 15/06/88; Resolução CONAMA Nº 06, de 15/06/1988; Lei Federal Nº 7802, de 11 de julho de 1989; Decreto Federal Nº 98.816, de 11 de janeiro de 1990; Portaria Estadual CVS-Centro de Vigilância Sanitária, da Secretaria da Saúde, Nº 14, de 06/04/90; Deliberação CONSEMA 20, de 27 de julho de 1990; Portaria Nº 1346, de 08/11/90,

do Ministério da Saúde; Decreto Legislativo Federal Nº 34, de 1991; Decreto Estadual Nº 32.955 de 07/02/1991; Resolução CONAMA Nº 02, de 22/08/1991; Resolução Federal Nº 005, de 05 de agosto de 1993; Resolução Nº 009, de 31 de agosto de 1993; Resolução Conjunta SS/SMA – 1, de 02 de maio de 1996; Lei Estadual Nº 9472, de 30 de dezembro de 1996; Resolução SMA Nº 50, de 25/07/97; Lei Nº 9866/97 de 28/11/97 – Lei de Proteção das Bacias Hidrográficas dos Mananciais de Interesse Regional do Estado de São Paulo; Lei Federal Nº 9685, que dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividade lesivas ao meio ambiente.

As principais são discriminadas a seguir:

2.2.1. Legislação federal

Resíduos sólidos são parte integrante de saneamento básico, e assim poluidores que prejudicam o meio ambiente. O assunto resíduos sólidos é tratado de uma forma geral na lei federal nº 6938, de 31.08.1991, sobre política nacional do meio ambiente.

Quanto ao licenciamento de atividades potencialmente poluidoras o artigo desta lei regulamenta:

- Art. 10 - A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como capazes, sob qualquer forma, de causar a degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA, no âmbito de sua competência, pertinente a deliberação de norma e padrões compatíveis com o meio ecologicamente equilibrado e essenciais à sadia qualidade de vida, aprovou a seguinte resolução relacionada a Saneamento.

A Resolução CONAMA nº 005, de 15 de junho de 1988, resolve que:



- Art. 1º - Ficam sujeitas a licenciamento de obras de saneamento para as quais seja possível identificar modificações ambientais significativas.
- Art. 3º - Ficam sujeitas a licenciamento as obras de sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotos sanitários, sistemas de drenagem e sistemas de limpeza urbana mostradas a seguir:

Inciso IV - Em sistemas de limpeza urbana:

- a) Obras de unidade de transferência, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de origem doméstica, pública e industrial;
- b) Atividades e obras de coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de origem hospitalar.

2.2.2. Legislação estadual

Como exemplo segue informações relativas a legislação estadual de São Paulo. A constituição do estado de São Paulo, de 05 de outubro de 1989, dispõe especificamente, quanto às questões de saneamento, no capítulo IV, isto é, (do meio ambiente dos recursos naturais e do saneamento):

- Seção IV: Do Saneamento:

Art. 215 - A lei estabelecerá a política das ações e obras de saneamento básico no estado, respeitando os seguintes princípios:

- I – Criação e desenvolvimento de mecanismos institucionais e financeiros, destinados a assegurar benefícios do saneamento à totalidade da população;
- II – Prestação de assistência técnica e financeira aos municípios, para o desenvolvimento de seus serviços;
- III – Orientação técnica para os programas visando tratamento de despejos urbanos e industriais e de resíduos sólidos, e fomento à implementação de soluções comuns, mediante a planos regionais de ação integrada;

No estado de São Paulo estas atividades interligadas com a proteção do meio ambiente são controladas e fiscalizadas pela CETESB, que tem como principais funções:



- Efetuar o controle de qualidade do meio ambiente, água, ar e solo, através de medidas preventivas e corretivas de emissão ou assimilação dos resíduos poluidores, sob qualquer forma de matéria ou energia;
- Efetuar exames e análise de resíduos líquidos e gasosos;
- Desenvolver estudos e pesquisas de interesse de seu campo de atuação;
- Promover treinamento e aperfeiçoamento de pessoal para as atividades relacionadas com o seu campo de atuação;
- Prestar assistência técnica especializada, sobretudo no exame de estudos e projetos e na supervisão de serviços de obras, bem como na operação e manutenção de sistemas operacionais.

2.2.3. Legislação municipal

Como exemplo é mostrada a legislação municipal referente a resíduos sólidos da cidade de Guaratinguetá. A lei orgânica municipal é a base legislativa para cada município. A especificação dos regulamentos neste nível administrativo é singular a cada município. A lei orgânica de Guaratinguetá foi aprovada em 05 de abril de 1990, e quanto à área pertinente de resíduos sólidos, se encontra nos seguintes artigos:

Seção III: do Saneamento

- Art. 265 - A lei estabelecerá a política das ações e obras de saneamento básico no município, respeitando os seguintes princípios:
 - I - Criação e desenvolvimento de mecanismos institucionais e financeiros destinados a assegurar os benefícios de saneamento à totalidade da população;
 - II - Prestação de assistência técnica e financeira ao órgão controlador para o desenvolvimento dos seus serviços, quando necessário;
 - III - Orientação técnica para os programas visando o tratamento de despejos urbanos e industriais e de resíduos sólidos, e fomentos à implantação de soluções comuns, mediante a planos regionais de ação integrada.
- Art. 268 - O poder público municipal dará o tratamento adequado ao lixo da cidade, devendo dirigir suas ações para viabilizar:

- I - O tratamento devido ao lixo hospitalar e industrial;
- II - O aproveitamento do material reciclável;
- III - O aproveitamento do material orgânico como fertilizantes e outros;
- IV - O tratamento adequado, dentro das normas sanitárias exigidas, ao lixo não reaproveitado.

- Art. 269 - Os instrumentos e equipamentos dos hospitais, similares e congêneres, possíveis de produzirem contaminação, ou resíduos nocivos à saúde, serão cadastrados obedecendo às especificações técnicas e a legislação federal e estadual.

Parágrafo único: Através de levantamento detalhado, o município especificará os locais adequados para o lançamento dos resíduos previstos neste artigo, concedendo as condições ambientais.

- Art. 270 - O município disporá, em lei ordinária, sobre o condicionamento, coleta, transporte e destinação final do lixo contaminado, proveniente de estabelecimentos hospitalares e congêneres.

§ 1º - A manipulação, acondicionamento do lixo contaminado serão de responsabilidade exclusiva da fonte geradora, que deverá seguir normas estabelecidas pelos órgãos de competência federal, estadual e municipal de defesa do meio ambiente.

§ 2º - Os serviços de coleta, transporte e destino final do lixo contaminado serão de competência exclusiva do município, com custos arcados pelos estabelecimentos hospitalares e congêneres.

§ 3º - A instalação e utilização de incineradores ou equipamentos similares, destinados à destruição do lixo contaminado, em edificações residenciais, comerciais, hospitalares e de prestação de serviços e de saúde em geral, atenderão a normas definidas pelo município.

- Art. 271 - O município deverá especificar e administrar os locais propícios para a destinação e tratamento do lixo urbano e industrial.

Parágrafo único - No caso de lixo industrial, os custos serão arcados pelas

fontes geradoras.

Os artigos citados da lei municipal, não são aplicados em Guaratinguetá, como também não são aplicados em aproximadamente 76% dos municípios do estado de São Paulo que não dispõem de um local adequado para a disposição dos resíduos, mas somente dos famosos *lixões*.

2.3. Classificação básica e redefinição dos resíduos sólidos

2.3.1. Classificação dos resíduos sólidos no Brasil

A classificação no Brasil, (CETESB, 1997) em referência ao critério de origem, dos resíduos sólidos, seguem as descrições abaixo:

- **domiciliares:** são os resíduos sólidos produzidos em residências, em estabelecimentos comerciais, industriais, prestadores de serviços públicos e similares, cujo volume é compatível ao dos recipientes padronizados adotados para apresentação à coleta regular e à legislação municipal no que se refere à produção máxima diária de materiais que, pelas características físico-químicas, exigem tratamento diferenciado;
- **industriais:** são aqueles gerados pela atividade industrial e que não cabem na definição de lixo domiciliar;
- **urbanos:** todo e qualquer resíduo gerado dentro dos limites de um conglomerado urbano. De acordo com sua origem específica, volume, periculosidade ou estado físico, é classificado por definição própria;
- **de serviços de saúde:** aqueles gerados pela atividade de hospitais, instituições de saúde, farmácias, laboratórios, clínicas e similares;
- **perigosos:** aqueles que requerem cuidados especiais quanto à coleta, ao transporte, ao tratamento e à destinação final, pois apresentam substancial periculosidade à saúde humana ou aos organismos vivos ou ao meio ambiente e se caracterizam pela letalidade e/ou pelos efeitos acumulativos adversos.

A classificação dos resíduos sólidos (CETESB, 1997), pela sua constituição predominante, podem ser definidos como:

- **residenciais** constituídos de restos de preparo de refeições, de alimentos, de lavagens, de invólucros diversos, de vasilhames, de papéis, de papelão, de plásticos, de vidro, de varredura, de folhagens, de ciscos e outros;
- **comerciais:** constituídos de papel, de papelão, de plástico, de caixas, de restos de lavagens, e outros;
- **industriais:** constituídos de sobras de refeitórios, de papel e de restos de limpeza de escritórios que normalmente são removidos pela própria indústria ou por empreiteiros;
- **de serviços de saúde:** constituídos de restos de alimentação e de seu preparo, de sobras de refeições, de restos de salas de operação, de medicamentos, de papéis, de invólucros, de varredura, de flores, de restos de laboratório, de biotério e de jardins, etc.;
- **especiais:** constituídos de resíduos produzidos esporadicamente, como: folhagens, restos de poda, animais mortos, entulhos, mobiliários, carros abandonados e outros não coletados pela coleta regular;
- **feiras, mercados, varrição, áreas públicas e outros:** constituídos de papéis, de pontas de cigarros, de invólucros descartados, de restos de capinação ou de roçagem, de folhas, de areia, de cisco, de restos de limpeza de bocas-de-lobo, de ramais, de galerias e outros esporádicos.

Os resíduos sólidos urbanos, excetuando-se os de serviços de saúde e os entulhos, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, podem ser analisados segundo os critérios da Norma NBR-10.004, enquadrando-se na Classe II.

Os resíduos de serviços de saúde, de acordo com a NBR-12.808, de janeiro de 1993, são classificados da seguinte forma:

Classe A – Resíduos infectantes

Tipo A1 – Biológico

Tipo A2 – Sangue e hemoderivados

Tipo A3 – Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato

Tipo A4 – Perfurante ou cortante

Tipo A5 – Animal contaminado

Tipo A6 – Assistência ao paciente

Classe B – Resíduo especial

Tipo B1 – Rejeito radioativo

Tipo B2 – Resíduo farmacêutico

Tipo B3 – Resíduo químico perigoso

Classe C – Resíduo comum

Os entulhos, por sua vez, por não apresentarem características de solubilização de componentes que comprometam a qualidade da água quanto a sua potabilidade, como por exemplo, rochas, tijolos, vidros e borrachas, são classificados como Classe III, ou seja inertes.

Para padronizar a classificação dos resíduos sólidos, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas dispõe do seguinte conjunto de normas:

NBR – 10.004 – Resíduos Sólidos - Classificação

NBR – 10.005 – Lixiviação de Resíduos

NBR – 10.006 – Solubilização de Resíduos

NBR – 10.007 – Amostragem de Resíduos

2.3.2. Uma redefinição de tipos de resíduos sólidos

Os respectivos tipos de resíduos sólidos são definidos pura e simplesmente conforme as descrições a seguir, buscando uma definição uniforme de uso e englobam todos os tipos de resíduos sólidos existentes e esta redefinição se mostra importante no Brasil.

2.3.3. Resíduos sólidos domiciliares não aproveitáveis

Resíduos sólidos domiciliares não aproveitáveis, sendo a parte restante dos resíduos que não poderão ser aproveitados e devem ser coletados regulamente pela administração municipal ou por firma contratada. Este deve ser depositado de forma adequada em um aterro sanitário.

2.3.4. Resíduos sólidos orgânicos

Resíduos sólidos orgânicos são todas as partes dos resíduos sólidos que podem sofrer uma decomposição orgânica.



Por exemplo: restos de comida, resíduos orgânicos de cozinha, meios de nutrição, ossos, restos de jardinagem, capinas, podas, etc

2.3.5. Resíduos sólidos não domiciliar proveniente de restos de comida

Resíduos sólidos orgânicos provenientes de indústrias alimentícias, feiras públicas e restaurantes tendo uma ótima carga orgânica.

Por exemplo: restos de verdura, frutas ou restos orgânicos em grande quantidade de indústrias

2.3.6. Resíduos sólidos provenientes de atividades comerciais ou industriais

São todos os resíduos sólidos, não domiciliares, provenientes de atividades comerciais, industriais ou serviços externos.

2.3.7. Resíduos sólidos industriais e comerciais semelhantes ao residencial não aproveitáveis

Estes tipos de resíduos são gerados em oficinas, indústrias, comércio e locais específicos de consumo, são materiais não aproveitáveis que depois de coletados separadamente podem ser conduzidos a um aterro específico de resíduos domiciliares.

2.3.8. Resíduos sólidos de específicas produções

Resíduos sólidos de origem industrial ou comercial de específicas produções, estes não aproveitáveis, embora sem elementos prejudiciais ou resíduos sólidos especiais a serem separados e, portanto podendo ser descarregado em um aterro sanitário de resíduos domiciliares.

2.3.9. Resíduos sólidos especiais

Resíduos sólidos contaminados, que, se depositados conjuntamente com os resíduos sólidos domiciliares coloca em perigo o pessoal de coleta ou o aterro sanitário onde este resíduo se destina.

Por exemplo: tintas, meios de dissoluções (solventes), colas, vernizes, materiais de pintura, barrilhas, ácidos, toalhas de limpeza de óleo sujo, restos de substâncias químicas utilizadas para proteção de madeiras ou plantas.



2.3.10. Resíduos sólidos reaproveitáveis

São os resíduos sólidos ou materiais de valor, que devem ser coletados separadamente, evitando assim sua contaminação, devido à possibilidade de sua reutilização no mercado, ou seja, um resíduo reaproveitável.

Por exemplo: papel, papelão, metal, madeira, plástico, roupas velhas, estroopor, vidro e as outras embalagens que possuem materiais com possibilidades de separação.

2.3.11. Resíduos sólidos orgânicos verdes provenientes de jardins ou parques

Os resíduos orgânicos verdes são provenientes de jardins, parques municipais, agricultura, florestas, jardins privados e cemitérios.

Por exemplo: Oriundos de podas, limpezas, corte de gramas, corte de arbustos, corte de folhagens, capinas, troca de plantas velhas em cemitérios ou queda natural das folhas.

2.3.12. Resíduos sólidos minerais provenientes de construções ou obras

Resíduos sólidos minerais provenientes de obras ou construções dividindo-se em:

- Entulho de obras, aproveitável.

Por exemplo: Pedras naturais, tijolos, pisos cerâmicos, peças cerâmicos de sanitários, telhas, lajes, partes de concreto, cascalhos, pedaços de asfalto e ferros de construção.

- Entulho de obras, não aproveitável.

Por exemplo: Concreto poroso, materiais porosos, gesso, outros materiais sem fontes idôneas ou os próprios materiais citados acima com alguma espécie de contaminação.

2.3.13. Resíduos sólidos não minerais provenientes de construções ou obras

Resíduos sólidos não minerais provenientes de obras ou construções dividindo-se em:

- Resíduos sólidos de construções, aproveitáveis.

Por exemplo: Baldes, tubos plásticos, cabos, portas de madeira, janelas velhas, paletes, sacos de cimento vazio, latas, pedaços de metal, assim como outros materiais de valor.

- Resíduos sólidos de construções, não aproveitáveis.

Por exemplo: Restos de tapetes, de papéis muito sujos, papel alcatroado com betume, tubos, conexões e pedaços de chapas impregnados com materiais pastosos, assim como outras matérias de valor, mas impregnados de materiais prejudiciais.

2.3.14. Resíduos sólidos provenientes de materiais de escavações

Materiais provenientes de obras ou construções provenientes de escavações, normalmente reutilizáveis, desde que não estejam contaminados e de boa qualidade.

2.3.15. Resíduos sólidos provenientes de matérias de rompimento de ruas

Materiais provenientes de rompimentos de ruas, ligados a betume ou alcatrão.

2.3.16. Resíduos sólidos de peso relativo e volume médio, respectivo

Resíduos sólidos, que normalmente possuindo um peso relativo e um volume médio, não sendo possível exigir uma quebra (redução para resíduos menores) ou uma acomodação adequada nos container de coleta de resíduos. Estes são considerados, todos aqueles elementos móveis, contidos em uma edificação (não interligados as partes sólidas da construção), por via de regra, que podem ser transportados em uma mudança, e podendo ser dividido em:

- Resíduos aproveitáveis.

Por exemplo: Guarda-roupas de madeira, prateleiras e armários metálicos

- Resíduos não aproveitáveis.

Por exemplo: Colchões, móveis almofadados, madeiras ou armários com Cupim.

2.3.17. Resíduos sólidos elétricos

Aparelhos que precisam para o seu funcionamento de energia ou tem poder de transmissão podendo ser dividido em dois grupos:

- Aparelhos de pequeno porte.

Por exemplo: Torradeira elétrica, máquina automática de fazer café, aparelho de barbear e telefone.

- Aparelhos de grande porte.

Por exemplo: Geladeira, freezer, máquina de lavar roupa, fogão elétrico e máquina de lavar louça.

2.3.18. Resíduos sólidos eletrônicos

Aparelhos ou sucatas que possuem em sua construção grande parte de componentes eletrônicos.

Por exemplo: computador, aparelhos de televisão, aparelhos de conversão eletrônica.

2.4. Tipos de tratamento de resíduos sólidos

A disposição final dos resíduos sólidos como parte integrante do novo conceito de resíduos sólidos está inteiramente interligada com a capacidade de reciclagem e grau de tratamento a que foram submetidos os resíduos sólidos.

Os principais tipos de tratamentos são: reciclagem, incineração, pirólise, e compostagem aeróbica ou todos juntos.

Mesmo com todos os tipos de tratamentos sempre haverá rejeitos tecnicamente ou economicamente a serem dispostos de maneira adequada em um aterro sanitário.

A Tabela 7, faz uma comparação em alguns países dos principais métodos de disposição dos resíduos sólidos.

TABELA 7 – Comparação dos sistemas de disposição de resíduos sólidos municipais em diversos países (Das Umwelt Lexikon, 1993)

País	Ano de referência	Aterro sanitário	Incineração	Compostagem
Estados Unidos	1987	85,00%	10,00%	5,00%
Alemanha	1987	67,80%	28,50%	3,70%
França	1985	52,00%	36,00%	12,00%
Japão	1985	25,00%	68,00%	7,00%
Suíça	1985	18,00%	80,00%	2,00%
Suécia	1985	40,00%	50,00%	10,00%
Itália	1983	84,00%	14,00%	2,00%
Reino Unido	1983	91,00%	8,00 %	1,00%

2.5. Compostagem

A compostagem , ou seja, a arte de fazer compostos orgânicos a partir dos resíduos sólidos, embora seja uma prática antiga, atualmente está em grande desenvolvimento principalmente por dois motivos:

- O uso de fertilizantes orgânicos tem sido reclamado principalmente nos países industrializados devido ao movimento naturalista, mais intensamente revigorado nas últimas décadas. Este movimento tem contribuído diretamente para a difusão dos compostos orgânicos pela exigência produtos mais saudáveis e produzidos naturalmente sem a adição de fertilizantes químicos.
- Com o novo conceito integrado de resíduos sólidos, o tratamento de resíduos orgânicos, por processos de compostagem, ganha no momento uma importância considerável no sentido de reaproveitamento dos resíduos sólidos domiciliares, exatamente pelo alto valor percentual destes na sua composição.

O desenvolvimento da compostagem está interligado com o aparecimento de novas técnicas e procedimentos capazes de produzir compostos de boa qualidade, e passíveis de utilização. A grande vantagem está exatamente que estes compostos produzidos a partir de resíduos sólidos orgânicos podem propiciar a recuperação de solos agrícolas exauridos pela ação de fertilizantes químicos aplicados indevidamente.

A compostagem resumidamente pode ser definida como a ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos em um composto estável que tenha como principal função a de fertilizante orgânico.

2.5.1 Definição

A compostagem é definida como o ato ou a ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos em uma matéria biogênica ou composta mais estável .

O composto é a denominação genérica dada ao fertilizante orgânico resultante do processo de compostagem . No processo de compostagem a matéria orgânica atinge dois estágios mais importantes:



- Digestão, correspondendo à fase de fermentação na qual a matéria alcança a bioestabilização;
- Maturação, correspondendo à fase em que a matéria atinge a humidificação;

O composto cru é aquela matéria triturada e homogênea, resultante da fase inicial de preparação do composto, que é utilizada na agricultura sem ser digerida. A adição de composto cru em culturas deve ser bem orientada pois a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) costuma ser elevada, fazendo com que a atividade dos microorganismos seja prejudicial às plantas. O composto curado é aquela matéria digerida e bioestabilizada resultante da fase final do processo de compostagem, recomendada para ser aplicada na agricultura sem envolver quaisquer níveis de concorrência entre a atividade microbiológica e as plantas que receberam o composto. Em geral, o composto curado apresenta baixa relação Carbono/Nitrogênio (C/N).

Uma usina de compostagem é um complexo eletromecânico formado por diversas etapas destinadas a preparar o composto orgânico. Nas usinas de compostagem, em geral, todas as fases do processo de digestão e maturação são controladas e monitoradas diariamente, obtendo-se no final do processo, um composto com qualidade aceitável.

2.5.2. Classificação da compostagem

A principal classificação feita na compostagem é em relação ao fornecimento ou não de oxigênio, podendo este ser descrito como aeróbico, anaeróbico e misto:

2.5.2.1. Processo aeróbico

Quando a fermentação ocorre com a presença de ar, neste processo a temperatura da massa em decomposição sempre é elevada e ocorre o desprendimento de gás carbônico e vapor de água.

2.5.2.2 Processo anaeróbico

Quando a fermentação é processada na ausência de oxigênio, ocorre o desprendimento de CH_4 (Metano), H_2S (Sulfetos) e outros.

2.5.2.3. Processo misto



Quando o processo se desenvolve uma parte aeróbica e a outra anaeróbica.

2.5.3. Características do composto orgânico de resíduos orgânicos como fertilizantes

As principais características do composto orgânico como fertilizante (Pfeffer, 1980) são:

- Fornecimentos dos macronutrientes principais, como nitrogênio, fósforo e potássio (N,P,K), além de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) assimilados diretamente e responsáveis pelo desenvolvimento das plantas. As principais funções destes cinco nutrientes podem ser descritas como:
 - **Nitrogênio:** Elemento construtivo na formação de albuminas ácido nucléico, amins diferentes bases orgânicas e na clorofila das folhas.
 - **Fósforo:** Elemento construtivo na membrana das células e na formação do Adenosina Trifosfato e também dos nucleotídeos e coenzimas.
 - **Potássio:** Controla o conteúdo de água e influencia numerosas reações enzimáticas e a formação de importantes macromoléculas.
 - **Cálcio:** É importante elemento construtivo do esqueleto das plantas.
 - **Magnésio:** É o mais importante elemento na formação da clorofila e regulador de importantes processos como o pH, a água interna e entrada e a saída de íons.
- Fornecimento dos micronutrientes, como Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Cloro (Cl).
 - Retenção da umidade do solo, em períodos de secas e prevenção contra a erosão devido a sua grande porosidade;
 - Agregação e estruturação do solo, o composto funciona como elemento cimentante de agregação e estruturação do solo;
 - Melhora na consistência do solo, fazendo uma atenuação das condições mais desfavoráveis de solos secos e muito úmidos, melhorando o mesmo para o cultivo.

3. TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PELO MÉTODO DE COMPOSTAGEM ANAERÓBICA

Este capítulo descreve o método de técnicas anaeróbicas de fermentação de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e de áreas comerciais (grandes cozinhas, feiras pública, mercados de produtos alimentícios e indústrias de produtos alimentícios).

Além disso, são descritos sistemas de coleta de resíduos sólidos, e pequenas instalações de biogás utilizadas na agricultura, bem como um estudo sobre o tipo de materiais de entrada nas instalações e os métodos de tratamento por "via seca" e "via úmida".

3.1. Material de entrada

3.1.1. Procedimentos, métodos e tipos de materiais para a fermentação

Potencial do material de entrada

Em uma usina de compostagem anaeróbica podem ser utilizados como materiais de entrada também resíduos orgânicos úmidos ou até molhados, como por exemplo restos de comida de uma cantina, ao contrário de uma instalação aeróbica onde este tipo de material não tem uma boa aceitação. Em compensação não são muitos bem aceitos materiais com grande conteúdo de lignina, isto é, resíduos ricos em madeira, por exemplo resíduos de podas de árvores e arbustos. Isto se deve ao fato que as bactérias vivas no processo de fermentação anaeróbica não tem grande capacidade de degradar a lignina.

Para os resíduos orgânicos de residências, provenientes de regiões urbanas (regiões de casas que possuam jardins) ou áreas rurais, onde contenham grande quantidade de materiais ricos em madeira ou lignina, outros resíduos orgânicos devem ser misturadas para que se tenha uma boa fermentação. No aspecto global, o espectro de materiais de entrada para uma compostagem anaeróbica são maiores do que para uma compostagem aeróbica.

Além disso, a definição dos procedimentos técnicos para a construção de uma usina de compostagem em determinadas regiões estão relacionadas diretamente tanto

com a análise quantitativa dos resíduos sólidos orgânicos (produção), como com a análise qualitativa dos resíduos (composição).

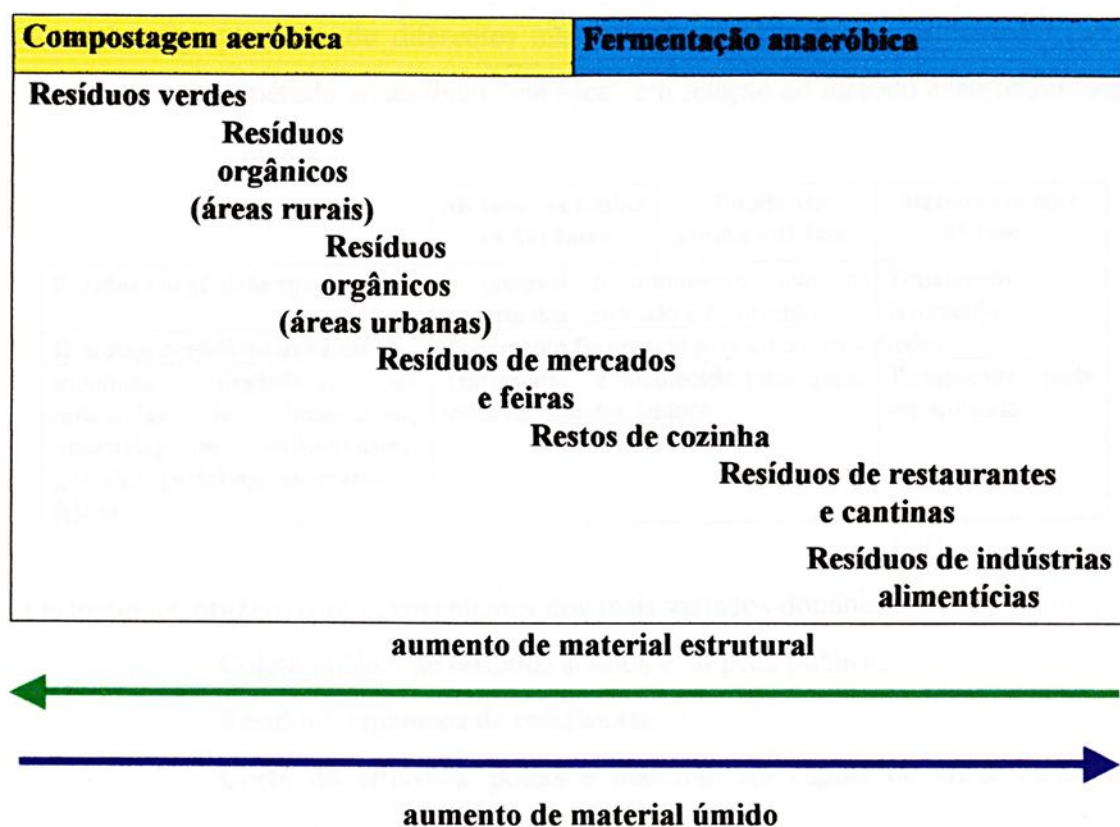


FIGURA 3 – Aptidão orgânica dos resíduos sólidos para um tratamento anaeróbico ou aeróbico.

Os processos chamados “via seca” trabalham com material de entrada, com um conteúdo de massa seca acima de 25%. Este método é válido para resíduos orgânicos especiais ricos em materiais estruturais, como por exemplo, oriundos de regiões rurais, ricos na quantidade de resíduos verdes.

Os processos chamados “via úmida”, exigem um material de entrada com uma porcentagem de massa seca abaixo de 10%. Este método é válido para resíduos orgânicos com pouca quantidade de materiais estruturais, como por exemplo, resíduos orgânicos oriundos de restaurantes e, além disso, com uma alta porcentagem de água. Os materiais de entrada podem ser tratados através dos dois processos, ou com o acréscimo de água (método via úmida) ou com a mistura de materiais secos (método via seca).

A Tabela 8, mostra o melhor método de tratamento anaeróbico de acordo com o material de entrada, em relação ao processo “via seca” e ao processo “via úmida”.

TABELA 8 – Aptidão de diferentes materiais de entrada para o tratamento pelo método anaeróbico “via seca” em relação ao método anaeróbico “via úmida”.

	Método via úmida várias fases	Método via úmida - 01 fase	Método via seca 01 fase
Resíduos orgânicos rurais	É possível o tratamento, mas na maioria das vezes não é favorecido		Tratamento favorecido
Resíduos orgânicos urbanos	Tratamento favorecido para ambos os métodos		
Resíduos orgânicos de indústrias de alimentação, indústrias de estimulantes, grandes cozinhas, mercados e feiras	Tratamento é favorecido para quase todos os métodos úmidos		Tratamento pode ser utilizado

Os materiais orgânicos são provenientes dos mais variados domínios:

- Coleta pública de resíduos sólidos e limpeza pública;
- Resíduos orgânicos de residências;
- Corte de arbustos, podas e materiais de capina de áreas verdes e cemitérios;
- Coleta de resíduos de áreas comerciais e industriais como: cantinas, restaurantes, indústrias de alimentação, grandes mercados e indústrias de estimulantes.

Para materiais estruturais, especialmente lignina, que não tem aptidão para o processo de fermentação podem ser tratados em “Estações de Compostagem Aeróbica”. Assim ambos os métodos podem ser integrados em uma instalação chamada “Instalação Combinada”. Do processo de fermentação temos o biogás e os resíduos de fermentação ou pré-composto e secundariamente o chorume e materiais perturbadores. Os resíduos de fermentação irão formar o composto.

Os resíduos orgânicos produzidos em residências devem ser coletados separados, principalmente de baterias, pilhas e fraldas, e outros materiais não próprios para o tratamento anaeróbico, para não comprometer o processo. Para minimizar este problema, em relação aos metais, devem ser instalados detectores de metais ainda na etapa de pré-tratamento (triagem) na usina.

O tipo de material de entrada tem uma importância fundamental no processo, pois dele é dependente todo o processo, a qualidade do composto, do biogás e conseqüentemente o funcionamento do processo.

Co - Fermentação

Este método de fermentação dos resíduos orgânicos divide-se em dois tipos:

- Co – fermentação com lodo de esgoto ou esterco;
- Co – fermentação com os restos dos resíduos, este processo está ainda em fase experimental.

O processo chamado “Co – fermentação” (Hoppenheidt & Mücke, 1999) com lodo de esgoto ou esterco, inicia-se em um digestor de uma estação de tratamento de esgotos ou em uma instalação rural de fermentação de esterco – biogene, com a mistura de resíduos orgânicos provenientes de restos de comida, resíduos indústrias de alimentação ou provenientes de capina e poda juntamente com o lodo de esgoto ou esterco para o processo de fermentação.

Assim, sem medidas construtivas na estação, pode ser aumentada a produção de biogás, devido ao incremento de grandes quantidades de massas secas orgânicas existentes nestes materiais, em comparação aos lodos de esgotos e esterco.

Aparentemente após dados iniciais do processo Co - fermentação com lodo de esgoto ou esterco, este tem se mostrado viável e com boa aceitação no mercado.

Atualmente estes métodos estão em estudos, mas para conclusões definitivas, deve-se ainda aguardar mais resultados sobre a qualidade do composto e do biogás produzidos em relação aos limites pré-estabelecidos e permissíveis das normas vigentes.

Fermentação dos restos de resíduos sólidos e resíduos domiciliares

Os restos de resíduos são uma parte da coleta de resíduos sólidos do município, que sobram após uma coleta seletiva dos materiais de valor como: vidro, papéis, plástico, resíduos orgânicos e outros. Os resíduos de uma fermentação dos restos de resíduos ainda podem ter um teor de matéria orgânica de 5% (cinco).

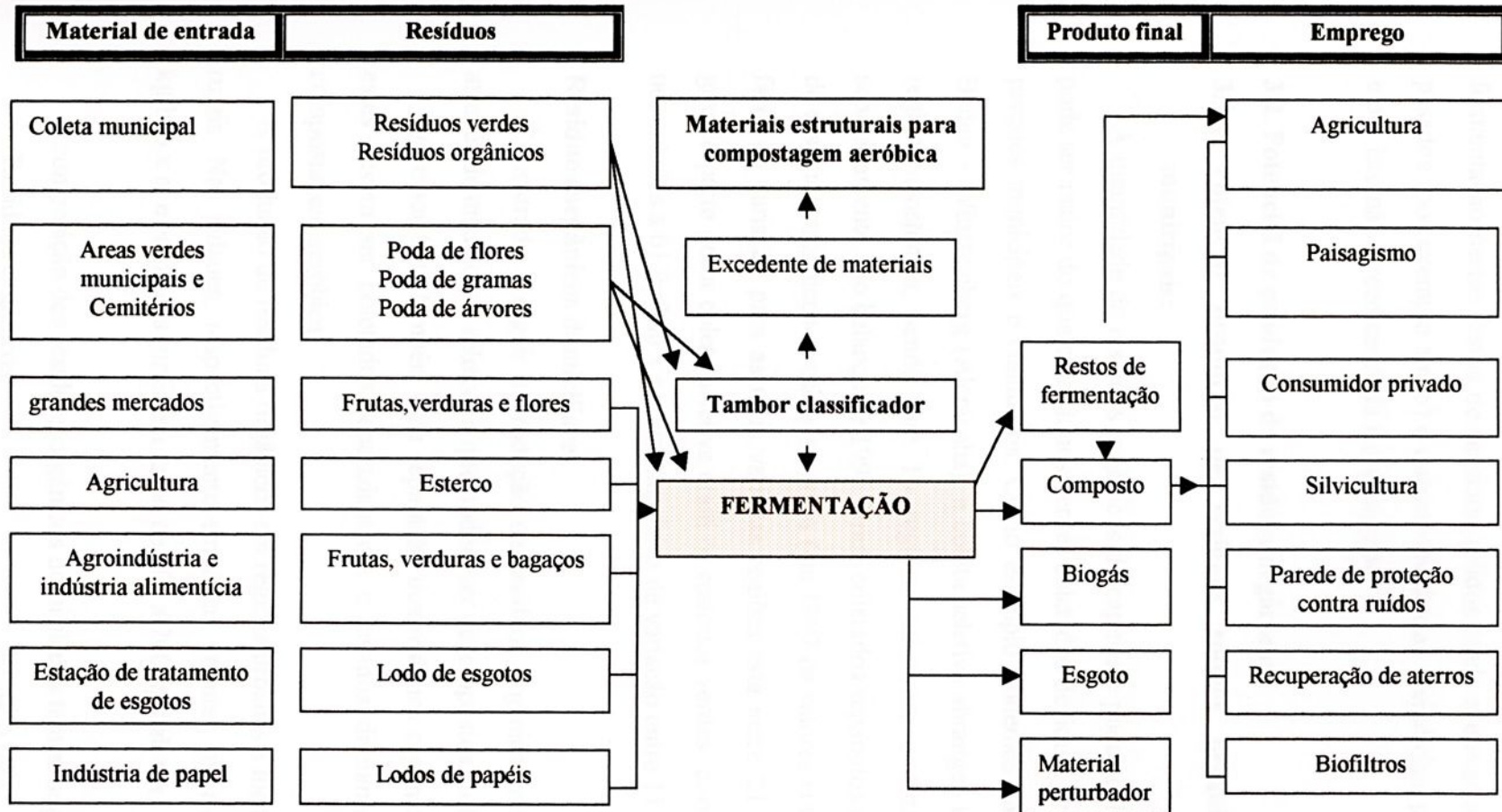


FIGURA 4 - Esquemática do caminho dos resíduos em uma usina de compostagem pelo método anaeróbico (Scherer, 1995).

Experiências executadas em países como França e Holanda, mostraram que a fermentação destes restos de resíduos sólidos tende a elevar a quantidade de metais pesados (por exemplo zinco) e outras substâncias prejudiciais presentes no composto e por isto não é recomendada sua utilização.

3.2. Potencial de produção de resíduos orgânicos

3.2.1. Potencial produção de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e municipais:

A quantidade de resíduos orgânicos de capinas e podas coletadas em residências, pode ser maior do que os resíduos verdes coletados devido à poda de áreas verdes em parques municipais e cemitérios. Como exemplo podemos citar que no Estado de Baden – Württemberg (Alemanha), a coleta seletiva abrangeu um total de 29 das 44 regiões existentes, sendo que 16 regiões coletaram o total dos seus resíduos separadamente. No balanço de 1995 foram coletados separados em média 87 kg/habx a de resíduos orgânicos e resíduos verdes (em 1997 os valores eram de 77 kg/habx a). A faixa de variação para as mais variadas regiões está entre 21 e 415 kg/hab x a. A grande parte desta coleta seletiva eram os resíduos verdes correspondente em média nos estados a 61 kg/hab x a com uma faixa de variação entre 11 a 320 kg/hab x a.

Resíduos orgânicos domiciliares

É mostrado a seguir a produção de resíduos orgânicos domiciliares, recolhidos através de uma coleta seletiva e que podem ser decompostos biologicamente.

Deve ser feita também uma separação dos resíduos orgânicos verdes, sendo que estes devem ser coletados separadamente e levados diretamente a uma usina de compostagem aeróbica.

A produção de resíduos orgânicos em regiões urbanas é menor do que em regiões rurais. Nas cidades, respectivamente em áreas urbanas, situa-se em torno de 100 kg/hab x a e em zonas rurais em torno de 100 a 200 kg/hab x a.

A composição dos resíduos orgânicos domiciliares tem as seguintes frações:

Resíduos orgânicos:	50 até o máx. 80 kg/hab x a
---------------------	-----------------------------

Resíduos de jardins:	20 até o máx. 200 kg/hab x a
Cortes de flores e plantas:	10 até máx. 30 kg/hab x a

Para uma análise dos resíduos domiciliares estes podem ser divididos em frações menores como:

Resíduos finos	peneira de 8 mm.
Resíduos médios	peneira de 8 a 40 mm

Potencial produtivo de resíduos orgânicos domiciliares, inclusive resíduos verdes:

- 80 kg/hab x a até o máx. 300 kg/hab x a , com cerca de 30% até 60% de massa seca em relação à quantidade total dos resíduos.

O quantitativo e qualitativo dos resíduos orgânicos têm consideráveis diferenças em relação a diferentes regiões e são dependentes dos seguintes aspectos:

- Estrutura da região;
- Sistema de compostagem próprio (parte dos resíduos);
- Grau de adesão da população;
- Modo de adesão da população;
- Livre escolha para um sistema de compostagem próprio;
- Valor das taxas de coleta;
- Modo e tamanho da região;
- Sistema de coleta existente no município;
- Frequência de coleta.

Resíduos municipais de áreas verdes e cemitérios

Nos municípios, as grandes quantidades de resíduos orgânicos - biogenes, "são provenientes de parques municipais e áreas verdes (Edelmann, 1995). Estes tipos de resíduos verdes podem ser decompostos pelo próprio município. Eles são compostos de cortes de gramas, podas e capinas sendo formados, na maioria, de materiais estruturais ricos em lignina, e com isto apto a ser decomposto pelo método aeróbico.



3.2.2. Áreas industriais e comerciais

Os resíduos sólidos orgânicos, normalmente úmidos, coletados nas regiões industriais e comerciais são aptos normalmente à fermentação, principalmente os resíduos provenientes de:

- Hotéis, restaurantes e cantinas;
- Mercado de produtos alimentícios (mercadoes, CEASA's e feiras municipais) e indústria de produtos alimentícios.

Hotéis, restaurantes e cantinas:

As regiões de hotéis, restaurantes e cantinas como também em regiões de hospitais e clínicas de tratamento possuem um grande potencial para produção de resíduos orgânicos.

As condições destes resíduos orgânicos em relação às substâncias nocivas à saúde devem ser fiscalizadas pelas instituições municipais, estaduais ou federais.

O sistema de utilização destes resíduos orgânicos pelo órgãos públicos devem atender às condições sanitárias impostas ao estabelecimento, de acordo com decretos federais ou estaduais.

A logística necessária, assim como o ritmo de coleta, devem ser conciliados com o produtor dos resíduos. Estudo para redução de preços e regras do sistema de coleta devem ser posteriormente analisados, caso a caso, com o produtor de resíduos, não trazendo assim, problemas de higiene ao gerador.

Resíduos de mercados de produtos alimentícios e de indústrias alimentícias

As regiões de mercados de produtos alimentícios (mercadoes, CEASA's e feiras municipais) e de indústrias de produtos alimentícios produzem normalmente resíduos sólidos pastosos ou líquidos e pobres em lignina, possuindo assim um ótimo potencial para fermentação. Estes resíduos orgânicos, geralmente, mostram uma composição homogênea.

Este material é de boa qualidade para o uso em usinas de fermentação e o conseqüente tratamento através do processo anaeróbico, embora deva ser feito, antes



de sua utilização, uma pré-análise da possível presença de elementos inibidores ao processo de fermentação.

3.3. Descrição do método de fermentação

3.3.1. Fundamentos da fermentação de resíduos orgânicos

Fundamentos biológicos

Os processos anaeróbicos, devido à ausência de oxigênio, produzem produtos nas reações como o gás metano (CH_4) e ácidos orgânicos, sendo que as substâncias carbônicas não são completamente oxidadas.

Pela fermentação dos resíduos orgânicos é formado o composto orgânico e o biogás, normalmente de 2/3 de gás metano (CH_4) e 1/3 de gás carbônico (CO_2).

Outros processos de fermentação, bem conhecidos são:

- processo de fermentação alcoólica para produção de vinhos e cervejas, tendo como produto final o Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$);
- processos naturais de fermentação realizam-se por exemplos em pântanos e solos pantanosos e no estômago de ruminantes.

No processo de fermentação participam vários tipos de microorganismos, e em cada etapa de transformação, para que ocorram as diferentes reações de trocas de substâncias são necessários que as condições do meio sejam favoráveis, como temperatura, pH, etc. Os substratos de saída para as reações são provenientes de proteínas, gorduras e açúcares existentes nos resíduos orgânicos.

A digestão anaeróbica através de microorganismos pode ser dividida em quatro etapas (Schlegel, 1995).

- **Hidrólise**

Durante a hidrólise as substâncias orgânicas compostas de grandes cadeias moleculares serão separadas (celulose, amido, etc.), através das bactérias e de enzimas em pequenas unidades (álcoois, aminoácidos, glicerois e etc.). Com isto as substâncias estão mais acessíveis a outros processos de degradação.

- **Formação de ácidos**



As pequenas moléculas formadas pela hidrólise serão transformadas por bactérias singulares (anaeróbica facultativa) em ácidos orgânicos (propanato, butirato, lactose) e em álcoois (etanol).

Outras bactérias transformam as substâncias orgânicas iniciais diretamente em ácidos acéticos (acetatos), dióxido de carbono e hidrogênio. Os valores ótimos de temperatura e pH nesta fase são: temperatura 30 °C e um pH de 6 (domínio levemente ácido).

- **Formação de ácidos acéticos**

O produto da formação de ácidos (ácidos orgânicos e álcoois), continua a ser degradado através das bactérias anaeróbicas (obrigatoriamente) em acetatos (ácidos acéticos) hidrogênio e dióxido de carbono.

- **Formação do metano (metanogênese)**

O metano forma-se através de bactérias metânicas ou metanogênicas, essencialmente anaeróbicas, através da separação do acetato e da ligação do dióxido de carbono e hidrogênio. Neste meio, é insuficiente a quantidade de hidrogênio para a completa transformação do dióxido de carbono em metano, assim o biogás contém ainda aproximadamente 1/3 de dióxido de carbono e um pouco de outras substâncias (por exemplo gás sulfídrico). Os valores ótimos de temperatura e pH para a metanogênese são: temperatura de 35 a 45°C e pH de 7 (relativamente neutro).

As bactérias ácidas e as bactérias metânicas vivem em simbiose uma com a outra. Os produtos das reações (hidrogênio e ácido acético) das bactérias ácidas devem ser afastadas do sistema para a formação de bactérias metânicas. Isto é necessário, porque as reações termodinâmicas de digestão das bactérias acetogênicas só se realizam sobre baixas pressões parciais de hidrogênio. Especialmente a digestão dos ácidos propânicos para ácidos acéticos. Para as outras será requerido uma baixa concentração de ácidos acéticos por causa do pH, favorecendo a atividade do metabolismo (reações) das bactérias metânicas, o qual encontra um valor ótimo do pH em torno de 7, e esta não pode ser prejudicada.

Na digestão anaeróbica, as bactérias participantes podem se multiplicar devagar, devido à presença de substâncias químicas orgânicas prejudiciais a reprodução das mesmas. A Figura 5 mostra esquematicamente uma decomposição anaeróbica.

Vista geral sobre a técnica de instalações anaeróbicas

Independente das interpretações técnicas dos métodos e procedimentos e do material de entrada a ser tratado são válidas as seguintes afirmações para todas as instalações anaeróbicas:

- Melhor layout possível da instalação;
- Minimização das emissões;
- Maximização dos valores líquidos de produção de energia;
- Ótima qualidade do produto;
- Mínima necessidade de área;
- Minimização de custos de investimentos e custos de funcionamentos;
- Segurança no trabalho e técnicas de proteção.

3.3.2. Preparação do material

O material transportado às instalações é geralmente descarregado diretamente em um silo de entrada, de onde é levado ao tratamento.

Dependente do tipo de material de entrada ser seco, úmido ou até líquido, os silos de entrada podem ser principalmente de três tipos:

- Silo de superfície;
- Tanque de carga;
- Silo de profundidade.

Os silos de profundidade, apesar de serem um dos mais utilizados nas usinas de compostagem, implicam em altos custos de construção e além disto é desejável que as substâncias nocivas presentes no material de entrada sejam separadas antes do descarregamento no silo.

A grande vantagem do mesmo é a sua capacidade de armazenamento que possibilita pequenas manutenções na usina sem que se tenha que dar outro destino aos resíduos orgânicos.

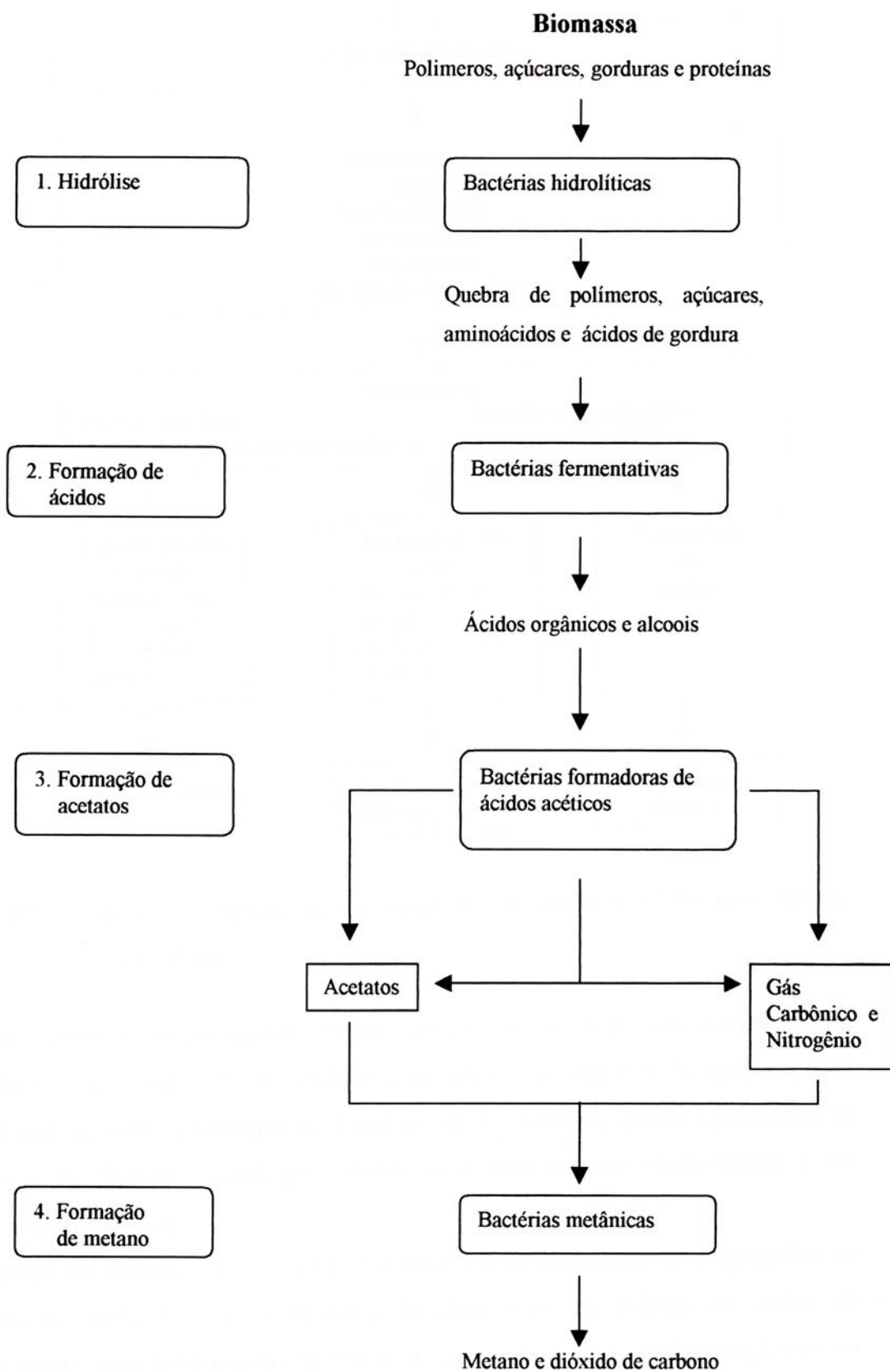


FIGURA 5 - Digestão anaeróbica de biomassa e a formação de biogás (CH_4 e CO_2).

A Figura 6 mostra os procedimentos gerais do método anaeróbico.

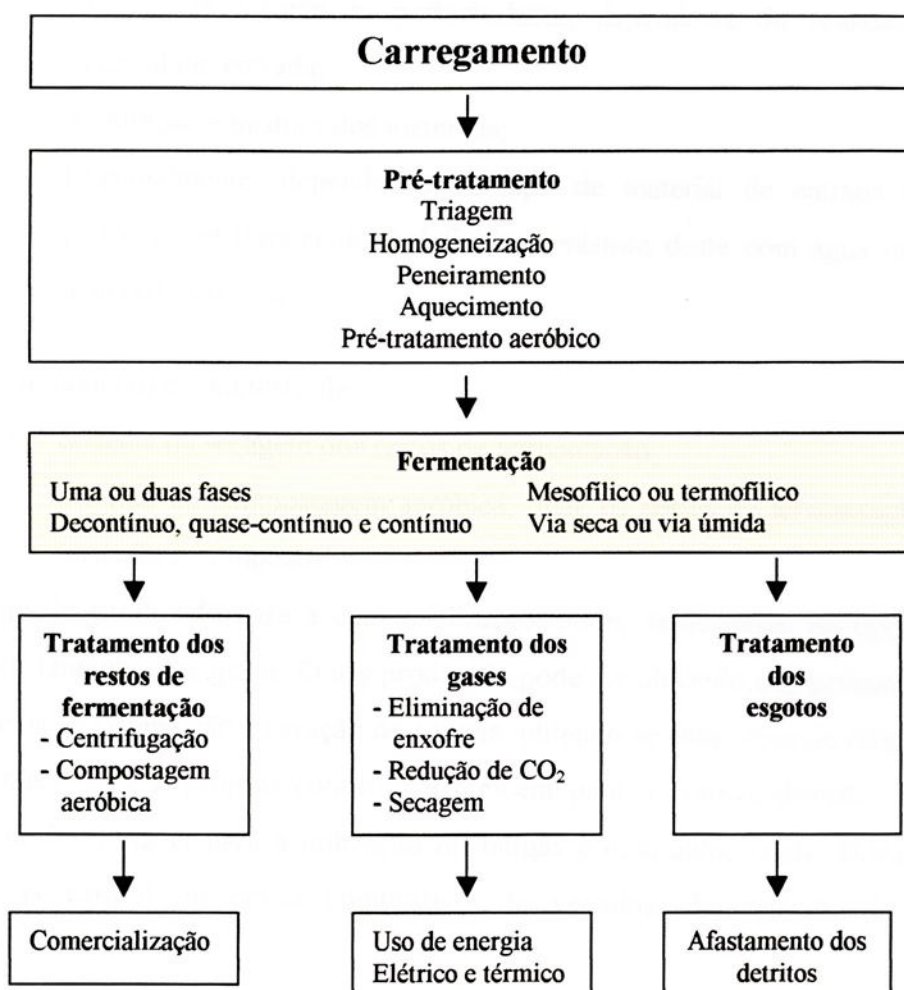


FIGURA 6 – Procedimentos gerais no tratamento de resíduos sólidos pelo método anaeróbico.

Os resíduos descarregados devem, dentro do possível, ser imediatamente trabalhados, especialmente os resíduos com altas concentrações de água e pouca quantidade de materiais estruturais. Estes resíduos orgânicos, devido a problemas de cheiro e do chorume devem, pelo menos no mesmo dia, ser encaminhados a um tratamento preliminar.

Deve ser analisado em uma usina o aumento da capacidade dos agregados do tratamento preliminar ou o aumento da capacidade de volume do reator de fermentação para a diminuição do tempo de permanência dos resíduos orgânicos no recebimento.

O pré-tratamento é composto de :

- Seleção de substâncias perturbadoras, dependente da qualidade do material de entrada;
- Trituração e mistura dos materiais;
- Eventualmente, dependendo do tipo de material de entrada e do processo de tratamento é definido a mistura deste com água ou um material estrutural.

O pós-tratamento é composto de:

- Sistema de secagem dos restos de fermentação;
- Sistema de compostagem aeróbica, onde os restos de fermentação se tornarão o composto.

O composto produzido para a comercialização, pode, dependendo do tipo, ser separado por tamanho dos grãos. O gás produzido pode ser utilizado energeticamente em um sistema de combustão e geração de energia, obtendo-se assim energia elétrica e energia térmica para o próprio consumo e também para a comercialização. Uma alternativa também viável para a utilização do biogás é uma alimentação direta em redes de gás natural ou como combustível de veículos, dependendo de sua composição.

Pela preparação poderá ser selecionado, em referência ao material de entrada, as seguintes quantidades de materiais perturbadores (embalagens plásticas , metais, etc):

- Cerca de 2 a 5% massa seca antes da entrada do material no reator de fermentação, sendo esta separação feita por métodos magnéticos, manual, dissolução ou turbilhonamento (pré-tratamento).
- Cerca de 1 a 2% massa seca para a preparação dos restos de fermentação em composto, sendo esta separação feita principalmente por peneiramentos em peneiras de diferentes granulometrias ou por método eólico (pós-tratamento).

O produto da fermentação (restos de fermentação) tem, normalmente, um conteúdo de substâncias perturbadoras abaixo de 1%. Estes materiais perturbadores selecionados podem ser reaproveitados ou eliminados (por exemplo, ferro separado

através de uma seleção magnética). As técnicas de fermentação são detalhadas nos próximos itens.

Pré-tratamento dos materiais (tratamento preliminar)

A preparação dos materiais de entrada tem um grande significado em relação à qualidade do composto, e nesta fase antes do processo de fermentação que podem ser separadas consideráveis substâncias perturbadoras e nocivas ao processo.

A técnica de preparação dos resíduos orgânicos pode ser feita por diferentes métodos, pelo método via úmida (flutuação, sedimentação e separação - ciclone hídrico - trituração úmida - dissolução). Para ambos os métodos “via seca” e “via úmida” são necessários as etapas de pré-tratamento como seleção eletromagnética, peneiramento e trituração.

Existe uma diferença entre os métodos de separação devido à alteração da composição das substâncias e a alteração da qualidade das substâncias mostradas na Tabela 9. A escolha do método de preparação depende da composição dos resíduos sólidos e das condições a seguir.

Atualmente no mercado, são propostos nas técnicas de fermentação uma trituração através de moinhos ou outros processos para aumento das áreas superficiais, peneiramento e um separador eletromagnético. Especialmente para materiais de entrada secos pode ser feitos uma separação manual.

Em cada tipo de método é necessário uma mistura de água no processo, uma espécie de malte formado durante o processo e através desta mistura do malte com os materiais será feita uma injeção de bactérias. Além disso, pode ser melhorado o material para o processo de fermentação com o acréscimo de barrilha (NaOH - hidróxido de sódio) e a conseqüente diminuição do pH da mistura.

Com esta mistura ocorrerá uma maior homogeneização dos materiais antes da entrada no reator de fermentação.

Um importante fator é o aquecimento da mistura antes da entrada no reator para manter-se sempre um processo uniforme dentro do reator, não havendo assim quedas bruscas de temperatura internas.



A preparação pelo método "via úmida" é marcada por uma boa separação dos materiais perturbadores leves através de um método de flutuação e pesca e os materiais perturbadores pesados através de um método de sedimentação.

TABELA 9 - Métodos para a preparação dos resíduos sólidos antes da fermentação.

Processos para separação de materiais com diferentes composições
- Controle visual e triagem manual (separação de substâncias perturbadoras); - separação metálica de materiais metálicos; - separação balística; - separação por decantação ou flutuação (separação de materiais leves e pesados); - peneiramento e separação de diferentes frações; - fornecimento de materiais nutritivos para os microorganismos; - mistura de diferentes materiais de entrada.
Processos para pré-tratamento de materiais de diferentes qualidades
- pré-tratamento aeróbico; - trituração (moinho ou sistema de laminação); - mistura da solução (mistura com a água processual); - trituração úmida; - dissolução alcalina das substâncias; - ajuste do valor de pH; - aquecimento; - hidrólise.

Para processos mesofílicos será garantida uma higienização antes ou após a fermentação através de um aquecimento dos materiais por um mínimo de uma hora com temperaturas de 65 a 70°C. Uma alternativa também possível é uma higienização após o processo de fermentação por um processo aeróbico na câmara de decomposição; em todo caso a higienização deve se feita em temperaturas termofílicas, ou seja, > 55°C.

Para garantir a higienização tanto nos métodos mesofílicos como nos métodos termofílicos é suficiente um aquecimento de cerca de 1 hora a temperatura de 70°C antes ou depois do processo de fermentação.

A Tabela 10, mostra uma vista geral de métodos anaeróbicos de preparação e pré-tratamento.

TABELA 10 - Preparação e pré-tratamento de resíduos orgânicos por diferentes processos de fermentação.

	Processo por via úmida Várias fases	Processo por via úmida 01 fase	Processo por via seca 01 fase
Tratamento via seco anteriores a fermentação	Independente do método de fermentação são previstas diferentes etapas preparação a seco: - trituração e triagem; - triagem manual e magnética; - homogeneização; - pré-tratamento aeróbico.		
Mistura	Alimentada pela água processual (retorno de água do processo) e pela umidade dos resíduos.	Alimentada pela água processual e pela umidade dos resíduos.	
Preparação por via úmida	Dissolução dos resíduos e separação das substâncias através de sedimentação ou flotação e ou uma combinação com o reator de hidrólise	Não previsto	

Pós-tratamento dos materiais:

O material fermentado é levado agora para um processo de drenagem.

Normalmente para se manter ainda uma porcentagem de massa seca de 30 a 50%, ideal para uma posterior fase de maturação, deve-se usar um dos seguintes agregados:

- Centrífuga;
- Prensa helicoidal;
- Prensa de filtração;
- Filtro câmara.

Os conteúdos dos materiais perturbadores nos restos de fermentação são menores do que 1%. O grau de decomposição dos restos de fermentação situa-se normalmente entre os níveis I e II e tem o cheiro fortemente reduzido. Os restos de fermentação são tratados normalmente com o acréscimo de material estrutural e esta mistura é levada a um tratamento aeróbico, para a troca das bactérias anaeróbicas pelas aeróbicas e higienização para uma posterior maturação e a formação do composto.

A comercialização do composto deve ser feita após um peneiramento para uma separação do composto em diferentes tamanhos de grãos uma maior eliminação de materiais grosseiros e perturbadores.

3.3.3. Métodos de fermentação

Existem atualmente no mercado mundial várias firmas que oferecem diferentes instalações. Neste item descreve-se somente as diferenças fundamentais dos métodos.

Introdução aos métodos

Os métodos se diferem essencialmente pelos seguintes critérios:

- a - Fases de processamento..... uma ou mais fases
- b - Conteúdo de água do material de entrada..... seco ou úmido
- c - Temperatura de trabalho..... mesofílico ou termofílico
- d - Forma de operação..... contínuo ou descontínuo
- e - Modo de mistura..... Percolação, agitação ou recirculação

a - Método de processamento de uma fase, duas ou mais fases

Após a preparação dos materiais pode-se ter um processo singular de fase única como mostrado na Figura 14 ou um processo de duas ou mais fases como mostrado na Figura 15.

No **processo de fase única** são realizados na câmara do reator todas as etapas de decomposição das substâncias orgânicas, ou seja, a hidrólise, a formação de ácidos, a formação de ácidos acéticos e a metanização. Os processos de fase única são caracterizados através de técnicas de procedimento relativamente simples e podem ser realizados tanto pelo método “via seca”, como também pelo método “via úmida”.

Este processo pode ser trabalhado na temperatura da fase mesofílica situada entre 30 e 40°C ou na temperatura da fase termofílica situada entre 50 e 60°C; neste caso a operação do reator tem a vantagem em relação à higienização do processo.



A fase biológica se processa em diferentes etapas e no processo de fase única a câmara do reator tem no decorrer das etapas oferecer diferentes condições biológicas para a ocorrência das reações, ou seja, este sistema tem que realizar os mesmos trabalhos em um sistema com mais fases, e para isto deve conciliar em cada fase as condições bioquímicas ótimas para os microorganismos da fase correspondente.

A pouca capacidade de digestão de um reator de fase única é compensado por um longo período de permanência neste, normalmente de duas a quatro semanas. A seguir é mostrado um diagrama do processo de uma fase desde a entrada do material até a formação do composto propriamente dito.

Para o processo de duas fases a hidrólise e a formação de ácidos são separadas da metanização. Isto tem a vantagem de que as bactérias metanogênicas da segunda fase não precisam estar num meio fortemente ácido e com isto podem ser evitados valores muito abaixo de $\text{pH} < 7$.

O processo de duas fases é aparentemente mais empregado do que o de fase única. Sua vantagem situa-se na grande capacidade de digestão deste tipo de reator e conseqüentemente um curto período de permanência do material no seu interior. Uma continuação do processo de duas fases representa os processos de mais fases.

Neste método após cada etapa da hidrólise tem uma etapa de separação de substâncias sólidas, obtendo uma água do processual, rica em ácidos que pode ser usada, se necessário, para controlar o pH durante o processo de metanização.

Em muitos processos é efetuada, depois do reator de hidrólise, uma separação das partes sólidas e líquidas, tendo assim somente uma fração líquida (uma solução) levada ao reator, enquanto a fração sólida (normalmente rica em lignina) deve ser misturada com outros materiais e ser levado para uma compostagem aeróbica.

A Tabela 11, mostra os importantes dados para diferentes processos de fermentação.



TABELA 11 - Dados importantes dos métodos de fermentação.

	Processo por via úmida várias fases	Processo por via úmida 01 fase	Processo por via seca 01 fase
Temperatura de trabalho	mesofílica ou termofílica	mesofílica ou termofílica	mesofílica ou termofílica
Capacidade de decomposição	50 – 80% massa seca	40 – 60% massa seca	
Duração do tratamento anaeróbico	4 – 15 dias	12 - 25 dias	
Fermentação Fase 1	hidrólise e formação de ácidos	hidrólise, formação de ácidos, formação de acetatos e metanização	
Função			
Tipo	reator de leito sólido, reator de contato de lodo, reator de contato de lodo, reator de leito de lama e reator de mistura total		
Conteúdo de substâncias sólidas	5 – 15 %		25 - 40%
Sistema de mistura	agitador mecânico, bomba de recirculação e agitação por introdução de gás		agitador mecânico e percolação
Sistema de alimentação	contínuo, descontínuo, quase-contínuo		
Fermentação Fase 2	formação de acetatos e metanização		
Função			
Tipo	reator de leito sólido, reator de contato de lodo, reator de leito de lama e reator de mistura total		
Conteúdo de substâncias sólidas	5-10%		
Sistema de mistura	agitação mecânica, bomba de recirculação e agitação por introdução de gás		
Sistema de alimentação	contínuo e quase-contínuo		

Elevadas despesas com as técnicas e métodos para usinas de fermentação podem também levar a altos custos operacionais. Assim resulta que os processos com duas ou mais fases tem despesas maiores de reparos e manutenções do que um processo de fase única, isto porque, são muito maiores as probabilidades de ocorrerem problemas com um maior número de componentes (Kern, Müller & Wiemer, 1994).

Ao mesmo tempo, a opção de um pequeno tempo de permanência no reator para a etapa de fermentação dos materiais nos processos de duas ou mais fases possibilita a utilização de um reator menos volumoso.

A utilização deste processo deve se basear em um estudo profundo pensando-se principalmente nos custos futuros de manutenção de todo o sistema. A seguir é mostrado um diagrama do processo de duas ou mais fases desde a entrada do material até a formação do composto.

b - Método “via seca” ou método “via úmida”:

Os métodos “via seca” e “via úmida” diferenciam-se através do conteúdo de massa seca (MS) dos materiais no reator de fermentação.

Os métodos de “via úmida” possuem um conteúdo de MS de cerca de 10%, e os 90% restantes (quase exclusivamente) são água. Este pouco conteúdo de MS será obtido com a mistura de água do processo.

Através da injeção do acréscimo de água do processo, o material se torna homogêneo e ao mesmo tempo apto ao bombeamento.

Os métodos de “via seca” possuem um conteúdo de MS acima de 25%; maioria situa-se entre 30 a 35% sendo este o motivo da designação do nome método de “via seca”, e conseqüentemente tendo ainda um conteúdo de água variando em torno de 65 a 75%. Os materiais do método via seca são normalmente pastosos.

A grande vantagem do método via seca em relação à via úmida está em relação aos custos de manutenção, podendo-se também reduzir os volumes dos equipamentos e agregados (Kurrle, 1995).



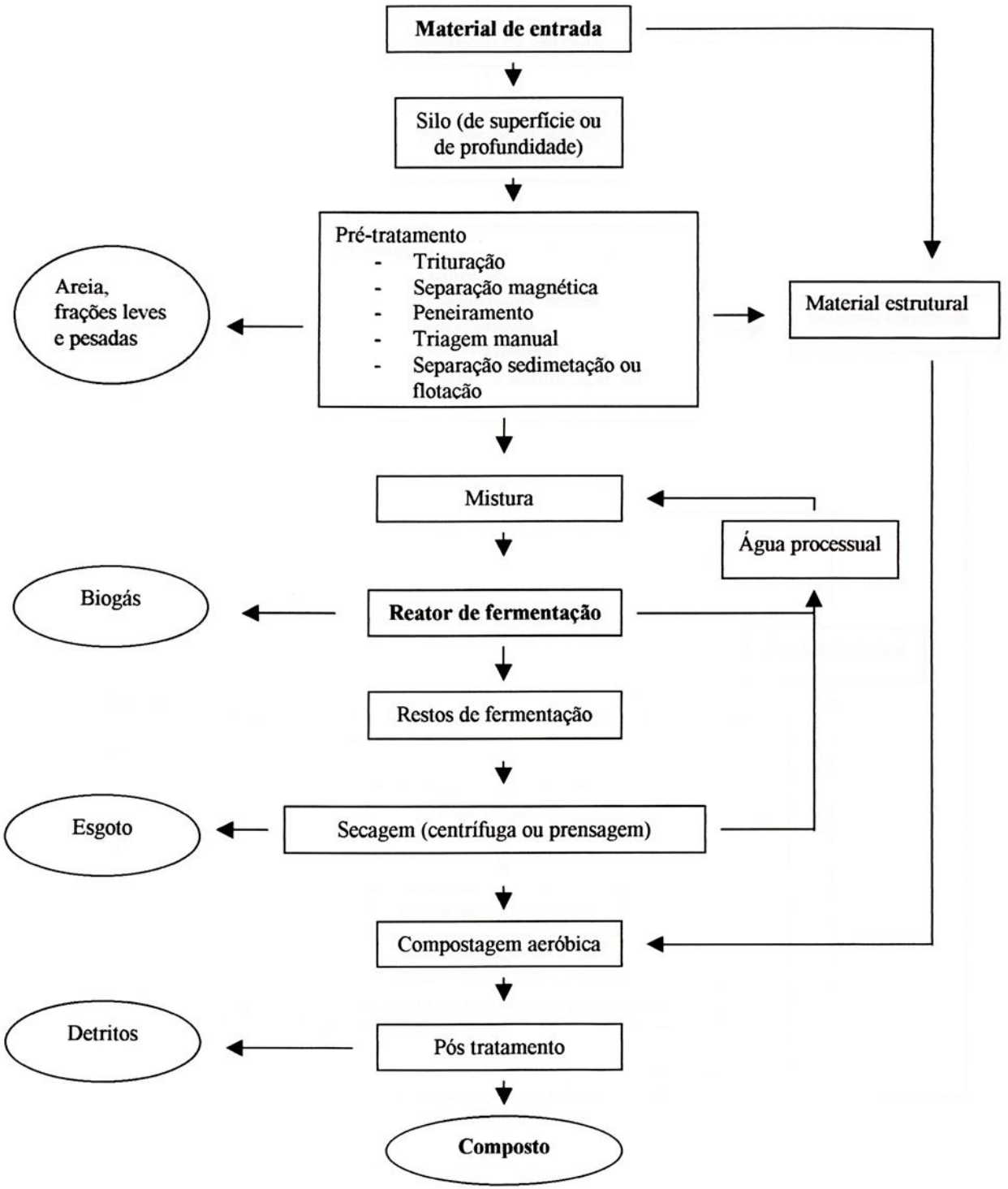


FIGURA 7 - Diagrama de fluência de um tratamento biológico, desde a entrada do material até a formação do composto, com apenas uma fase de fermentação.

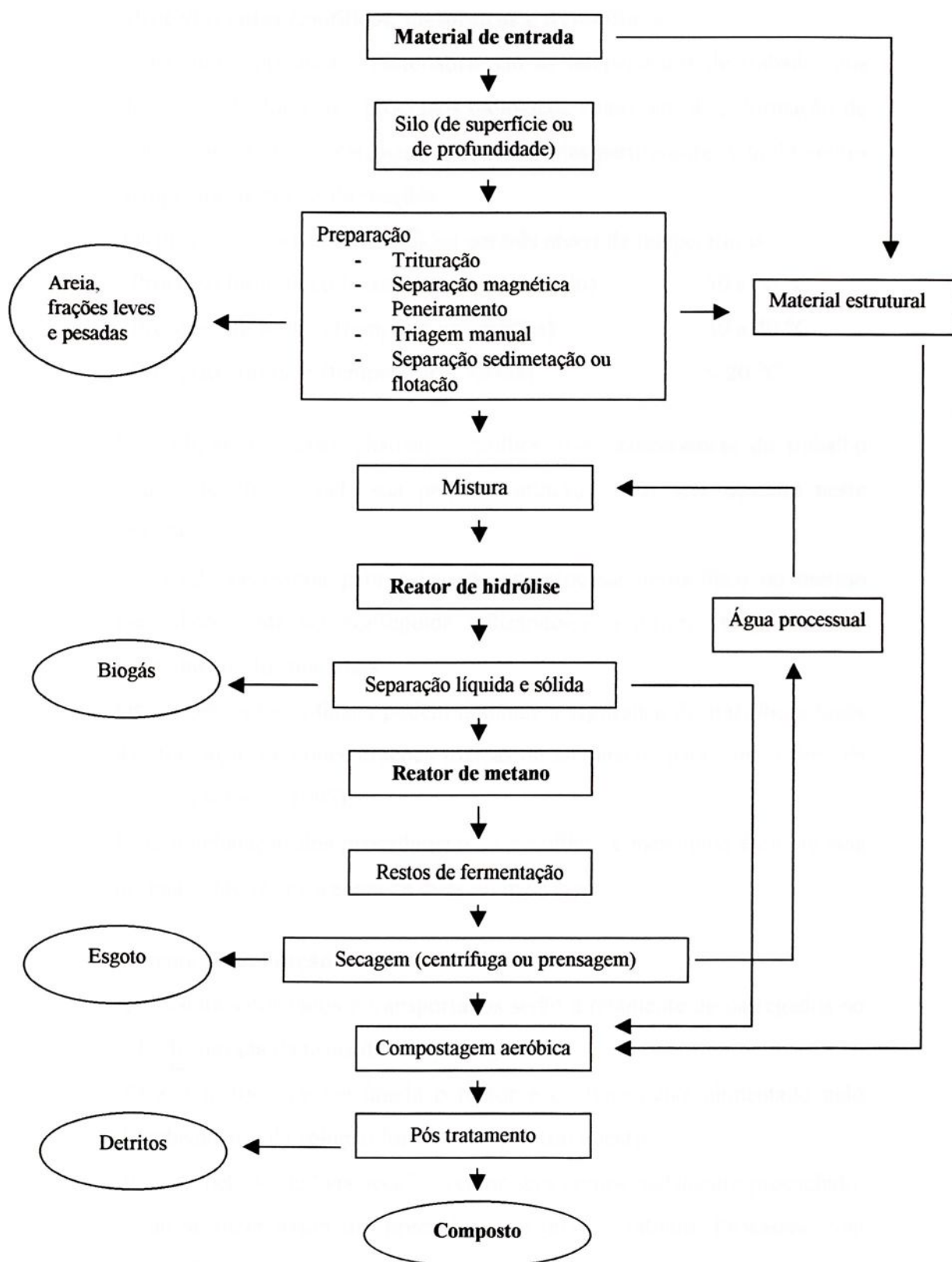


FIGURA 8 - Diagrama de fluência de um tratamento biológico, desde a entrada do material até a formação do composto, com duas fases de fermentação.

c - Procedimentos criofílicos, mesofílicos e termofílicos:

Uma outra diferença característica são as temperaturas de trabalho dos reatores. Os diferentes processos biológicos como hidrólise, formação de ácidos, acetatos e a metanização e as bactérias participantes tem diferentes temperaturas ótimas de reações.

Os processos podem ser divididos em três níveis de temperaturas:

Processo termofílico (razoavelmente aquecido).....	50 a 60 °C
Processo mesofílico (temperaturas médias)	30 a 40 °C
Processo criofílico (temperaturas baixas).....	< 20 °C

Este último processo, chamado criofílico com temperaturas de trabalho abaixo de 20 °C, pela sua pequena utilização não será descrito neste trabalho.

A energia necessária para o uso de um processo termofílico ou mesmo mesofílico, pode ser conseguida utilizando-se o próprio biogás para o aquecimento dos materiais.

Os processos termofílicos podem diminuir a segurança do trabalho através da formação de concentrações tóxicas de amoníaco para um valor de pH = 7 (Scherer, 1995).

Uma combinação dos procedimentos termofílico e mesofílico é empregada normalmente em processos de duas ou mais fases.

d - Forma de operação contínua ou descontínua

Os resíduos coletados e transportados serão diretamente descarregados no silo de entrada da usina de compostagem.

Para o método de via úmida o reator é continuamente alimentado pelo bombeamento da solução formada no pré-tratamento.

Para o método de “via seca” o reator será compassadamente preenchido, pode se dizer assim um preenchimento quase contínuo. Processos com forma de operação descontínua do reator de fermentação são muitos mais vantajosos devido à simplicidade do sistema do reator, em comparação com o método contínuo ou quase contínuo (Bundesamt für

Konjunkturfragen, 1993). Em contrapartida o processo contínuo tem uma maior facilidade de automação e uma pequena necessidade de volume no reator.

e - Modo de mistura

A mistura no reator de fermentação pode ser feita através de um agitador mecânico, uma bomba de recirculação ou uma outra possibilidade é através de um sistema de recirculação com a ajuda do biogás produzido, isto é válido para o processo “via úmida”.

Para o processo “via seca” a mistura é feita através do método de percolação, procedimento de recirculação de água formando uma massa de fermentação, devido a grandes quantidades de materiais estruturais existentes e conseqüentemente uma boa porosidade.

f- Tipos de reatores

Os reatores se diferenciam entre os seguintes tipos ((Bundesamt für Konjunkturfragen, 1996).

- Reator de mistura total

Neste reator, utilizado especialmente em digestões de estações de tratamento de esgotos ou instalações rurais produtoras de biogás, as bactérias contidas na solução são misturadas com o material que foi adicionado ao reator. O tempo de permanência deve ser suficientemente longo para que ocorra a produção da biomassa através da reprodução.

- Reator totalmente fechado

Neste reator de forma alongada o material é levado de um lado para o outro. Este movimento do material através do reator resulta nas diferentes fases da digestão biológica.

- Reator de leito sólido

Este reator tem a característica de um filtro anaeróbico, com o crescimento das bactérias sobre o material carregado (plástico, minerais

e madeira) . Outra característica deste reator é a grande necessidade de área superficial de até $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

- Reator de contato de lodo

Neste reator a massa de bactéria é separada da parte líquida em uma fase de sedimentação ocorrida após o reator, sendo que, esta massa retorna ao reator.

- Reator de leito de lama

As bactérias crescem no reator em pequenos aglomerados ou nos materiais carregados então se fala em reator de turbilhão. As bactérias transportadas pelos materiais são mantidas em suspensão através de uma corrente, isto devido ao alto peso específico contido na suspensão.

Flexibilidade da instalação:

Uma ampliação das instalações não é freqüentemente feita sem problemas, isto ocorre porque no local nem sempre tem disposição de área. Devido a isto, é importante um cálculo exato das quantidades de materiais a serem levados à instalação. O cálculo do planejamento deve ter uma tolerância de segurança.

Na fase de planejamento há necessidade de toda a documentação, principalmente sobre análise dos resíduos sólidos, cadastro dos tipos de resíduos sólidos da zona comercial, prognose do desenvolvimento da população e dados econômicos da região.

Dentro de limites seguros, são possíveis modificações dos procedimentos de operação, como por exemplo, a diminuição do período de permanência da suspensão dentro do reator de fermentação ou o aumento do tempo da fase de maturação.

Esta modificação no tempo de permanência da suspensão dentro do reator de fermentação tem influência tanto na qualidade dos restos de fermentação e conseqüentemente no composto como também na produção do biogás.

Uma instalação combinada entre uma usina de compostagem anaeróbica e uma instalação aeróbica, é uma interessante flexibilidade para os diferentes materiais de entrada serem tratados de acordo com a melhor característica de cada um.

Um processo de ampliação de uma usina de compostagem deve partir do princípio de se manter o alto rendimento inicial. O maior fator limitante é o reator de fermentação, enquanto que o pré-tratamento e o pós-tratamento são facilmente

ampliados (por exemplo, ampliação da área de compostagem aeróbica, ampliação da capacidade do silo e o aumento de equipamentos agregados ao sistema).

A usina pode ser construída através de um sistema modular, aumentando-se de acordo com a necessidade o número de reatores, sendo que estas definições podem ser feitas diretamente com o fabricante.

3.3.4. Necessidade de mão-de-obra

A necessidade de mão-de-obra para o processamento dos resíduos em uma usina de compostagem influi de maneira considerável nos custos de operação. Para uma minimização dos custos de pessoal é necessário um alto grau de automação da usina. O número absoluto de mão-de-obra na usina de compostagem por fermentação é dependente, por exemplo, se existe uma separação manual dos elementos perturbadores na fase de preparação do material de entrada e ainda como é feito o transporte destes materiais ao aterro ou a uma instalação de compostagem aeróbica. A Figura 9, mostra a necessidade específica de mão-de-obra para uma usina de compostagem por fermentação com capacidade de tratamento de 5.000, 10.000 e 20.000 ton/a. Em uma instalação com 5.000 ton/ano tem-se em média uma necessidade específica de 0,7 mão-de-obra por 1000 ton/ano, reduz-se este valor médio necessário de mão-de-obra para 10.000 ton/ano para 0.46 e respectivamente 0.25 para 20.000 ton/ano.

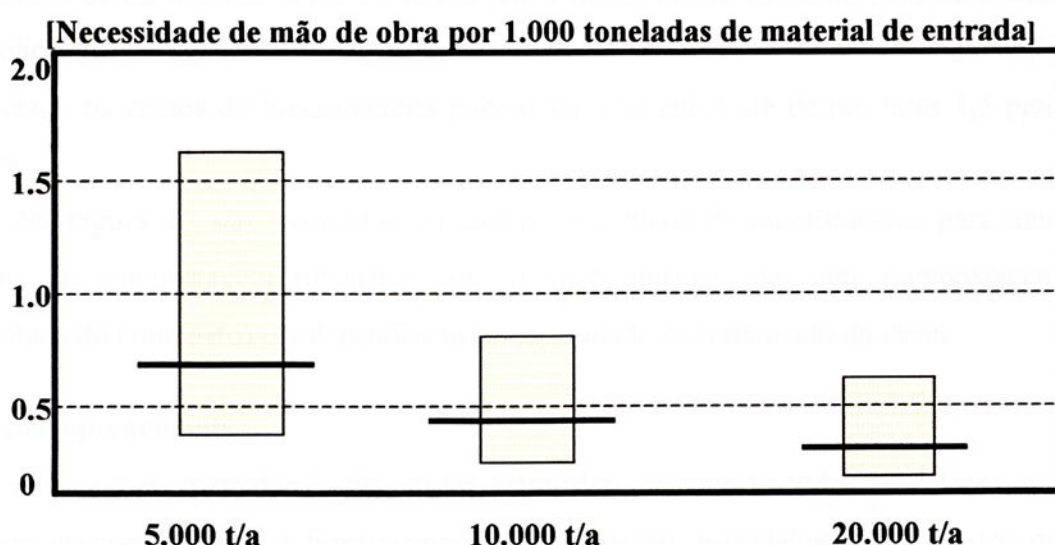


FIGURA 9 - Necessidade específica de mão-de-obra para o funcionamento de uma usina de compostagem por fermentação.

3.3.5. Custos de investimentos e operacionais:

Um importante critério de decisão para a construção de usina de tratamento de resíduos sólidos, são os valores necessários de investimentos e os custos operacionais. As determinações das condições e necessidades específicas do local são essenciais para uma usina de compostagem por fermentação. A utilização de técnicas de mais de uma fase de processamento pensando-se em uma melhora de rendimento, deve ser feita somente para instalações com valores de materiais de entrada acima de 15.000 a 20.000 ton/a.

Custos de investimentos

A Figura 10, refere-se a diferentes instalações padrão conforme uma pesquisa feita entre os construtores europeus de usinas de fermentação. Custos adicionais, para compra de área, infraestrutura, planejamento e juros de construção não foram considerados. Uma comparação dos singulares custos de investimentos são mostrados de maneira simples, evitando-se condições de contorno muito diferentes entre as instalações. Em média situa-se o custo específico de investimentos, custos globais, inclusive o encerramento do processo com um tratamento aeróbico, para 5.000 ton/a em um domínio entre R\$ 900/ton a R\$ 1.800/ton (valor médio de R\$ 1.250/a). Para 10.000 ton/a reduz este domínio para uma variação de R\$ 650/ton a R\$ 1.250/ton (valor médio de R\$ 1.010/ton) e respectivamente para 20.000 ton/a com valores variando de R\$ 495/ton a R\$ 1.100/ton (valor médio de R\$ 800/ton). Para cada local e solicitações exigidas em relação ao encerramento do processo com um tratamento aeróbico os custos de investimentos podem ser corrigidos até de um fator 1,5 para cima.

Na Figura 10 são mostrados os custos específicos de investimentos para uma usina de compostagem (inclusive com o encerramento com uma compostagem aeróbica do composto) em dependência da capacidade de tratamento da usina.

Custos operacionais

Nos custos operacionais devem ser estimados anualmente todos os valores que foram necessários para o funcionamento da instalação, especialmente, os custos de pessoal, manutenção e reparos da instalação e equipamentos, seguros, custos diretos

de energia, água, assim como a coleta, afastamento e tratamento do chorume e outros resíduos, aqui deve também estar relacionado o ganho com a venda da energia produzida. Adicionalmente a estes custos devem ser considerados os custos de depreciação anual do sistema e os juros do capital investido.

Para uma comparação monetária dos valores de uma usina de compostagem deve ser tomado em consideração também o tempo de amortização do financiamento (juros e subsídios).

A variação destes valores em relação ao tempo de amortização situa-se de acordo com dados dos fabricantes para a parte civil em um período de 10 a 25 anos (em média 21 anos) e a parte de máquinas e equipamentos entre 7 a 15 anos (em média 11 anos).

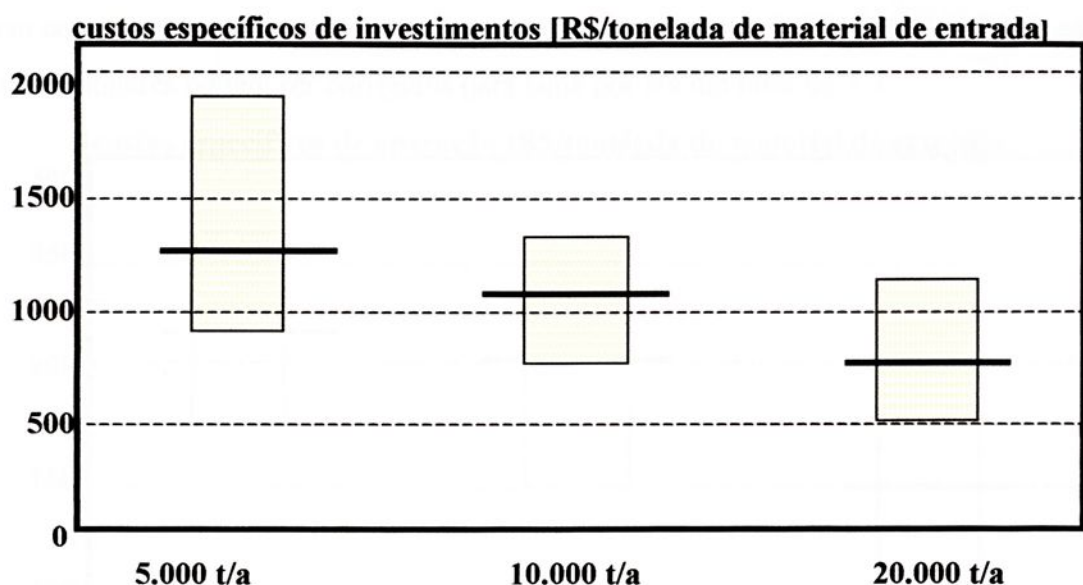


FIGURA 10 – Custos específicos de investimentos para uma usina de compostagem (inclusive com o encerramento com uma compostagem aeróbica do composto) em dependência da capacidade de tratamento da usina.

Na Figura 11, são mostrados os custos específicos de operação em relação à capacidade de tratamento da instalação de acordo com uma pesquisa feita entre os fabricantes. Aqui pode se considerar que os dados se referem a uma instalação padrão e dados para condições específicas de operação podem divergir destes valores, normalmente para cima.

Os custos específicos de operação diminuem com o aumento da capacidade de tratamento da instalação, isto porque os componentes periféricos como região de acesso, balança, sistema de preparação, técnicas de direcionamento e centrifugação podem ser mais bem utilizadas.

Na média, os custos específicos de operação situam-se (inclusive com o encerramento através de uma compostagem aeróbica do composto e a venda do biogás) para 5.000 ton/a em um domínio de R\$ 180/ton a R\$ 270/ton (valor médio de R\$ 220/ton). Para valores de 10.000 ton/a têm-se uma redução desta faixa de domínio para R\$ 150/ton a R\$ 250/ton (valor médio de R\$ 200/ton) e respectivamente para 20.000 ton/a uma faixa de domínio com valores de R\$ 100/ton a R\$ 200/ton (valor médio de R\$ 140/ton). Também para os custos específicos de operação, deve-se ter em consideração que, os custos de tratamento por tonelada de material de entrada em alguns lugares podem ser corrigidos para cima por até um fator de 1,5.

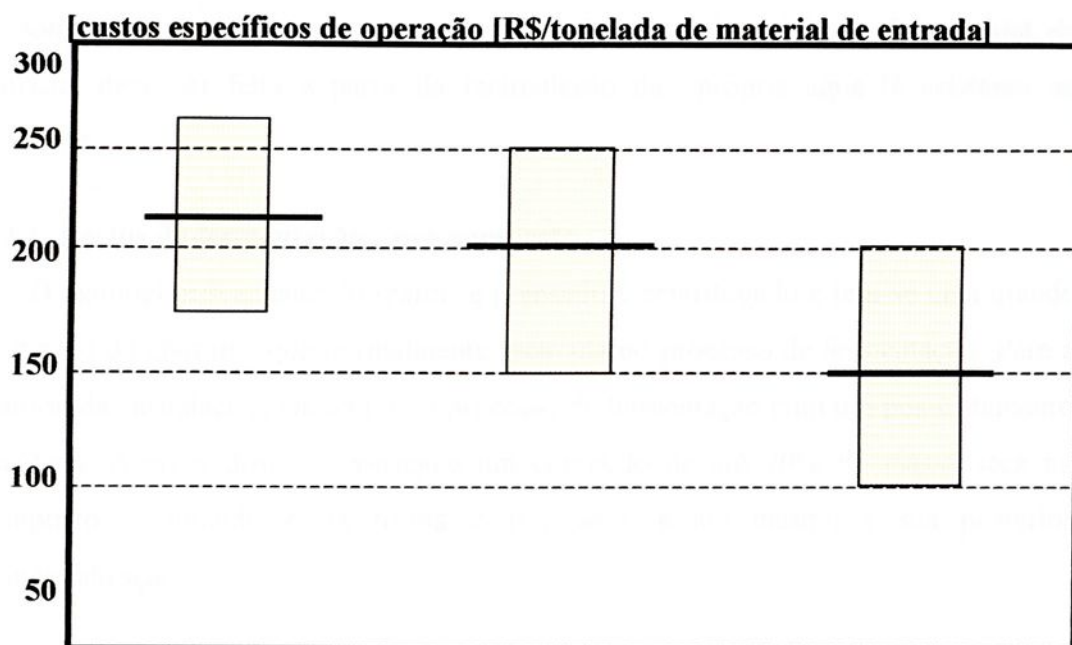


FIGURA 11 - Custos específicos de operação (inclusive com o encerramento através de uma compostagem aeróbica do composto e a venda do biogás) em relação à capacidade de tratamento da instalação.

3.4. Compatibilidade com o meio ambiente

A compatibilidade com o meio ambiente de uma usina de compostagem por fermentação em relação ao chorume produzido, poluição do ar através de substâncias

nocivas, germes ou mesmo através da queima do biogás ainda deve ser amplamente discutido, pois para uma usina de compostagem por fermentação existem ainda poucas experiências de operação em relação a uma instalação aeróbica. O número de análises e exames para usinas de compostagem por fermentação é ainda muito baixo, e os dados existentes em relação à emissão de gases e chorume referem-se a alguns experimentos feitos na instalação de Ismaning em 1989 e 1991 (Oehmichen, 1995). Para representar de maneira simples, o que pode resultar de uma usina de fermentação são mostradas as próximas figuras com um balanço de massa de entrada e saída. As Figuras 12 e 13, a seguir mostram um modelo de balanço de massa para os métodos de “via seca” e “via úmida”. A faixa de oscilação dá-se através de diferentes técnicas de procedimentos existentes nas usinas de compostagem. O método de “via úmida”, devido ao conteúdo de água no material de entrada, tem uma quantidade essencialmente mais alta de chorume produzido em relação ao método de “via seca”. A solicitação de água para ambos os métodos, quando exigida pelo material de entrada, deve ser feita a partir da recirculação da própria água já existente no processo.

3.4.1. Restos de fermentação - pré-composto.

O material proveniente do reator, é prensado e centrifugado e tem-se uma grande formação de chorume que normalmente recircula no processo de fermentação. Para a maioria das instalações encerra-se o processo de fermentação com um pós-tratamento aeróbico. Através disto se consegue um conteúdo de até 70% de massa seca no composto, facilitando desta forma o transporte e até mesmo a sua posterior comercialização.

3.4.2. Gases de escape

Substâncias contidas nos gases de escape

O processo biológico de fermentação sob condições anaeróbicas realiza-se em tanque ou recipiente totalmente isolado, ou seja, um total encapsulamento. Com isto as substâncias com cheiro, contidas nos gases de escape devido ao processo biológico são praticamente insignificantes. Este fator é inversamente proporcional em relação a uma instalação de compostagem aeróbica. Desta forma, as usinas de compostagem

por fermentação apresentam fortes odores na região de descarga e preparação dos resíduos para a fermentação, embora estes também apareçam em instalações aeróbicas. Recomenda-se assim, a instalações de exaustores para a retirada dos fortes odores e o emprego de biofiltros e principalmente a utilização da técnica atual de lavagem dos gases.

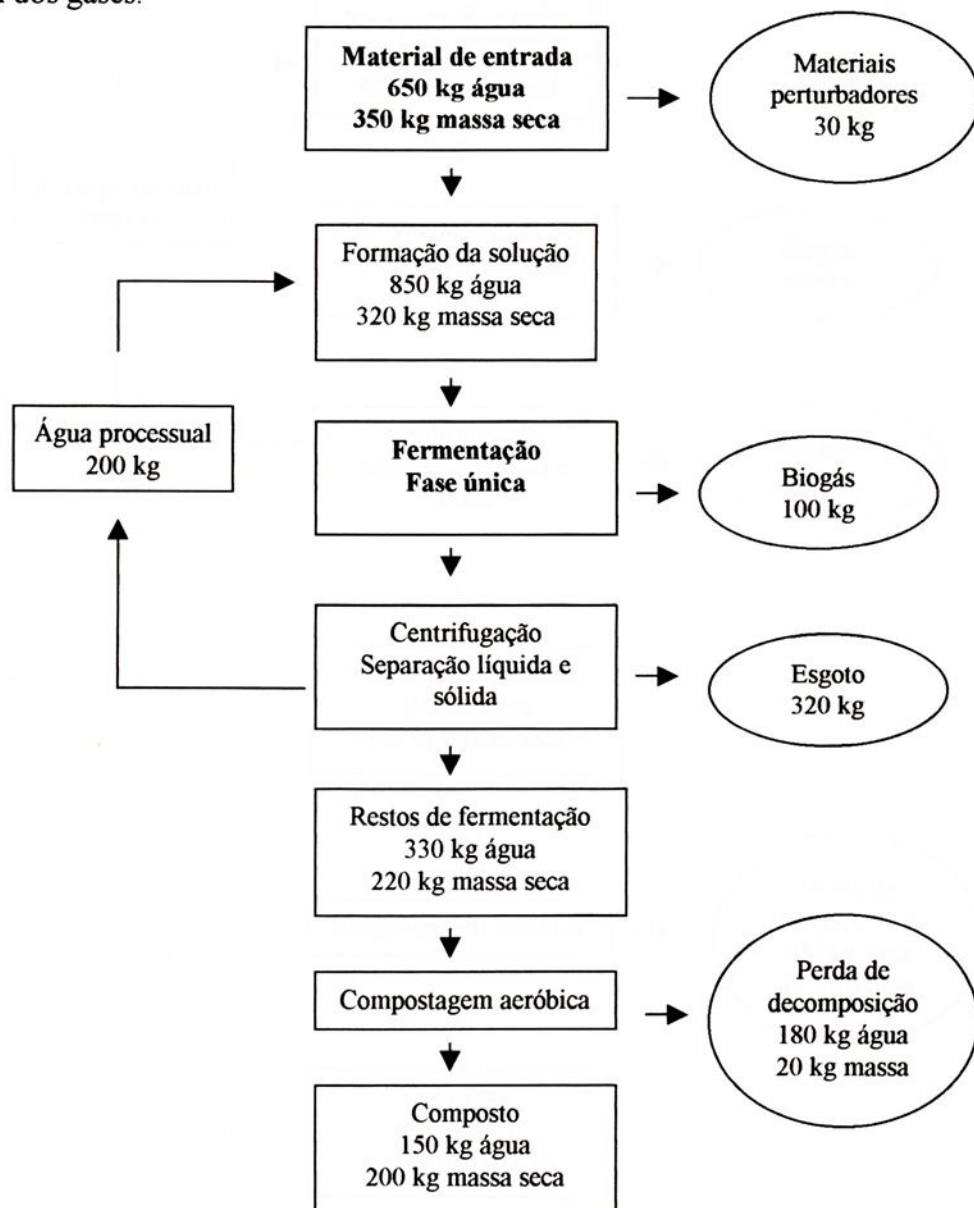


FIGURA 12 - Exemplo de um balanço de massa de entrada e saída em uma usina de compostagem pelo método "via seca" (forte dependência do material de entrada e procedimentos).

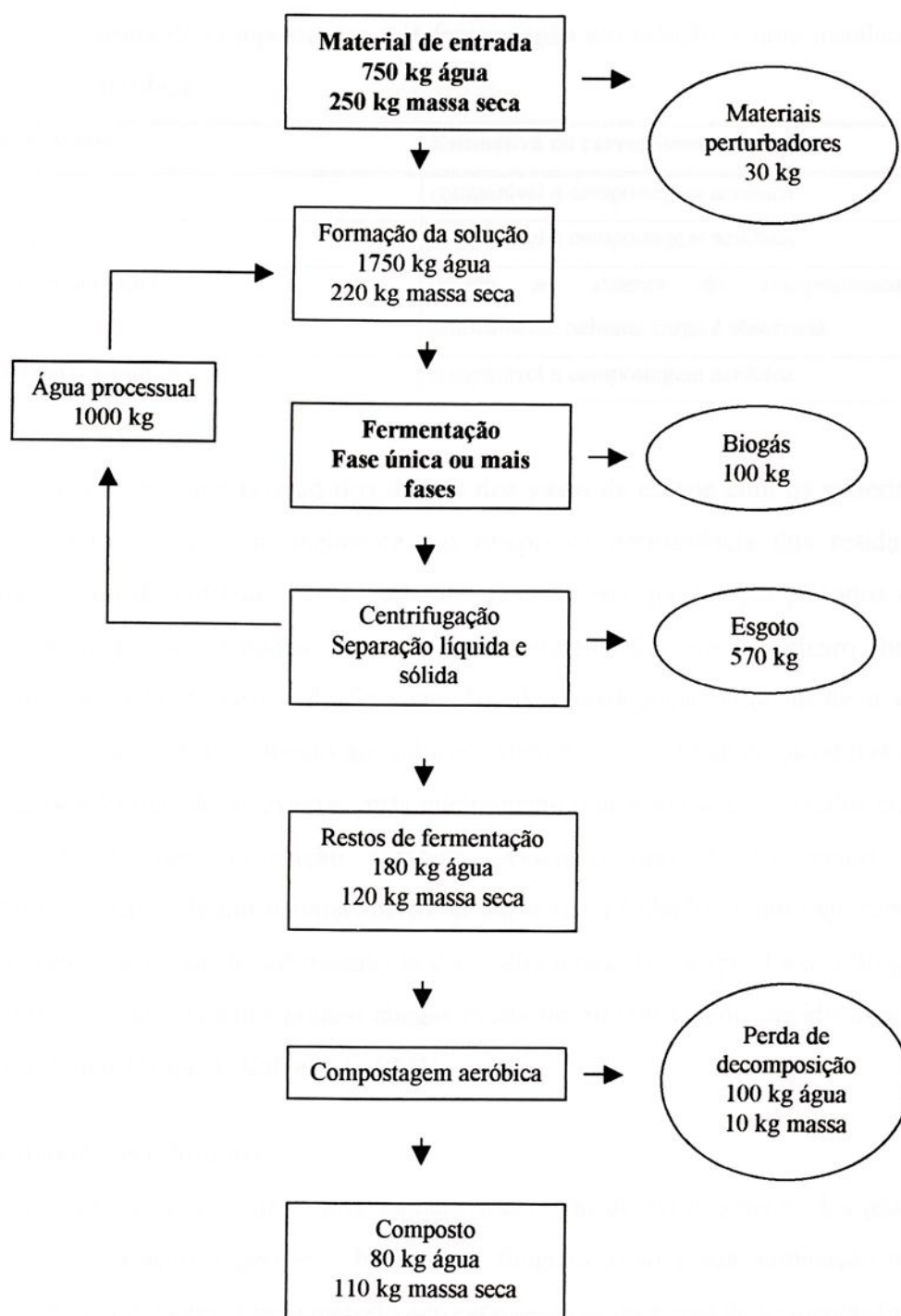


FIGURA 13 - Exemplo de um balanço de massa de entrada e saída em uma usina de compostagem pelo método “via úmida” (forte dependência do material de entrada e procedimentos).

TABELA 12 - Estimativa do carregamento dos gases de escape com odores em uma usina de compostagem por fermentação em relação a uma instalação aeróbica.

Etapas do processo	Estimativa do carregamento dos gases
Carregamento	comparável a compostagem aeróbica
Pré-preparação	comparável a compostagem aeróbica
Processo de fermentação	devido ao sistema de encapsulamento, praticamente nenhuma carga é observada
Pós-preparação e maturação	comparável a compostagem aeróbica

Existe uma importante relação dos odores dos gases de escape com os materiais de entrada. Isto se deve, normalmente, ao tempo de permanência dos resíduos orgânicos no silo de entrada, este é mais um dos motivos que longos períodos de permanência devem ser evitados. O material de fermentação tem um cheiro forte próprio após a saída do reator de fermentação. A centrifugação também deve ser realizada em locais fechados devido aos odores. Além disto, existe ainda os odores da fase de maturação que são relevantes, mas inteiramente reduzidos se comparados com fase principal de uma instalação aeróbica. Assim o tipo de tratamento de compostagem, através de um sistema aberto ou um sistema fechado, é um importante fator em relação à carga de substâncias nocivas dos gases de escape. Para o biogás estes valores de carregamento podem chegar acima de 50.000 GE/m^3 devido ao gás sulfídrico (Oetjen-Dehne & Kalvelage, 1993).

Germes (bactérias e fungos)

Ainda hoje não é possível, tanto uma estimativa do grau de carregamento dos gases de escape, em relação a germes - bactérias e fungos, como a sua eliminação nas instalações de compostagem pelo método aeróbico ou pelo processo de fermentação.

Em geral, são bem diferentes as cargas de germes entre o produtor de resíduos, a carga do pessoal que trabalha no veículo de coleta, a carga do pessoal que trabalha na usina de compostagem e ainda dos moradores da região próxima à usina, ou seja, não existe nenhuma definição conclusiva com referência aos tipos de instalações aeróbicas ou anaeróbicas. Somente que, em uma instalação aeróbica, as cargas de germes são

maiores do que em uma usina anaeróbica (Ministerium für Umwelt, 1996), e que a carga dos moradores próximos a estas áreas também é maior em relação a outros locais. Embora, um perigo à saúde dos moradores seja quase impossível de se ver.

Atualmente é solicitado pelas normas de segurança o enclausuramento máximo dos locais de trabalho e especialmente as regiões dos mecanismos de preparação, isto é, trituração, mistura, peneiramento e todas as regiões com grande potencial para a produção de gases com odores e germes. Sobre carregamento de germes entenda-se como fungos, bactérias e endotoxinas. Para as medições e estimativas destes, em geral são recomendadas as seguintes verificações (Daschner, 1995):

- Dados de concentrações totais de germes no ar e uma definição da parte quantitativa dos germes patogênicos.
- Até o momento, ainda não existem procedimentos de medidas e valores padrão. Entre os métodos existentes, podem ocorrer diferenças entre as medidas de fatores de 2 a 5.
- A reprodução da medição somente é possível em um lugar delimitado no momento da coleta e em uma determinada situação. Condições externas, especialmente ventos fortes, temperatura, umidade e pressão do ar podem causar uma forte interferência nos valores medidos.
- A condição causa-efeito entre o carregamento dos germes existente no ar nos locais de trabalho e possíveis doenças humanas causadas por estes necessitam de um estudo mais aprofundado.

Com certeza existe um perigo bem menor à saúde dos moradores da região do que em relação à dos trabalhadores da usina de compostagem por fermentação. A “Norma Européia” sobre a proteção dos trabalhadores e a diminuição dos riscos de contaminação através de substâncias orgânicas e biológicas é muito genérica, não tendo nenhum valor limite definido. Em países como a Dinamarca e Suíça são recomendados os valores definidos pela “Threshold Limit Value (TLV)”. O Ministério do Bem Estar Social, Trânsito e do Meio Ambiente de Baden-Württemberg baseado na “Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI)” e na “Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen” de julho de 1995, adotou

os mesmos valores existentes em instalações de triagem de materiais e criou a “Leitlinien zum Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen” estabelecendo assim alguns valores limites, onde a unidade é dada em KBE, que significa o conjunto de colônias formadas, são mostrados a seguir (Daschner,1995):

- Número Total de germes: 1×10^4 KBE/m³ (LASI)
 1×10^4 KBE/m³ (Dinamarca)
 5×10^3 KBE/m³ (Suiça)
- Bactérias (negativas): 1×10^3 KBE/m³ (Dinamarca/Suiça)
- Endoxinas: $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (LASI/Dinamarca/Suiça)

A Tabela 13, mostra uma faixa de valores de cargas de germes coletados em diferentes regiões. As mais altas cargas de germes foram encontradas na agricultura, em silos de cereais, com valores chegando até 1×10^{10} KBE/m³. Além da concentração, o tempo de exposição e especialmente o tipo de germe são importantes parâmetros para a apreciação do perigo a que se está exposto.

TABELA 13 - Concentração em diferentes locais de gases com carga de germes (Daschner,1995).

Local analisado	Concentração de germes no ar [KBE/m ³]
Ar atmosférico	$10^3 - 10^{10}$
Estábulos e domicílio animal	$10^3 - 10^{10}$
Matadouro	$10^3 - 10^{10}$
Local de trabalho com cereais	$10^3 - 10^{10}$
Padarias	$10^3 - 10^{10}$
Estação de tratamento de esgotos (em torno dos tanques)	$10^1 - 10^5$
Estação de tratamento de esgotos (salas internas)	$10^2 - 10^5$
Zona de descarga em aterro sanitário	$10^3 - 10^4$
Usina de triagem manual de resíduos	$10^3 - 10^5$
Usina de compostagem por fermentação	$10^2 - 10^5$
Agricultura (silo de cereais)	$10^3 - 10^{10}$

No dia a dia, o meio ambiente apresenta valores de até 10^4 KBE/m³. Sobre os diferentes tipos de bactérias e fungos e seu potencial de causar doenças ainda não se pode fazer afirmações precisas. Também para os causadores de doença em resíduos sólidos domiciliares existe uma fila de exames científicos, sendo que em algumas medições já realizadas foram encontradas uma concentração de germes no ar com valores de até 10^8 a 10^9 KBE por grama de resíduo sólido domiciliar e no momento da descarga obteve-se valores de 10^3 à 10^4 KBE/m³. Nos exames realizados nas instalações de separação de materiais recicláveis foram encontrados valores de pico de até 1.6×10^5 KBE/m³, principalmente no momento de processamentos dos materiais (Jager, Zeschmar-Lahl & Rüdén, 1995). Novos resultados e exames feitos em instalações de triagem de materiais recicláveis pelo DSD (Duales System Deutschland – Ponto Verde) somente apresentaram valores acima dos valores limites recomendados, quando era processado algum material embolorado, ou seja, já em processo de decomposição. Foram encontrados em instalações de separação de materiais recicláveis os valores mostrados a seguir (Daschner, 1995):

- Bactérias totais..... 1×10^3 até 7×10^4 KBE/m³
- Materiais embolorados..... 1×10^4 até 5×10^4 KBE/m³

Atualmente, ainda não é possível fazer uma estimativa conclusiva das substâncias contidas nos gases de escape e a carga de germes existente. Uma afirmação conclusiva que se pode fazer é que para uma usina de compostagem por fermentação estes valores são tendencialmente menores do que em uma instalação aeróbica, como também é praticamente impossível uma contaminação dos moradores existentes nos arredores da usina.

3.4.3. Águas residuárias - esgoto

Á partir da centrifugação dos restos de fermentação, surge um líquido que apresenta uma alta carga orgânica e inorgânica. A sua quantificação é dependente de diversos fatores como:

- Umidade do material de entrada
- Grau de degradação das substâncias durante o processo

- Nível de centrifugação e conseqüentemente a drenagem dos restos de fermentação.

O volume das águas residuárias produzidos por diferentes processos de fermentação situa-se numa faixa entre 100 e 600 litros/ton. de material de entrada (valor médio de 375 litros/ton de material de entrada, conforme mostrado na Figura 14).

Para o tratamento do excedente das águas residuárias no processo é necessário um tratamento biológico. A qualidade das águas residuárias é dependente do tipo de material de entrada e da composição da mesma, como por exemplo metais pesados em maior ou menor quantidade dependendo da procedência dos resíduos.

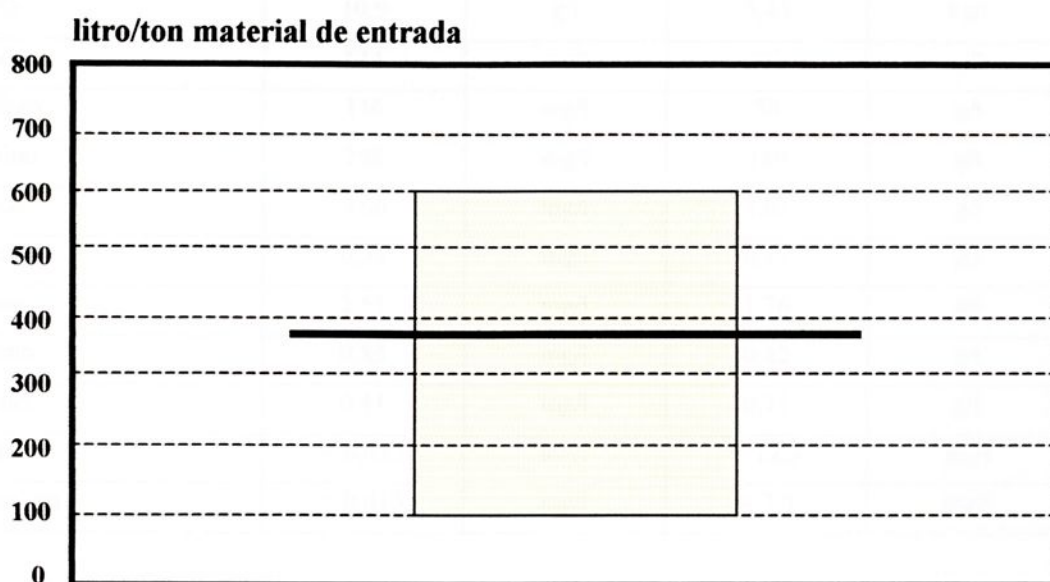


FIGURA 14 - Volume de águas residuárias produzido por tonelada de material de entrada.

Como exemplo, podemos dizer que um mesmo material de poda de um jardim residencial tem uma concentração muito menor do que o material de poda próximo a uma rodovia.

A Tabela 14 mostra a concentração e carga das águas residuárias tendo da usina de compostagem por fermentação da cidade de Ismaning.

A Figura 15, mostra os valores médios e faixas de variações dos valores de DBO_5 e DQO medidos nas águas residuárias em uma usina de compostagem por

fermentação. Estes valores refletem especialmente as diferentes qualidades do material de entrada.

TABELA 14 - Carga média das águas residuárias provenientes da usina de compostagem por fermentação da cidade de Ismaning que tem uma capacidade de 10.000 Mg/a de material de entrada e o cálculo específico da carga de esgoto por tonelada de material de entrada (Oetjen-Dehne & Kalvelage, 1993).

Parâmetro	Carga	Unidade	Fração / ton	Unidade
Quantidade de esgoto	500	l/t	-	-
DBO ₅	2,3	g/l	1,15	kg/t
DQO	10,9	g/l	5,45	kg/t
Amônio	614	mg/l	307	g/t
Fósforo	116	mg/l	58	g/t
Sulfato	298	mg/l	149	g/t
Zinco	7,66	mg/l	3,83	g/t
Chumbo	0,54	mg/l	0,27	g/t
Cobre	2,51	mg/l	1,26	g/t
Cromo	0,83	mg/l	0,42	g/t
Níquel	0,41	mg/l	0,21	g/t
Cádmio	< 0,025	mg/l	< 12,5	mg/t
Mercurio	< 0,015	mg/l	< 7,5	mg/t

Condições de tratabilidade

As águas residuárias provenientes de uma usina de compostagem por fermentação de resíduos orgânicos são consideradas perigosas pela sua composição e devem ter um tratamento dentro das técnicas necessárias. Uma das possibilidades mais utilizadas é o encaminhamento destas águas residuárias através de elevatórias e redes até a estação de tratamentos de esgotos existente na cidade, devendo sempre ser observado se este procedimento não trará problemas à estação.

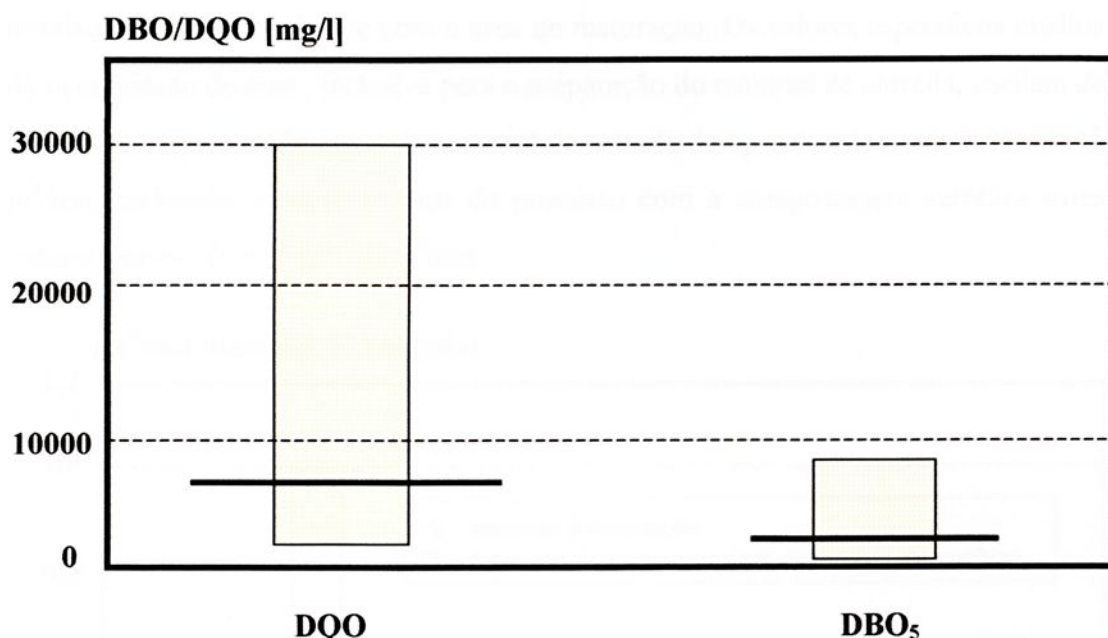


FIGURA 15 - DQO e DBO₅ - Valores médios das águas residuárias medidos em uma usina de fermentação (Proporção DQO/DBO₅ entre 1.6 a 2.0).

3.4.4. Necessidade de Área

A necessidade total de área em uma usina de compostagem será determinada pelo tipo de instalação, a mecanização do tratamento, e as etapas finais de pós-tratamento e maturação. A Figura 16, mostra as específicas necessidades de área para uma usina de compostagem em dependência da quantidade de material de entrada a ser tratado por ano. Foram consideradas diferentes condições de contorno para a escolha do método como a comercialização do composto, processo anaeróbico ou aeróbico, etc. A oscilação entre determinadas regiões deve-se em parte, não a procedimentos específicos, mas sim à avaliações das características de concepção. Em todos os métodos empregados existe uma possibilidade de aumento da capacidade de tratamento sem a necessidade de um grande aumento de área, o que ocorre é uma diminuição da relação m² de superfície/tonelada de entrada. Normalmente este fato se deve a possibilidade da utilização de várias áreas em comum; como alguns exemplos podem citar as áreas de entrada da instalação, da pesagem e áreas de trânsito, que independem da quantidade do material de entrada. Isto é válido tanto para uma usina de compostagem por fermentação como para uma

instalação aeróbica inclusive com a área de maturação. Os valores específicos médios de necessidade de área, inclusive para a preparação do material de entrada, oscilam de acordo com quantidade anual de material de entrada de aproximadamente 0.21 e 0.45 m^2/ton , incluindo o encerramento do processo com a compostagem aeróbica estes valores variam de 0.35 à 0.59 m^2/ton .

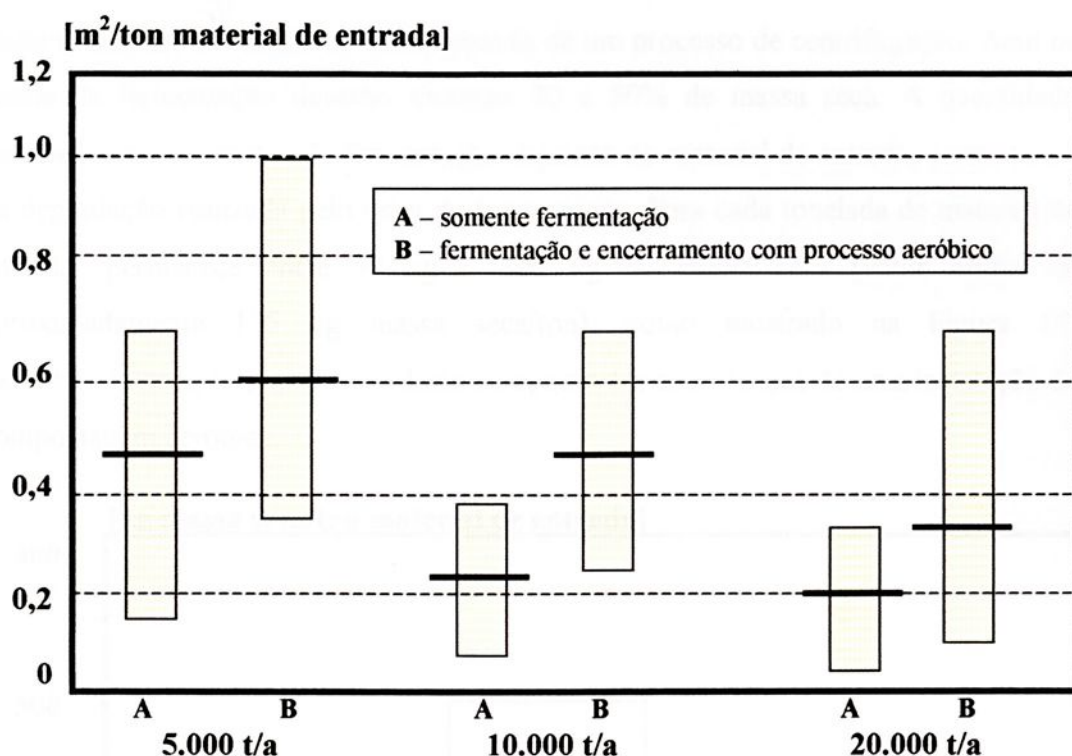


FIGURA 16 - Valores específicos de necessidade de área para uma usina de compostagem em dependência da quantidade de material de entrada.

3.5. Produto final

Os principais produtos de uma usina de compostagem de fermentação são os restos de fermentação, o futuro composto, e o biogás. Ainda não existem análises da qualidade do composto em uma usina de fermentação como os já existentes para um composto feito através do método aeróbico. Desta forma para os compostos de fermentação são válidas as mesmas condições de qualidades de um composto aeróbico e conseqüentemente igual aproveitamento e utilização no mercado. Não é visto com bons olhos, a utilização na agricultura dos restos de fermentação, sem o pós-tratamento adequado. O biogás será utilizado para a produção de energia em um

sistema de produção de energia elétrica e térmica. Normalmente uma parte do gás é utilizada na própria usina e somente o excedente é comercializado.

3.5.1. Restos úmidos de fermentação

Os restos de fermentação alcançam normalmente um grau de decomposição de I ou II e tem um cheiro forte de fermentação. Primeiramente os restos de fermentação serão drenados, normalmente feitos através de um processo de centrifugação. Aqui os restos de fermentação deverão alcançar 30 a 50% de massa seca. A quantidade remanescente dos restos de fermentação depende do material de entrada, assim como da degradação realizada pelo reator de fermentação. Para cada tonelada de material de entrada, permanece entre 50 kg a 300 kg de massa seca (valor médio de aproximadamente 175 kg massa seca/ton), como mostrado na Figura 17. Tendencialmente, o quantitativo deste composto é menor do que de uma instalação de compostagem aeróbica.

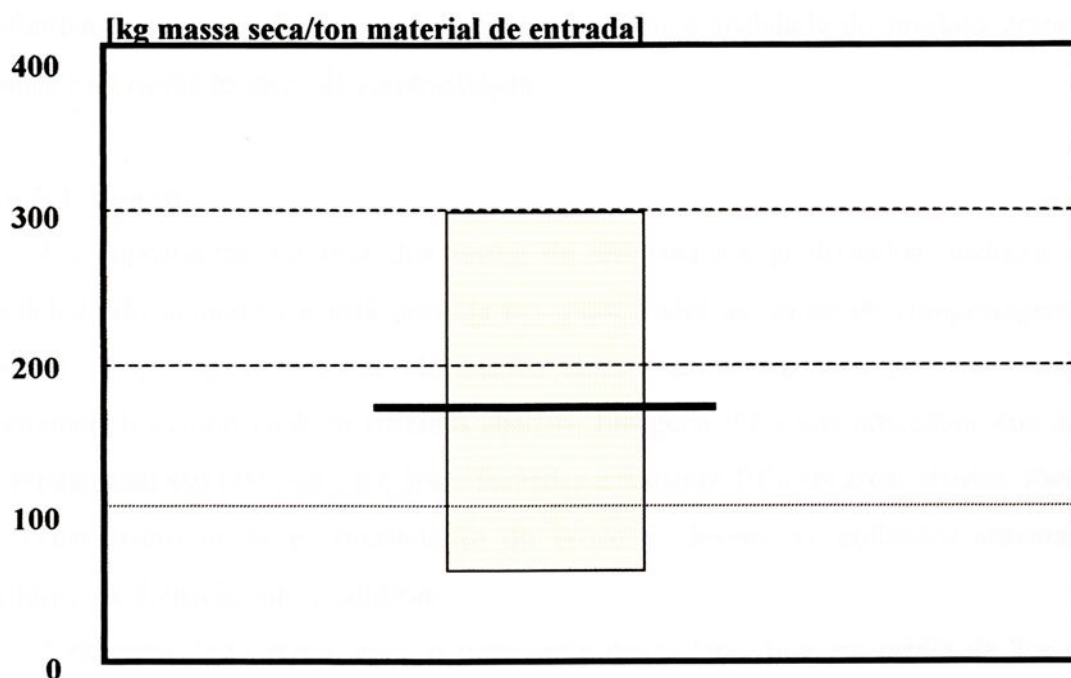


FIGURA 17 - Quantidade de restos de fermentação, em referência a quantidade de massa seca por tonelada de material de entrada.

Na Tabela 15, é mostrada a qualidade de um composto de uma usina de compostagem de fermentação pelo processo anaeróbico e uma instalação de compostagem pelo método aeróbico. Nesta tabela pode-se observar, que os dados para um composto aeróbico já possuem números praticamente definidos. Isto é devido à técnica de compostagem aeróbica já estar bem desenvolvida e pelo número relevante de análise e exames já efetuados. Para os dados dos compostos anaeróbicos estão ainda dependentes de somente dois exames publicados (Gottschall, Biala & Vogtmann, 1995) e dados coletados diretamente em usinas em funcionamento. Sendo estes dados válidos como uma primeira referência das condições de qualidade do composto de uma usina de compostagem anaeróbica. É interessante aqui se observar o valor relativamente alto em média de 59% de sólidos voláteis (matéria orgânica não degradada). Os valores possíveis de degradação da matéria orgânica, em uma usina de compostagem, podem chegar até 70% (Scherer, 1995 & Trösch, Schmid-Staiger, 1995) (correspondente a 30% de sólidos voláteis). Sem dúvida uma avaliação definitiva depende ainda de novas publicações sobre a qualidade do produto destas usinas e de novas técnicas de compostagem.

3.5.2. Composto.

A compostagem aeróbica dos restos de fermentação, já drenados, melhora a qualidade do composto e está prevista em quase todas as usinas de compostagem. Para a compostagem aeróbica são usados tanto reatores fechados (câmara, túnel, container, etc) como também sistemas abertos. Em geral 90% dos procedimentos de compostagem são realizados em áreas fechadas e somente 10% em áreas abertas. Para o fornecimento de ar e consolidação do processo devem ser utilizados sistemas próprios de fornecimento e controle.

A duração desta etapa, após o tratamento anaeróbico dura em média de 2 a 6 semanas. O composto deve ter uma qualidade global, e em especial de assimilação pela vegetação e favorecer o seu crescimento. Geralmente os tipos de compostos são diferenciados como segue (Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft LAGA, 1995):

Composto cru:..... grau de decomposição I

Composto fresco:..... grau de decomposição II e III

Composto pronto:..... grau de decomposição IV e V

TABELA 15 - Qualidade do composto de uma usina de compostagem anaeróbica em relação a uma instalação de compostagem aeróbica (Gottschall, Biala & Vogtmann, 1995 - Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Laga, 1996).

Parâmetro	Unidade	Composto Anaeróbico			Composto aeróbico Valor médio
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	
Teor de umidade	% resíduos secos	34,9	52,8	46	36
Sólidos voláteis	% resíduos secos	41,0	72,5	59	35
Densidade	g/l	350	900	612	680
Valor de pH		6,7	7,7	7,3	7,6
Conteúdo de sal	g/l	2,3	4,3	3,1	4,0
Substâncias nutrientes					
Nitrogênio	% rs	1,1	2,3	1,4	1,1
Potássio	% rs	0,2	1,1	0,6	1,2
Fósforo	% rs	0,3	1,0	0,5	0,7
Magnésio	% rs	0,3	1,6	0,8	0,4
Calcio	% rs	2,0	9,6	2,9	3,0
Metais pesados em 30% de massa seca orgânica					
Chumbo	mg/kg	19	94	52	75
Cadmio	mg/kg	0,4	1,0	0,7	0,7
Cromo	mg/kg	10	37	22	35
Cobre	mg/kg	14	56	41	51
Níquel	mg/kg	6,1	24	13	22
Mercurio	mg/kg	0,1	0,6	0,3	0,3
Zinco	mg/kg	144	243	196	229

O emprego do composto deve conciliar as condições de contorno de utilização como necessidade do solo, quantidades empregadas, etc. A utilização correta do composto situa-se no conhecimento da região, o efeito da adubação e a solicitação do

solo. As substâncias nutritivas principais e secundárias estão no composto como para outros adubos orgânicos, mas somente parcialmente disponíveis para as plantas e devem ser gradualmente livres através da mineralização. A extensão e duração dependem tanto da composição do composto como também de outras condições como umidade, temperatura e microorganismos. Neste ítem são mostrados os valores mínimos de qualidade e outros pontos a serem observados. Os restos de fermentação possuem sempre em seu conteúdo substâncias prejudiciais, como por exemplo, metais pesados, que estão presentes em todos os compostos como também em todo o solo. Sendo quase sempre indefinido no início do processo a carga de substâncias prejudiciais que terá o composto final. Para uma compatibilidade ecológica e um bem sucedido valor de mercado o composto deve obedecer a parâmetros de qualidade. Somente um composto de alta qualidade poderá entrar e permanecer com chances no mercado. A utilização do composto não pode comprometer de forma alguma as condições do solo como também das águas superficiais e subterrâneas. A qualidade do composto, sua composição são dependentes das substâncias existentes na sua matéria prima e a sua forma de execução.

Solicitações de qualidade

Em Baden-Württemberg os valores críticos de qualidade para aproveitamento e utilização de um composto proveniente de um processo anaeróbico de fermentação foram estabelecidos por uma portaria em 30.06.1994. Sendo que esta define que um composto anaeróbico feito em uma usina de fermentação deverá satisfazer todas as condições e solicitações de qualidade de um composto aerobicamente produzido.

Para substâncias prejudiciais, a portaria define os seguintes valores mostrados na Tabela 16, estes calculados para um conteúdo de 30% de substâncias orgânicas em relação à quantidade de massa seca. Estes valores estão comparados com os novos valores definidos pela "Portaria Federal".

Conforme a portaria, as substâncias nutrientes contidas no composto como nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio não estão especificadas.

Relativo às solicitações especiais de qualidade são válidos os valores definidos na "Lei Federal sobre Compostagem".



Esta define ainda as regras de supervisão e obtenção do composto e descritas abaixo.

TABELA 16 - Valores definidos pela Portaria Federal em relação de substâncias prejudiciais no composto orgânico.

Substâncias prejudiciais anorgânicas	Valores da norma LAGA – Categoria I e II [mg/kg resíduos secos]
Chumbo (Pb)	150/250
Cadmio (Cd)	1,5/2,5
Cromo (Cr)	100/200
Cobre (Cu)	100/200
Níquel (Ni)	50/100
Zinco (Zn)	400/750
Mercurio (Hg)	1 / 2

Higiene dos restos de fermentação / composto

A higiene é diferenciada entre higiene vegetal (phito), higiene humana e higiene veterinária. As análises e exames de higiene são diferenciados entre dois tipos. Teste do produto - controle do produto final e teste do processo - definido em relação à quantidade e tipos de organismos presentes no processo de fermentação e uma estimativa do tempo de vida destes.

a) Higiene vegetal

Existe um número razoável de microorganismos fitopatogênicos, sendo que estes microorganismos vegetativos são prejudiciais a saúde. A presença de ovos e sementes vegetativos nos restos de fermentação, futuro composto, são indesejáveis. Estes devem ser mortos no decorrer do processo de fermentação ou no encerramento com a fase de maturação, conseguindo-se assim uma higiene do produto na instalação.

b) Higiene humana e higiene veterinária

Como organismos de testes servem a salmonela, enterobactérias, estafilococos, estreptococos e coliformes fecais. A higienização na usina

de fermentação necessita de um tempo suficiente longo de permanência do material no reator e temperaturas suficientemente altas. Sem dúvida, ainda não são definidos atualmente para uma perfeita higienização os tempos de permanência e os valores de temperatura no reator de metano. Fora isto, temos ainda outros fatores influentes na higienização como por exemplo o valor do pH e as baixas temperaturas relativas à etapa de hidrólise. Também é solicitada uma higienização térmica especial (cerca de 1 hora a 60°C) antes ou depois da fermentação na própria instalação. Um aquecimento no começo do processo oferece uma vantagem, que seria uma reinfecção no próprio processo de fermentação. Uma alternativa possível é através de um processo de higienização aeróbica com faixas de temperatura na fase termofílica. Este processo não deve ser feito com um tempo de permanência curto ou poderá ocorrer em pouco tempo um retorno dos seres patogênicos. Para que a higienização na primeira vez tenha sucesso, o composto deve atravessar uma fase termofílica (nunca menor que 55°C) e o material deve ser várias vezes remexido, e com isto ocorrer uma higienização e uma compostagem homogênea. A utilização de resíduos orgânicos provenientes de restos de comidas, em muitas comunidades, cidades dormitórios e municípios são em pequenas quantidades, desta forma existe uma possibilidade em estudo para a eliminação de corpos de animais, o que evitaria também os riscos de epidemia tendo como parâmetro básico o aquecimento do material de saída até 70°C. Com isto seria possível também a utilização de resíduos de matadouros.

Diferentes qualidades entre um composto aeróbico e um anaeróbico

As faixas de variações dos materiais a serem tratados na usina de compostagem por fermentação, são muito maiores do que em uma instalação de compostagem pelo método aeróbico. Pelo método anaeróbico é possível a utilização desde esterco úmido de animais até resíduos orgânicos secos ou restos de indústrias de produtos alimentícios. Isto estimula o surgimento de novas técnicas variantes de fermentação no mercado, aqui se deve colocar sempre a real necessidade de análise e exames do

produto final proveniente destas novas técnicas e processos. Enquanto que para o método aeróbico já existem resultados de análise consolidados sobre a qualidade final do produto, o composto produzido pelo método de fermentação, depois de algumas análises existentes em comparação ao composto pelo método aeróbico não possui, até o momento, nenhum fator negativo, existindo ainda apenas algumas controvérsias em torno da qualidade do composto e conseqüentemente os campos de aplicação. Através de análises já existentes pode se mostrar, que os restos frescos de fermentação apesar de uma boa relação de C/N (Carbono/Nitrogênio) pode retirar nitrogênio dos substratos da terra (Biala, Gottschall & Vogtmann, 1995). Os restos de hidrólise examinados, tendo como material de entrada resíduos orgânicos, sem um pós-tratamento aeróbico podem até mesmo não serem assimilados pelos vegetais. Os restos de fermentação, o futuro composto, mostram contudo através de uma baixa concentração de sais, uma boa capacidade de retenção de água e um grande volume de poros. É possível um acréscimo destes valores nos restos de fermentação de até 60% em comparação com os substratos de terra. A concentração de sais, para um resto de fermentação por exemplo pode ser alta quando grande parte do material de entrada são restos de comida, embora freqüentemente situe-se abaixo das concentrações de sais de compostos obtidos pelo método aeróbico.

A comercialização do composto

Campos de aplicação:

a) Agricultura

A grande vantagem para o agricultor esta na substituição de adubos minerais por adubos naturais como mostrado na Tabela 17.

É possível a utilização do composto fresco na agricultura após sua higienização (com um grau de decomposição II -III) oferecendo com isto a vantagem de uma redução de custos com a eliminação da fase de maturação.

b) Jardins públicos, áreas verdes e construção de paisagens

A utilização do composto em jardins e para a construção de paisagens oferece o seguinte potencial de acordo com a necessidade da região:



- Recuperação de margens de rios e lagos;
- Paisagismo de áreas verdes e construções de novas áreas verdes;
- Construções de jardins cobertos;
- Construções de áreas de lazer.

TABELA 17 - Valores comercializados de compostos de resíduos orgânicos em Ackerbau (Kehres, 1994, Oehmichen, 1995 & Schaaf, 1995).

Fonte	Fertilizante por ton de massa seca	Fertilizante por hectare (retirada mínima 10 ton de massa seca)
Kehres, B. (1994)	R\$ 28/ton massa seca (somente N,P,K)	R\$ 280/ha
Oehmichen, J. (1995)	R\$ 42,50/ton massa seca (N,P,K: R\$ 25/ton massa seca, substâncias orgânicas: R\$ 17,5/ton massa seca)	R\$ 425/ha
Schaaf, H. (1995)	R\$ 25/ton massa seca	R\$ 250/ha

c) Reflorestamento de áreas devastadas

- Arborização e reflorestamento de aterros;
- Plantações em taludes de construções;
- Recuperação de áreas erodidas.

d) Aplicação privada – hobby

Tendo como objetivo o atendimento deste grupo, ou seja, o emprego do composto em jardins privados pode-se ter uma grande diversidade de produtos. A diferença é que, para esta aplicação existe a obrigatoriedade do composto ter um grau de decomposição IV ou V, além do que o composto deverá ser oferecido em diversas granulometrias. A entrega do produto ao consumidor privado deve ser feita através de diversos pontos de distribuição ou ensacada. A comercialização da mercadoria quando ensacada poderá ser feita diretamente na usina, logicamente dependendo de diversos fatores como distância, vias de acesso, horário de atendimento, etc. ou no próprio comércio da região. Esta utilização é vista ainda com um pouco de ressalva pela necessidade constante de análises e exames em

relação ao conteúdo de substâncias prejudiciais e nocivas que poderiam comprometer tanto à saúde das plantas como a dos seres humanos.

3.5.3. Biogás

Quantidade e composição dos biogases

O biogás forma-se através da troca de substâncias envolvidas no processo de fermentação realizada pelos microorganismos. A quantidade de gás é fortemente dependente do material de entrada. A composição do gás é mostrada na Tabela 18.

TABELA 18 – A composição do biogás.

Substância	Porcentagem em Volume %
Metano (CH ₄)	50 – 75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 – 50
Nitrogênio (N ₂)	< 3
Oxigênio (O ₂)	< 1
Hidrogênio (H ₂)	< 1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	< 1
Amoníaco (NH ₃)	< 1

Além disto, na composição do biogás podem ser encontrados vestígios de ligações orgânicas, como por exemplo baixos álcoois ou ligações de enxofre mercaptanas. A decomposição dos materiais de entrada determinam o rendimento final do biogás da instalação. Para uma definição concreta em uma usina de fermentação das substâncias degradadas é necessário um exame correto do material de entrada. Na Figura 18 são mostrados o potencial de produção de biogás de alguns substratos, verificados em diversos ramos de trabalho, literatura e testes de laboratório.

O conteúdo da substância chamada lignina, encontrada normalmente na madeira, tem percentuais variando de 20 a 30%. A lignina pode ser degradada quase que somente sob condições aeróbicas, ou seja, para um aumento na produção de biogás, nos processos de compostagem anaeróbica, deve-se procurar a diminuição do percentual de lignina no material de entrada. Através de métodos anaeróbicos podem ser decompostos em média cerca de 40 até 65% das substâncias orgânicas contida no

material de entrada. Por muitos métodos podem ser obtidos até mesmo um grau de decomposição de 80% das substâncias orgânicas. Por exemplo, um processo anaeróbico, com mais etapas de fermentação consegue um maior grau de decomposição em relação aos processos de somente uma etapa. A degradação das substâncias orgânicas está relacionada com a produção de biogás e um ganho específico de energia interligada com o método anaeróbico utilizado (Arbeitsgemeinschaft Arbi-Probag, 1991).

Produção estimada de biogás m^3/t de massa seca orgânica

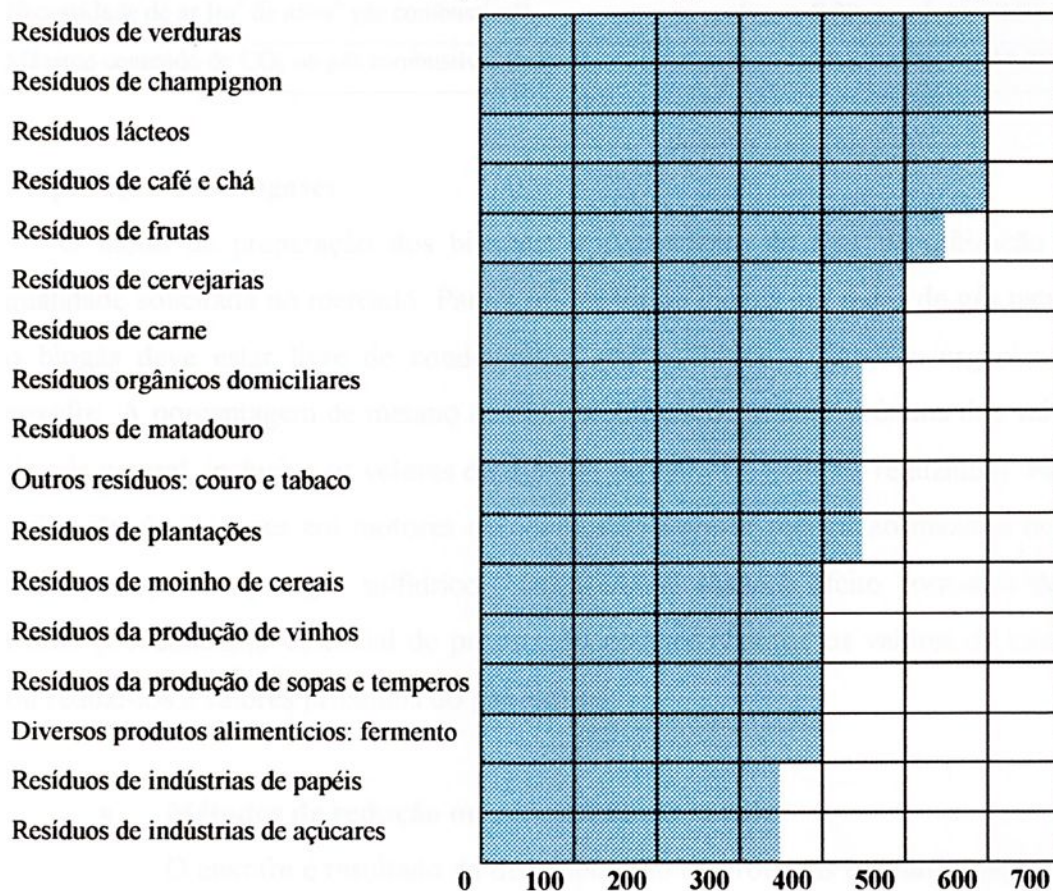


FIGURA 18 - Potencial de produção do biogás em relação a diferentes materiais de entrada.

Geralmente, pode ser considerada a produção de biogás em relação ao resíduos orgânicos de entrada de $100 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ com um ganho de energia de 6 kWh/Nm^3 biogás (conteúdo de metano de cerca de 60%). A faixa de variação de uma usina produtora é em torno de 80 a $150 \text{ m}^3/\text{ton}$ de material de entrada. O poder calorífico do biogás oscila de acordo com a sua composição. Uma comparação entre o biogás e o gás natural em relação a diferentes parâmetros é mostrado na Tabela 19.

TABELA 19 - Parâmetros técnicos de queima do gás natural e de um biogás, tendo este exemplo uma composição de 60% de metano, 38% de dióxido de carbono e 2% de outros gases (Cerajewski, 1995).

Parâmetros	Gás natural	Biogás
Poder calorífico H_u [MJ/Nm ³]	36,14	21,48
Número de Wobbe W_u [MJ/Nm ³]	44,52	22,18
Temperatura de ignição [°C]	620	700
Máxima velocidade de ignição [m/s]	0,39	0,25
Necessidade de ar [m ³ de ar/m ³ gás combustível]	9,53	5,71
Máximo conteúdo de CO ₂ no gás combustível [Vol.-%]	11,9	17,80

Preparação dos biogases

O modo de preparação dos biogases é dependente do tipo de utilização e a qualidade solicitada no mercado. Para a utilização do biogás nas redes de gás natural, o biogás deve estar livre de condensados, gás sulfídrico e ligações orgânicas de enxofre. A porcentagem de metano contido no biogás deve estar próxima dos valores do gás natural, inclusive os valores do dióxido de carbono (valores reduzidos). Para a utilização de biogases em motores de combustão deve-se reduzir ao máximo ou até retirar, se possível, o gás sulfídrico, reduzindo-se assim o efeito corrosivo deste. Como procedimento essencial de preparação deve-se eliminar os valores de enxofre ou reduzi-los a valores próximos do gás natural..

- **Métodos de redução ou eliminação do enxofre**

O enxofre é resultado da decomposição de proteínas existente no material de entrada, sendo que a maioria aparece, após a fermentação, como gás sulfídrico. As principais técnicas de redução e eliminação do enxofre (Cerajewski, 1995) são:

- **Eliminação do enxofre através do hidróxido de ferro**

Este é um método seco com a utilização do hidróxido de ferro (Fe(OH)₃) como catalisador. O gás é introduzido em uma torre para a retirada de enxofre pela parte de baixo, sendo esta preenchida de óxido de ferro. A massa do catalisador pode-se inflamar no processo de

regeneração. O hidróxido de ferro deve ser trocado e os detritos resultantes devem ser levados a um aterro sanitário, após alguns carregamentos e regenerações.

- Eliminação do enxofre com carvão ativado

Através do efeito catalítico do carvão ativado, o gás sulfídrico na presença de ar (oxigênio), é transformado em água e enxofre. Desta forma o enxofre é absorvido pela superfície do carvão ativado. Para a desabsorção do enxofre é necessário o aquecimento a temperaturas de 450°C, que podem ser feitas com a utilização do próprio biogás disponível. O carvão ativado deve ser trocado algumas vezes por ano.

- Eliminação de enxofre através de lavagem oxidativa do gás

A eliminação é feita pela absorção através da lavagem do biogás em uma solução aquosa formada por um complexo de ferro e celato resultando em um enxofre elementar; a regeneração do complexo resulta de um processo de drenagem do lodo.

- Eliminação do enxofre através de absorção química

A eliminação é feita através do óxido de ferro (Fe_2O_3), onde o gás sulfídrico é transformado em sulfeto férrico. Por causa da mudança de superfície através da deposição de enxofre, a massa deve ser após alguns carregamentos e regenerações ser depositada em um aterro sanitário. O biogás a ser limpo por este processo deve ser antes seco, para se evitar uma colagem do mesmo na massa da reação. Este procedimento é muito utilizado em instalações de biogás na agricultura.

- Eliminação do enxofre pelo biofiltro

Para este método, ainda não existe nenhuma experiência de grande envergadura. O processo se baseia na oxidação do enxofre por bactérias resultando sulfatos. O conteúdo do gás sulfídrico poderá ser reduzido até valores permitidos nas normas.

- Eliminação do enxofre pelo processo de fermentação de esterco

A eliminação é feita através do acréscimo de clorídrico de ferro (FeCl_2) ou através da mistura do biogás com pequenas quantidades de ar (3 a 5%), sendo assim também possível a eliminação do enxofre.

- **Métodos de redução do dióxido de carbono (CO_2)**

As solicitações de limpeza e conteúdo dos biogases para a sua utilização no abastecimento das redes públicas de gás natural implicam em que este deva ter as mesmas características do gás natural, tanto em relação à quantidade de metano como em relação ao dióxido de carbono. Quando for necessário deve-se efetuar uma redução do conteúdo de dióxido de carbono no biogás. Os principais métodos de redução (Cerajewski, 1995) são:

- Absorção de dióxido de carbono por um meio de absorção
Como meio de absorção é utilizado o monoetanolamina. Através deste consegue-se ao mesmo tempo uma separação do dióxido de carbono e do gás sulfídrico. Com a utilização deste método consegue também uma eliminação do enxofre. Através da regeneração do meio de absorção (solução de lavagem) pode ser separada a mistura $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ e para encerramento do processo deve ser queimada.
- Adsorção por troca de pressão
O dióxido de carbono será absorvido com o fornecimento de uma pressão de 4 bar através de um filtro molecular. A desabsorção resulta da retirada de pressão. Nitrogênio, oxigênio e vapor são mais rápidos adsorvidos do que o metano.
- Método de membrana
Por este método, com a utilização de diferentes membranas permeáveis de retenção, pode-se reduzir a concentração de metano e dióxido de carbono. Os gases podem ser separados com o uso de membranas polímeras como, por exemplo, silicone e acetato de celulose.

Reservas do biogás

O biogás pode ser reservado por alguns dias (Landesanstalt für Umweltschutz, 1994) através de diferentes sistemas como:

- Reservatório de baixa pressão;
- Reservatório de alta pressão;
- Reservatório de membrana;
- Reservatório tipo balão;
- Outros.

Os maiores volumes de reserwações, recomendados, variam de 500 m³ a 1000 m³.

A utilização do biogás

O biogás pode ser utilizado por diferentes modos e métodos. O modo de utilização é dependente do local. O local da usina de compostagem deve ser escolhido onde se possa alimentar uma rede de gás natural ou ser utilizada em um sistema de caldeiras. O biogás é produzido durante todo o ano e deve haver próximo do local onde está sendo produzido, uma possibilidade de armazenamento, ou ainda sua utilização através de um sistema de produção de energia elétrica e energia térmica (SPEET) que terá assim, um consumidor durante todo ano. Nos próximos itens são mostradas algumas possibilidades de utilização existente. A Tabela 20, mostra um balanço de energia de uma usina de compostagem.

O ganho de energia de um sistema de produção de energia elétrica e energia térmica é alto para todas usinas de compostagem por fermentação, em proporção ao próprio consumo (o consumo da usina é aproximadamente somente 20% do total de energia produzida pelo biogás). A quantidade de produção de biogás é fortemente dependente do material de entrada.

O excedente de energia por tonelada de material de entrada é aproximadamente de 100 a 200 kWh de energia elétrica e 150 a 450 kWh de calor. Por exemplo para um excedente de energia elétrica de 150 kWh/ton, uma usina de compostagem pode com 10.000 ton/ano de material de entrada produzir e comercializar 1.5×10^6 kWh. Tendo como exemplo um preço de venda R\$ 0.15/kWh teremos um total de

R\$ 225.000/ano ou R\$ 22.50/ton de material de entrada. Este ganho ainda deve ser comparado com os custos operacionais da usina.

TABELA 20 -Balanço de energia em uma usina de fermentação anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos interligada a um sistema de produção de energia elétrica e térmica (Egger, Pfirter & Schöttl).

Exemplo de balanço de energia em uma uisna de fermentação		
Produção de biogás	cerca de 100 Nm ³ /ton de resíduos orgânicos	
Conteúdo de energia	cerca de 6 kWh/Nm ³ de biogás (conteúdo de metano 65%)	
Ganho de energia [kWh/t]		
Energia total	600	
após uma SPEET		
Elétrica (33%)	198	
Calor (58%)	348	
Perda estimada (9%)	54	
Balanço [kWh/t]		
	Eletricidade	Calor
Produção de energia	198	348
Energia utilizada na usina de fermentação	48	48
Excedente de energia	150	300

a) Utilização energética através de um sistema de produção de energia elétrica e energia térmica

Esta técnica está em pleno desenvolvimento e já obteve bons resultados dos experimentos em funcionamento. Em um sistema de produção de energia elétrica e energia térmica pode-se conseguir um alto efeito global com a produção de energia elétrica através de um motor de combustão e um gerador e produção de energia térmica através da utilização do calor perdido por um trocador de calor, este rendimento fica em torno de 90% (cerca de 52% de calor, 38 % de eletricidade). Por causa deste grande efeito e tendo assim uma possibilidade em grandes centros de se ter uma opção reserva de geração de energia. O biogás mostra-se através de uma alto valor de

octanagem e em comparação com o gás natural uma reduzida capacidade de combustão. O biogás pode ser usado em motores Otto e motores de combustão interna (mistura de diesel, ar e biogás). O último tem apresentado bons resultados, se o fornecimento de energia é constante. Quando o fornecimento é descontínuo são melhores utilizados os motores Otto e motores de auto ignição. O gerador pode trabalhar em paralelo a uma rede pública de fornecimento de energia elétrica, como reserva desta, sendo a rede pública acionada quando há uma queda de energia, ou ainda em locais isolados de fornecimento de energia (deve-se observar aqui, a existência de nenhuma interligação secundária com a rede pública) (Leijendeckers, 1995 & Müller, 1995).

b) Alimentação de uma rede de gás natural

Antes da alimentação de uma rede de gás natural com o biogás, este deve passar por um processo de tratamento como secagem e eliminação do enxofre, buscando assim uma proximidade com as características do gás natural.

c) Utilização do biogás para o funcionamento de veículos

A utilização do gás natural para o funcionamento de veículos automotores já é uma experiência de muitos anos. Para a utilização do biogás como substância de acionamento de veículos, este deverá ser tratado tendo como principais etapas: secagem, eliminação do enxofre e redução do dióxido de carbono, obtendo-se assim uma composição semelhante ao gás natural. Encerrando estas etapas, o biogás deve ser comprimido e então somente assim ser usado como combustível em um veículo. A conversão dos motores Otto é facilmente realizada, e tanto gasolina, gás natural e biogás podem ser usados. Um tanque de 60 litros utilizando biogás como combustível pode percorrer até 200 km. A partir deste ano na Europa, os carros movidos a biogás poderão ser utilizados desde que estejam dentro dos padrões de qualidade na área de emissões. A Figura 19, mostra um balanço com a utilização do biogás (Pfirter, Schöttl & Egger, 1996), proveniente de resíduos

orgânicos, como combustível para o acionamento de veículos providos de motores de combustão tipo Otto.

É possível a utilização do biogás como combustível para funcionamento de veículos na própria usina de compostagem (veículos de coleta e máquinas) e também a frota pública do município. O rendimento do biogás pode assim ser corretamente testado. Sob o aspecto ecológico o seu emprego é altamente interessante tanto pelo ponto de vista regenerativo como também uma fonte de energia alternativa. Ainda se tem a vantagem de que o dióxido de carbono produzido pelo biogás é proveniente de plantas e restos de alimentos e não de combustíveis fósseis.

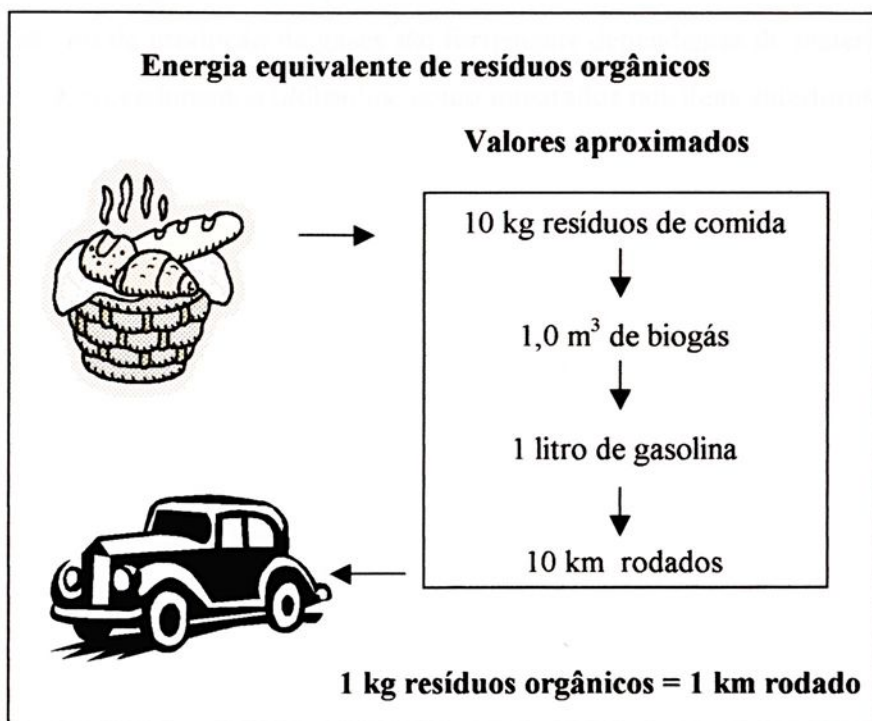


FIGURA 19 – Energia equivalente utilizando biogás como combustível de veículos (Pfirter, Schöttl & Egger, 1996)

d) Outras possibilidades de utilização do biogás

Além de todas estas possibilidades de utilização dos biogases existem ainda outras como:

- Substância de queima para secagem de lodo de esgoto, logicamente se as duas instalações estiverem na mesma região;
- Material de apoio para queima de resíduos sólidos em incineradores.

3.6. Compostagem

Comparação entre o processo anaeróbico de fermentação e processo aeróbico

Na Tabela 21, são mostrados dados comparativos dos valores médios em relação aos dois processos e servem como uma orientação para estudos e planejamentos. Dados corretos para um concreto projeto devem ser levantados e verificados no local. Para o cálculo dos custos devem ser observados fatores locais, as vezes presentes somente em algumas regiões, como por exemplo áreas desvalorizadas, etc. Muitos dados de emissão ou de produção de gases são fortemente dependentes do material de entrada, técnicas e procedimentos utilizados, como mostrados nos itens anteriores.



Tabela 21 – Comparação entre o processo anaeróbico e processo aeróbico

Parâmetro	Unidade	Compostagem aeróbica	Compostagem anaeróbica
Fase de evolução		continua em evolução	pouco desenvolvida, mas crescente
Material de entrada		resíduos domiciliares orgânicos e resíduos verdes	permite uma grande variação de materiais como resíduos de animais e úmidos, mas não aceita materiais estruturais
Duração do tratamento		entre 8 e 16 semanas	entre 3 e 8 semanas incluindo a higienização
Composto			
decomposição		cerca de 50%	entre 40 e 60%, podendo chegar até 70%
qualidade	% de massa seca orgânica	dentro dos padrões exigidos	dentro dos padrões exigidos
Emissões			
águas residuárias	l/t de material de entrada	100 – 600	100 – 600
quantidade de gases		grande	pequena
odores	GE/m ³	2.000 – 6.000	1.000 – 2.000
Energia	kWh/t	necessidade de energia 30 – 100	excedente de energia 300 – 650
Necessidade de área, incluindo decomposição aeróbica	m ² /t de material de entrada	1.2 (5.000 t/a) 0.9 (15.000 t/a) 0.7 (30.000 t/a)	0,6 (5.000 t/a) 0.4 (15.000 t/a) 0.3 (30.000 t/a)
Despesas técnicas		em crescimento devido as novas exigências de qualidade nas etapas de decomposição e higienização	altas devido ao sistema de encapsulamento, aproveitamento do biogás e centrifugação
Custos de operação	R\$/ton de material de entrada	130 – 250 (5.000 t/a) 120 – 220 (15.000 t/a) 100 – 200 (30.000 t/a)	180 – 270 (5.000 t/a) 140 – 230 (15.000 t/a) 100 – 200 (30.000 t/a)
Custos de investimentos	R\$/ton de material de entrada	600 – 1.400 (5.000 t/a) 500 – 1.200 (15.000 t/a) 450 – 1.000 (30.000 t/a)	900 – 1.800 (5.000 t/a) 650 – 1.200 (15.000 t/a) 500 – 1.100 (30.000 t/a)

4. CONCEITO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE KARLSRUHE

4.1. Introdução

4.1.1. A proteção do meio ambiente

Em todo o mundo , a Alemanha é um dos países mais desenvolvidos na área de proteção ambiental. No artigo da 20ª da Constituição Federal, a proteção do meio ambiente foi elevada em 1994 a meta pertinente ao estado: "Na responsabilidade pelas futuras gerações o estado protege também as bases naturais vitais". Esta tarefa se estende a diversos setores políticos e abrange o conceito de economia em ciclo integral, a concretização de uma mobilidade que preserve o ambiente bem como a conciliação entre a agricultura e proteção à natureza.

A indústria e a economia também já entenderam que a economia e ecologia não precisam ser antagonistas, mas sim que a proteção ambiental também é necessária sob o ponto de vista econômico. A conseqüente proteção do ar, da água e do solo é, a longo prazo, uma condição central para o desenvolvimento sadio da economia. Na Alemanha trabalham na proteção a ambiental, direta ou indiretamente, mais de 700.000 pessoas. Desenvolve-se assim uma moderna indústria de defesa ambiental, que oferece modernas técnicas para evitar e remover danos do meio ambiente.

Tecnologia ambiental de ponta "made in Germany" já se tornou um produto de exportação, procurado mundialmente. A participação da indústria alemã de defesa ambiental no comércio mundial perfaz cerca de 20,5 %.

4.1.2. Política ambientalista

Em nível federal, o "Ministério do Meio Ambiente" está encarregado da defesa ambiental; a ele está sujeito, entre outros, o "Departamento Federal da Defesa Ambiental", sediado em Berlim.

A política de defesa ambiental do governo federal baseia-se em três princípios:

- O princípio da prevenção: a política de defesa ambiental deve estar esboçada de tal maneira que, dentro do possível, sejam eliminados perigos e evitados prejuízos ao meio ambiente.

- O princípio do causador: não da comunidade, mas quem causa o dano ao meio ambiente é responsável e arca com os custos de sua eliminação.
- O princípio da cooperação: o estado, a economia e os cidadãos cooperam na solução dos problemas ambientais, já que cada um tem responsabilidade para com meio ambiente.

A Alemanha já investe milhões de marcos no meio ambiente e na recuperação deste, mas somente medidas nacionais, não são suficientes e não resolvem o problema, pois a poluição de rios, mares e ar não conhecem fronteiras. Dentro deste contexto, por ocasião da “Conferência do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas”, realizada no Rio de Janeiro em 1992, com 178 países participantes, a Alemanha comprometeu-se pela diretiva conjunta do “desenvolvimento sustentável”. A melhoria das condições econômicas e sociais de vida de todos os seres deve estar ligada à garantia das bases de vida naturais. A atuação conjunta requer em especial a solução de problemas ambientais globais, como a mudança de clima, a redução da camada de ozônio e decréscimo da biodiversidade.

Existem varias áreas de atuação da Alemanha em defesa do meio ambiente, sendo as principais:

- Conservação da pureza do ar:

Nesta área a Alemanha procura a identificação das fontes, as quais passam a ser eliminadas; obrigatoriedade de catalisadores nos escapamentos de veículos automotores e a obrigação das indústrias de reduzirem suas taxas de emissões de poluentes baseadas em leis, que obrigam inclusive uma substituição rápida dos equipamentos industriais no caso de necessidade. Todas estas medidas já apresentam resultados animadores na redução do dióxido de carbono e dióxido de enxofre.

- Defesa contra a poluição sonora:

Esta proteção é muito utilizada na Alemanha, principalmente devido ao problema de ruído no tráfego, em locais com grande densidade populacional.

- Proteção das águas:

Nesta área a proteção esta sendo feita através de severas disposições legais (lei sobre a emissão de águas servidas) e com as construções de novas estações depuradoras de esgotos e sobretudo com o tratamento biológico das águas residuárias por parte das indústrias e municípios. Esta política tem mostrado bons resultados, sendo que em alguns rios como o Reno e o Meno a diversidade biológica de espécies pode ser comparada com dos anos 20.

- Proteção da natureza e preservação da paisagem:

As superfícies de povoamento e tráfego na Alemanha estão crescendo e conseqüentemente a área verde tende a diminuir, por isto a proteção da fauna, flora e áreas naturais ganharam uma grande importância; hoje há uma tentativa dos estados e da união na preservação de 15% da superfície do país como área de proteção ambiental. Além disso a Alemanha já possui 12 parques nacionais e 5.200 reservas naturais.

4.1.3. Tratamento de resíduos sólidos e proteção do solo.

Com a nova lei sobre a economia em ciclo integral e sobre a recuperação de resíduos, de 1995, que substitui a antiga lei sobre a recuperação de resíduos, que vigorou até outubro de 1996. A nova lei sobre a economia em ciclo integral significa o abandono do programa de eliminação de resíduos a favor de uma economia em ciclo integral, que terá como conseqüência a poupança efetiva de recursos de matérias-primas, o desenvolvimento de produtos que produzam poucos resíduos, acarretando, a longo prazo, uma reorganização de todo o sistema de consumo e de produção para uma economia cíclica.

O tratamento dos resíduos sólidos de forma integrada inclui um grande número de medidas singulares e níveis de ação interligadas que envolvem um objetivo comum: acabar com o conceito antigo da simples remoção e disposição dos resíduos, e sim dirigir a um programa mais complexo baseado nos seguintes princípios (Cord-Landwehr, 1994):

- Reduzir e evitar a geração de resíduos sólidos;
- Reciclar e tratar economicamente os resíduos sólidos;

- Depositar adequadamente os resíduos sólidos não aproveitáveis.

Isto gerou toda uma estruturação dos “Departamentos de Limpeza Pública Urbana”.

Através de um conceito ampliado do que sejam os resíduos, são registradas todas as ocorrências significativas nos setores da produção e consumo e fixadas exigências para se evitar resíduos, para o aproveitamento material e energético, bem como para eliminação do ecologicamente tolerável.

Neste contexto, o princípio da responsabilidade do causador é colocado num ponto central, com a idéia de responsabilidade pelo produto. As iniciativas próprias da economia devem ser fortalecidas, através da possibilidade de associações e corporações de administração autônoma assumirem tarefas relativas a eliminação de resíduos, através da introdução da obrigatoriedade de concepção e balanço, bem como através da instituição de empresas especializadas na eliminação de substâncias residuais.

Evitar e reaproveitar os resíduos sólidos são de grande interesse para a Alemanha, um país pobre em matérias primas.

O princípio da responsabilidade pelo produto foi consolidado juridicamente pela primeira vez por intermédio da portaria relativa a embalagens. Tanto os produtores como os distribuidores de embalagens são obrigados aceitar de volta e a reciclar seus produtos após o uso. Em 1992, as partes implicadas criaram uma entidade organizada pela economia privada, o "Duales System Deutschland" (DSD “Ponto Verde”), que recolhe as embalagens utilizadas pelos consumidores, reciclando-as posteriormente. Os custos estão embutidos no preço do produto.

O governo federal vê, nos compromissos dos responsáveis pelo produto, que pode viabilizar a complementação de regulamentações jurídicas. Desta maneira, a indústria automobilística comprometeu-se perante o governo federal, em 1996, a reduzir os resíduos de sucata de 25% do peso total dos veículos e para um máximo de 15% até o ano de 2002 e, no máximo, 5% até 2015. Ao mesmo tempo, está sendo estruturado um amplo sistema de devolução e reciclagem de veículos automotores na Alemanha. Ademais, os fabricantes e importadores obrigam-se a receber de volta gratuitamente seus automóveis até uma idade de 12 anos.

A política econômica implantada pelo governo federal com a finalidade de evitar e reaproveitar os resíduos sólidos tem mostrado nítidos êxitos. Apenas a portaria relativa as embalagens permitiu evitar mais de um milhão de toneladas de embalagens, estatística realizada nos anos de 1992 e 1993. As embalagens de utilização múltipla aumentaram. Por exemplo, somente nos anos de 1993 até 1995, foram reciclados pelo "DSD" mais de 12 milhões de toneladas de embalagens de venda. Dimensões semelhantes foram registradas com as embalagens destinadas ao transporte, no período de 1992 a 1995.

Os dados estatísticos relativos a 1993, ou seja, logo após a implantação da portaria mostrou, através do balanço no setor de reciclagem, uma redução no volume do resíduos na Alemanha de 10%, passando de 374 milhões de toneladas em 1990, para 337 milhões de toneladas em 1993. Neste mesmo período a quota de aproveitamento subiu de 20% para 25%. Isto mostra uma pronta aceitação da economia e dos consumidores privados da nova política de reciclagem do governo federal, sendo uma tendência natural de diminuição do resíduos produzido e de aumento da um aumento da porcentagem reciclada.

No que diz respeito ao lixo doméstico, lixo industrial semelhante ao doméstico, lixo volumoso e varredura, registrou-se uma diminuição dos resíduos de 14% , no período em apreço, com uma cota de aproveitamento de 30% (em 1990 era de 13,6%). O volume de resíduos da produção industrial reduziu-se em 20% e a cota de aproveitamento subiu para 61% (em 1990 era de 46%). Esta tendência também foi confirmada no caso de resíduos especiais.

À disposição final dos resíduos sólidos, como parte deste conceito, está inteiramente interligada com a capacidade de reciclagem e grau de tratamento dos resíduos, pois eliminando os materiais recicláveis e após um tratamento seja ele, incineração, pirólise ou compostagem aeróbica ou anaeróbica, ou todos juntos, sempre haverá rejeitos a serem dispostos de maneira adequada.

Fica claro então se dizer que haverá sempre um aterro sanitário; o que é possível discutir é a considerável redução dos resíduos à depositar, valores estes fundamentais para a definição do tamanho do aterro, vida útil, técnicas e normas de engenharia sanitária para os tipos de rejeitos e a construção do aterro sanitário.



Com a concepção relativa à proteção do solo, elaborada em 1985 pelo governo federal, foi formulada pela primeira vez os requisitos para proteção ambiental desse elemento. Em 1995, apresentou-se um esboço para a “Lei Federal de Proteção do Solo”.

A lei de proteção do solo define este como vital para os seres humanos, a fauna e a flora. A fim de preservar o solo em suas múltiplas funções naturais, esta lei deve proteger o solo e evitar a formação de depósitos de resíduos sólidos fora das técnicas de engenharia, ou seja, o aproveitamento do solo deve ser ecologicamente tolerável e não ocasionar danos.

4.2. O Estado de Baden-Württemberg

Atualmente o estado de Baden-Württemberg tem uma população de 10,3 milhões de habitantes, abrangendo uma superfície total de 35.751 km², caracterizada por um clima ameno e tendo como capital a cidade de Stuttgart

Outro destaque do estado é o seu parque industrial, pois lá estão sediadas as poderosas indústrias como Porsche, Bosch e a Daimler Benz AG e o seu desempenho econômico patenteia-se no fato de que seu volume de exportação é maior do que o da Suíça. Isto resulta não só da produtividade das grandes indústrias mas também das centenas de empresas de pequeno e médio portes que fornecem produtos especializados para o mundo inteiro.

O que o estado destina a pesquisa ocupa uma posição de destaque no âmbito internacional. As áreas prioritárias dos projetos atualmente são:

- Automobilístico;
- Comunicação;
- Desenvolvimento de técnicas ambientais.

As principais cidades são: Stuttgart, Mannheim, Heidelberg, Ulm, Heilbronn, Pforzheim, Reutlingen e a cidade de Karlsruhe.

4.2.1. Resíduos sólidos em Baden-Württemberg

No estado de Baden-Württemberg foram coletados em 1992 um total de 29.051.941 ton de resíduos sólidos e a composição desta coleta são mostrados na Tabela 22.

Como se pode observar, a grande produção de resíduos sólidos do estado de Baden-Württemberg, com um total de aproximadamente 75% são os resíduos sólidos provenientes de obras, os quais são constituídos de:

- Materiais de escavação não aproveitáveis 70,7%;
- Materiais de escavações aproveitáveis 0,9%;
- Entulhos e materiais de demolições 25,3%;
- Quebras de ruas 3,1%.

Em relação dos resíduos sólidos recicláveis, perfazendo um total de 1.220.181 ton em 1992, estes podem ser diferenciados em porcentagem como mostrados na Tabela 23, já computados os valores coletados pelo DSD, correspondentes a 25% do total.

TABELA 22 - Composição dos resíduos sólidos totais do Estado de Baden-Württemberg – 1992 (Umweltministerium Baden-Württemberg, 1994).

Especificação dos Resíduos Sólidos	Quantidade ton/a	Produção kg/hab.	Porcentagem %
Resíduos sólidos domiciliares (incl. resíduos de grande volume e pequeno peso)	2.266.051	226	7,8
Resíduos sólidos coletados em áreas comerciais e industriais semelhante aos resíduos sólidos domiciliar (sem a parte reciclável).	1.888.376	199	6,5
Resíduos sólidos recicláveis	1.220.181	110	4,2
Resíduos verdes e resíduos orgânicos (coletado separado)	493.883	49	1,7
Resíduos sólidos provenientes de obras , material de escavação, entulhos e demolições, quebra de ruas não aproveitáveis	21.759.905	2.159	74,9
Resíduos provenientes de lodo de esgoto.	755.350	74	2,6
Resíduos provenientes de produções específicas como varredura de rua, indústrias de papel e outros tipos de resíduos industriais.	522.935	52	1,8
Outros tipos de resíduos sólidos, como cinzas, substâncias nocivas à saúde, etc.	145.260	14	0,5
Soma	29.051.941 ton/a	2.883 kg/hab.	100,00%

TABELA 23 - Composição percentual dos resíduos sólidos recicláveis do estado de Baden-Württemberg.

Especificação do material	Valor Percentual
Papel e papelão	54,10%
Vidro	21,60%
Metal	14,30%
Madeira	5,10%
Plástico	3,60%
Material têxtil	1,10%
Outros	0,20%

4.3. A Cidade de Karlsruhe

A cidade de Karlsruhe (Dakten und Fakten, 1999), situa-se numa região rica em florestas na região do “Reno Superior”, entre o “Reno e a Floresta Negra”, tendo do lado esquerdo do Reno, como cidades vizinhas de Pfalz e Elsass (França).

A sua posição geográfica é dada por:

- Longitude leste 8° 24' 18”;
- Latitude norte 49° 00' 54”.

A população da cidade, ano base 1998, perfazia um total de 287.000 pessoas, dos quais 34.190 são estrangeiros; a cidade possui um índice de natalidade decrescente e mesmo assim apresenta um pequeno crescimento populacional devido a vindas de populações vizinhas e estrangeiras.

A cidade tem um produto bruto de 29.7 milhões de reais, correspondendo a 6,4% do estado, tendo a população um poder de compra estimado em R\$ 21.361/habitante. A cota de desemprego na cidade perfaz um índice de 9.9% tendo como base junho de 1998.

A quantidade de resíduos sólidos totais produzidos na cidade, em relação a 1998, tem-se o valor de 189.728 toneladas, perfazendo uma produção de cerca de 661 kg/ano x hab., tendo como base os resíduos domiciliares e comerciais semelhantes aos residenciais temos um total de 55.664 toneladas, perfazendo uma produção de cerca de 194 kg/ano x hab..

A cidade de Karlsruhe, em relação à coleta e disposição de resíduos sólidos tem uma política singular e de ponta, destacando-se sempre pelas inovações na área.

4.3.1. Resíduos sólidos em Karlsruhe

O complexo tema dos resíduos sólidos sempre foi motivo de discussão na cidade de Karlsruhe; baseado nisto foi elaborado em 1979, o “Conceito Integrado de Resíduos Sólidos de Karlsruhe” (CIRSK), discussão esta que se ampliou ainda mais com a vida útil cada vez menor dos aterros da cidade.

Uma forma integrada de tratar os resíduos sólidos inclui um grande número de medidas singulares e níveis de ação interligados da comunidade que envolve um objetivo comum: acabar com o conceito antigo da simples remoção e disposição dos resíduos sólidos, e sim implantar um programa mais complexo baseado em uma solução definitiva para os resíduos sólidos; este conceito é mostrado na Tabela 29.

Na cidade de Karlsruhe existe um o programa implementado desde de 1979 e o conceito foi evoluindo aos poucos e se tem como dados comparativos os valores de 1989, quando a cidade tinha uma população de 267.284 habitantes produzindo 597.345 ton de resíduos sólidos totais; nesta época, com 10 anos do programa, já se conseguia um reaproveitamento de resíduos no valor de 291.500 ton (24.500 ton de resíduos recicláveis, 27.000 ton de resíduos comerciais e 240.000 ton de resíduos provenientes de troca de solo e demolições e obras em geral), e o restante aproximadamente 300.000 ton de resíduos eram depositados no aterro.

A Tabela 24, mostra uma estimativa dos resíduos sólidos domiciliares e semelhantes aos resíduos domiciliares da cidade de Karlsruhe, em relação aos resíduos totais coletados.

A cidade de Karlsruhe com uma política singular, em relação a coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos, tem trabalhado incansavelmente todos estes anos buscando sempre soluções inovativas, e mostrando muita seriedade no emprego de tecnologias de ponta na procura das melhores soluções e, com certeza, está conseguindo se tornar uma cidade cada vez melhor para se viver.

TABELA 24 -Composição dos resíduos sólidos domiciliares e semelhantes aos resíduos domiciliares da cidade de Karlsruhe –1998 (Veordnung des Umweltministeriums, 1998).

Especificação dos resíduos sólidos	Quantidade ton/a	Produção kg/habxano	Porcentagem
Resíduos sólidos domiciliares	64.069	223,24	41,58%
Resíduos sólidos coletados em áreas comerciais e industriais semelhante aos resíduos sólidos domiciliares (sem a parte reciclável).	13.361	46,55	8,67%
Resíduos sólidos recicláveis	42.681	148,71	27,70%
Papel e papelão	24.849	86,58	16,13%
Vidro	9.847	34,31	6,39%
Metal	1.914	6,67	1,24%
Madeira	3.057	10,65	1,98%
Plástico	2.103	7,33	1,36%
Material têxtil	477	1,66	0,32%
Outros materiais	434	1,51	0,28%
Resíduos verdes aproveitados	13.882	48,37	9,01%
Resíduos orgânicos aproveitados	4.760	43,27**	3,09%
Detritos provenientes de separação e tratamento	15.339	53,44	9,98%
Detritos do tratamento dos resíduos orgânicos provenientes de restos de comida	1.500	13,64**	0,97%
Detritos provenientes do tratamento dos resíduos verdes	8795	30,64	5,70%
Detritos provenientes da separação de resíduos recicláveis	5104	17,79	3,31%
Soma	154.092	563,58	100,00%

** Estes itens foram divididos somente pela população atendida, no caso, aproximadamente 110.000 habitantes

TABELA 25 - Conceito integrado de resíduos sólidos de Karlsruhe (CIRSK) (Amt für Abfallwirtschaft, 1987).

Resíduos sólidos totais	Reduzir e evitar a geração de resíduos sólidos	Redução de substâncias prejudiciais. Tratamento e criação de uma disposição especial	Aproveitamento dos resíduos recicláveis e tratamento adequado dos resíduos orgânicos	Aproveitamento térmico	Disposição adequada dos resíduos sólidos não aproveitáveis
- Resíduos sólidos domiciliares; - Resíduos sólidos coletados em áreas comerciais e industriais semelhante aos resíduos sólidos domiciliares (sem a parte reciclável); - Resíduos sólidos recicláveis; - Resíduos verdes e resíduos orgânicos (coletado separado); - Resíduos sólidos provenientes de obras, material de escavação, entulhos e demolições, quebra de ruas não aproveitáveis; - Resíduos provenientes de lodo de esgoto, produções específicas como varreduras de ruas, indústrias de papel e outros tipos de resíduos industriais; - Outros tipos de resíduos sólidos, como cinzas, substâncias nocivas à saúde, etc.	Medidas: - Programa de conscientização da população; - Trabalho de base com produtores e fornecedores. Consequências: - Produtos com menos embalagens; - Compra de produtos naturais ou fabricados com produtos naturais.	Medidas: - Planejamento adequado, projeto, esclarecimento e conscientização da população; - Criação de pontos de coleta fixos e pontos de coleta móveis; - Criação nos postos de coleta fixa de um tratamento e disposição adequada das substâncias prejudiciais. Consequências: - Diminuição do potencial prejudicial das substâncias; - Redução da presença destas no reaterro.	Medidas: - Programa de conscientização da população; - Estudos e projetos; - Continuação e melhora da coleta seletiva dos resíduos recicláveis; - Estudo e implantação de containers de resíduos orgânicos. Consequências: - Diminuição do volume levado ao aterro; - Reaproveitamento da matéria prima; - Redução das emissões; - Produção de composto dos resíduos orgânicos; - Os resíduos dos aproveitamentos devem ser levados ao aterro sanitário.	Medidas: - Planejamento adequado, projeto e esclarecimento à população; - Incineração dos resíduos que não tiverem possibilidade de aproveitamento energético do tratamento; - Limpeza dos gases produzidos; - Tratamento dos detritos restantes. Consequências: - Redução drástica do volume a ser destinado ao aterro; - Mínima emissão de gases poluentes; - Inertização e higienização dos detritos restantes, que deverão ser encaminhados ao aterro.	Medidas: - Coleta e tratamento do chorume produzido; - Coleta, tratamento e aproveitamento energético dos gases do aterro; - Saneamento do aterro, inclusive encapsulamento. Consequências: - Menor emissão de gases; - Recuperação da área; - Diminuição do risco de contaminação de áreas adjacentes e do lençol freático; - Embelezamento do meio ambiente.

4.3.2. Descrição e análise da usina de fermentação de Karlsruhe

A usina de compostagem de resíduos orgânicos por fermentação de Karlsruhe (Amt für Abfallwirtschaft, 1996), localiza-se no bairro chamado Durlach e limita-se diretamente ao sul com o aterro sanitário leste de Karlsruhe (Amt für Abfallwirtschaft, 1995 & 1996).

Para todo o processo de construção da usina, desde o projeto até a operação foram necessários 5 anos, sendo as principais etapas:

- Setembro de 1991 Escolha do lugar da usina;
- Março de 1992 Estudo pelo conselho municipal;
- Janeiro de 1993 Elaboração do relatório de impacto ambiental;
- Abril de 1993 Análise dos custos da usina;
- Janeiro de 1994 Limitação da área a ser atendida pela usina;
- Julho de 1994 Recebimento de propostas;
- Setembro de 1994 Análise das propostas pelo conselho municipal;
- Julho de 1995 Estudo do projeto em relação a nova lei federal de proteção contra emissões ;
- Setembro de 1995 Início das obras;
- Setembro de 1996 Início de operação em fase de teses.

Depois do lançamento da pedra fundamental em setembro de 1995, iniciou-se a construção da usina de compostagem com a movimentação de mais de 5.000 m³ de terra. A instalação sofreu cortes de aterro de até 6 metros, no paralelo leste e foi mantido um desfiladeiro que serve também de proteção para a instalação. A instalação aponta para o oeste tendo a característica de um galpão, com um telhado de duas águas, tendo um total de área construída de 2.000 m². Um importante detalhe da construção é a ponte de interligação entre a usina de compostagem e a estação de tratamento de chorume. Depois exatamente de um ano de obras a instalação foi concluída.

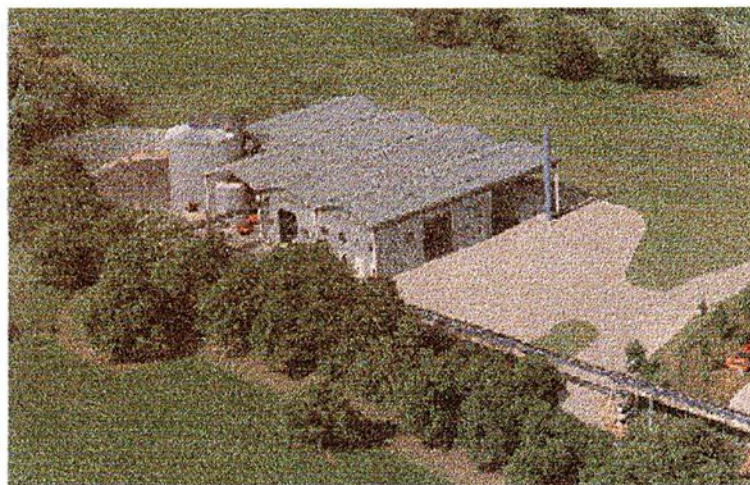


FIGURA 20 - Vista geral da usina de compostagem de Karlsruhe

4.3.2.1. Dados técnicos de projeto

- População atendida: 110.000 habitantes;
- Capacidade de tratamento: 8.000 ton/a;
- Tipo de materiais a serem tratados: Resíduos orgânicos;
- Método: Via úmida;
- Processo biológico: Anaeróbico;
- Temperatura de trabalho: Mesofílica;
- Etapas de fermentação: Uma fase;
- Sistema de operação: Quase contínuo;
- Sistema inovativo: Tanque de dissolução e separação;
- Volume dos rejeitos: 1.600 ton/a;
- Capacidade de produção de composto: 2.200 ton/a;
- Excedente de chorume a ser tratado: 6.830 m³/a;
- Produção de biogás: 80 m³/h a 100 m³/h;
- Quantidade de gases limpos: 10.000 m³/h;
- Custo da obra: R\$ 15.000.000;
- Custos de funcionamento: R\$ 360/ton;
- Área coberta: 2.000 m²;
- Número de funcionários: 05

4.3.2.2. Etapas de funcionamento

A usina foi desenvolvida de uma forma que, através da sala de comando, é possível visualizar todo o processo e o funcionamento dos equipamentos. As etapas da usina de fermentação podem ser assim divididas:

- Recepção e descarga;
- Seleção eletromagnética;
- Trituração primária;
- Homogeneização ou preparação da solução com separação de materiais estranhos ou perturbadores;
- Seleção de materiais de igual granulométrica da areia;
- Biodigestão ou fermentação anaeróbica;
- Centrifugação;
- Mistura do material fermentado com material estrutural;
- Higienização da mistura na câmara de decomposição;
- Maturação da mistura e formação do composto.

- **Fluxograma da Usina de Compostagem**

Na Figura 21, é mostrado o fluxograma de funcionamento da usina de Karlsruhe.

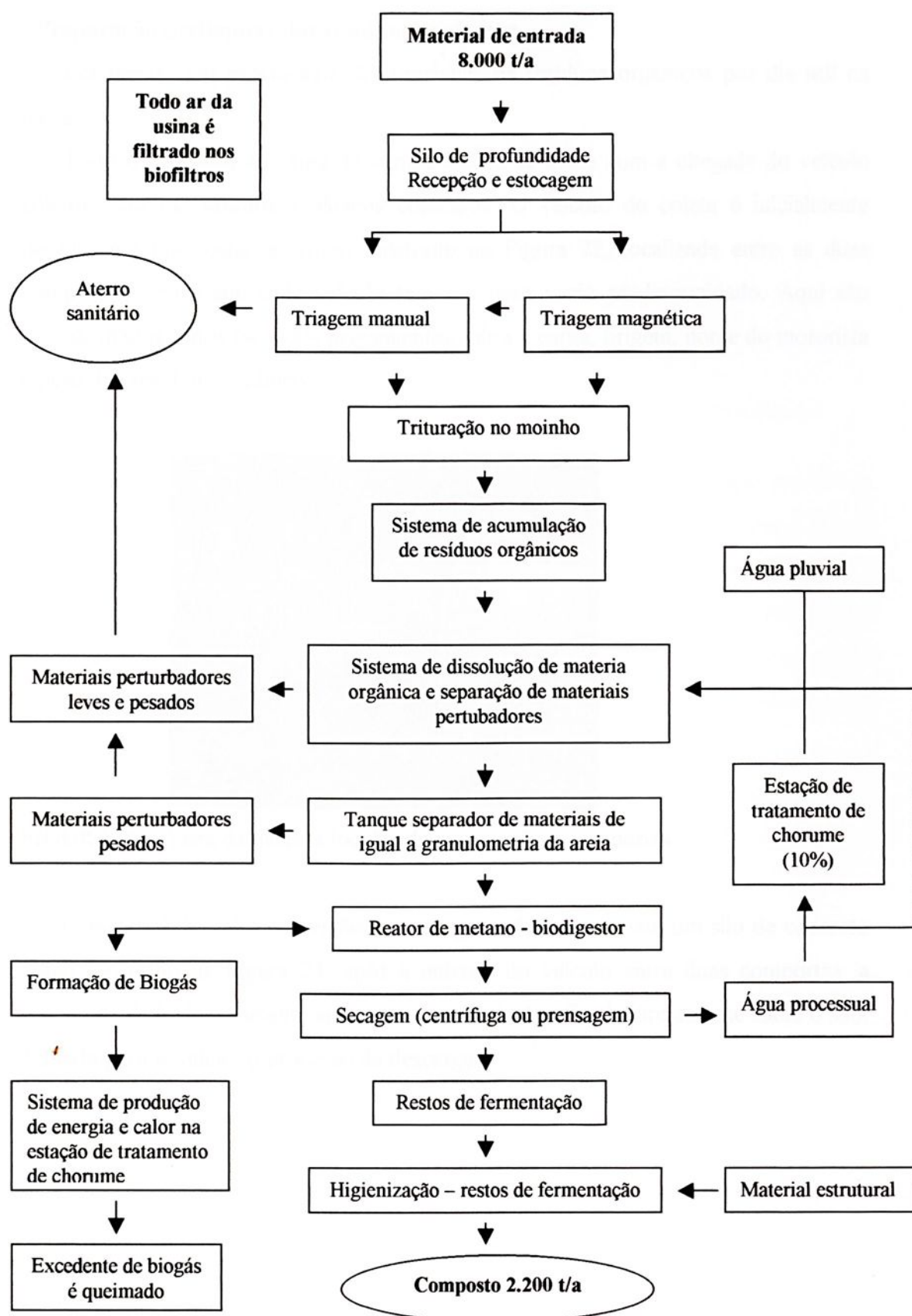


FIGURA 21 - Fluxograma da usina de compostagem de Karlsruhe

- Preparação preliminar dos resíduos orgânicos

Em média, são processados 25 toneladas de resíduos orgânicos por dia útil na usina.

Todo o processo na usina de compostagem se inicia com a chegada do veículo coletor com os resíduos orgânicos coletados. O veículo de coleta é inicialmente pesado, em uma balança, como mostrado na Figura 22, localizada entre as duas comportas, sendo que cada veículo tem seu peso vazio predeterminado. Aqui são documentados todos os dados provenientes sobre a carga, origem, nome do motorista e peso dos resíduos orgânicos.

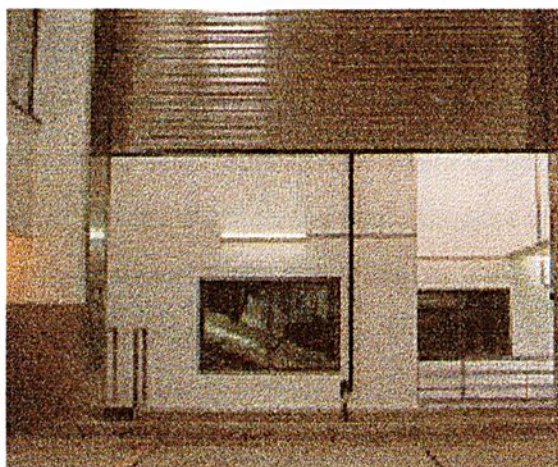


FIGURA 22 - Vista da balança localizada entre as duas comportas

O material do veículo é então descarregado diretamente em um silo de concreto como mostrado na Figura 23, após a entrada do veículo entre duas comportas, a primeira é fechada e somente após isto, a segunda, localizada diretamente sobre o silo, é aberta para se iniciar o processo de descarga.

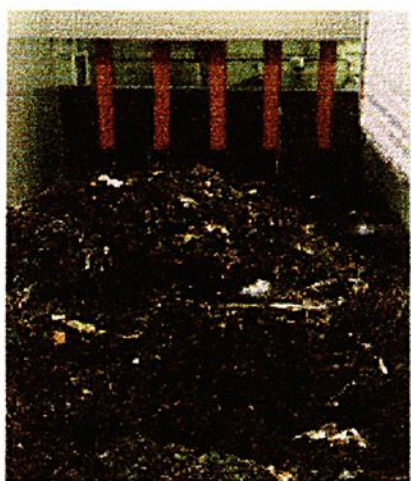


FIGURA 23 - Vista do silo de concreto para recebimento dos resíduos orgânicos.

Entre as duas comportas existe um sistema de exaustores, para que nenhum ar carregado de odores seja levado para fora. Após a descarga o veículo é lavado grosseiramente em lugar especial de lavagem para a continuação do itinerário.

Os resíduos orgânicos coletados e descarregados no silo são transportados para uma esteira transportadora como mostrado na Figura 24, através de uma esteira metálica vibratória e dosadora existente no silo. Através deste sistema, são os resíduos orgânicos, além de serem transportados, também homogeneizados.

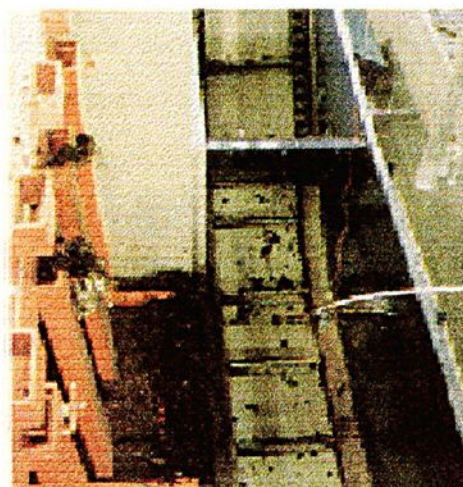


FIGURA 24 - Esteira transportadora de resíduos orgânicos

Através da esteira o material é transportado para um moinho helicoidal de engrenagens como mostrado na Figura 25. O moinho é protegido de materiais

grosseiros e metais através de um detector de metais instalado sobre a esteira, um pouco antes da entrada no moinho. No moinho, os resíduos orgânicos grosseiros são triturados como também abertas eventuais sacolas ou sacos existentes.

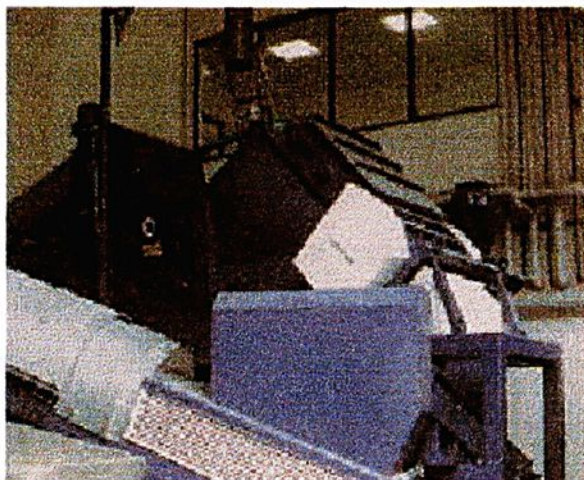


FIGURA 25 - Vista do moinho helicoidal.

Após isto, os resíduos orgânicos pré-preparados seguem para um silo de série, (integrado ao sistema, tanque de dissolução e separação) onde vão sendo dispostos em série, a espera do volume necessário, para a continuação do processo de tratamento. Todo o ar das salas de preparação, são exauridos, e após um processo de umidificação são levados para um sistema de biofiltros, como mostrado na Figura 26. Através dos biofiltros ocorre uma purificação do ar, ou seja, a retirada dos microorganismos, causadores de odores e doenças; somente após isto o ar é lançado à atmosfera pela chaminé de descarga.

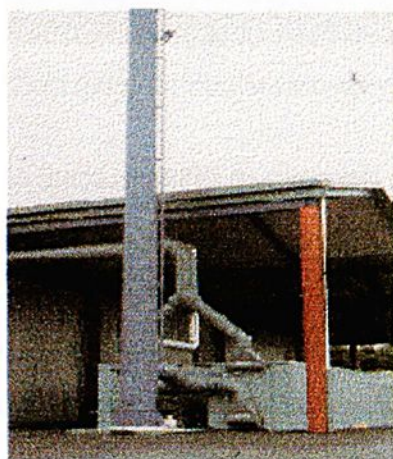


FIGURA 26 - Vista geral do sistema de biofiltros.

Em contra fluxo corre ar puro (fresco) para dentro das instalações; a importância deste sistema de purificação e troca do ar nas salas de tratamento, está na proteção dos trabalhadores de possíveis seres patogênicos e causadores de doenças oriundos nos resíduos orgânicos. Além disto esta completa isolação de silos, correias transportadoras, moinhos e tanque de dissolução faz com que o sistema não possibilite a propagação de odores para a atmosfera e regiões vizinhas.

- Preparação e utilização dos resíduos orgânicos, BTA métodos e procedimentos

O tanque de dissolução e separação de resíduos orgânicos, como mostrado na Figura 27, processa os resíduos orgânicos com o acréscimo de água e produz uma solução apta a ser bombeada; além disto, separa dos resíduos orgânicos os materiais estranhos e perturbadores (de grande volume) carregados inevitavelmente.

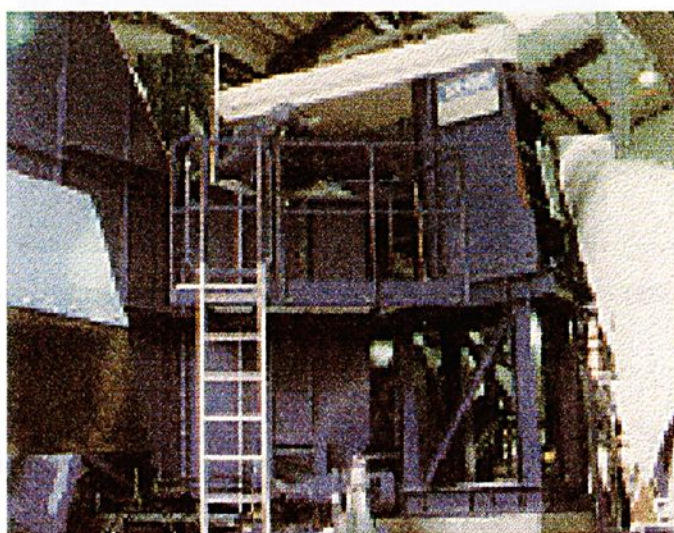


FIGURA 27 - Vista geral do sistema inovativo do tanque de dissolução e separação.

Este ciclo se inicia, quando os materiais pré-preparados e armazenados no silo de série, são rapidamente (máximo alguns minutos), transportados para dentro do tanque de dissolução e separação.

A preparação no tanque de dissolução e separação se sucede, dentro do tanque principal (com capacidade de até 7 toneladas de matéria seca de resíduos sólidos) onde os resíduos orgânicos são misturados com água do processo. Uma forte corrente circular provocada por um agitador mecânico, faz com que os elementos sólidos

orgânicos existentes sejam desagregados (desfiados) e dissolvidos, formando uma solução.

Os materiais perturbadores e estranhos presentes no tanque de dissolução e separação, são retirados antes do início de um novo ciclo através de dois métodos, os materiais pesados, como mostrado na Figura 28, decantáveis (metal, vidro, pedra, areia e ossos) são retirados através de uma comporta existente na parte inferior do tanque principal e levados a um container para posterior transporte e deposição no aterro sanitário.

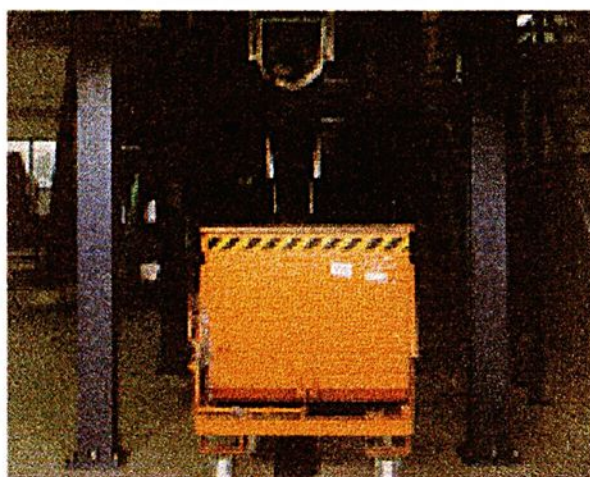


FIGURA 28 - Sistema de remoção dos materiais pesados do tanque de dissolução e separação.

Os materiais leves, como mostrado na Figura 29, flutuantes (plástico, têxtil, madeira, etc), são pescados através de uma grade e prensados para retirada do excesso de água; após isto são levados através de uma esteira transportadora até um container para posterior transporte e deposição no aterro sanitário; a água restante do processo de prensagem é levada a um reservatório de água do processo.

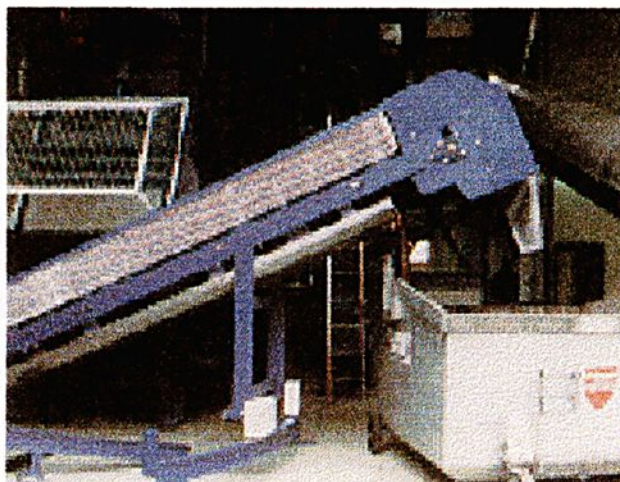


FIGURA 29 - Sistema de remoção dos materiais leves do tanque de dissolução e separação.

A solução orgânica formada no tanque no dissolução, é succionada através de um sistema de bombeamento para o tanque separador de areia, ainda contendo pequenas pedras, grãos de areia e pedaços de vidro, como mostradas na Figura 30. Este tanque está interligado a um ciclone hídrico, e por meio de um turbilhão de corrente pode eliminar os materiais sólidos. A separação protege a instalação contra elevados atritos e materiais de sedimentação no reator de metano, além de principalmente, melhorar a qualidade final do composto. O material retirado é levado diretamente a um container para posterior transporte e deposição no aterro sanitário.



FIGURA 30 - Vista geral do tanque separador de areia.

E somente a solução de resíduos orgânicos livres de substâncias estranhas e perturbadoras é bombeada para o processo de fermentação no reator de metano, como mostrado na Figura 31; neste reator a massa deve ficar por 16 dias. Após este período, cerca de 45% das substâncias orgânicas foram fermentadas e conseqüentemente decompostas. O reator funciona como um sistema misto completo, em que a produção de gás está diretamente ligada ao abastecimento uniforme de substâncias nutritivas aos microorganismos.

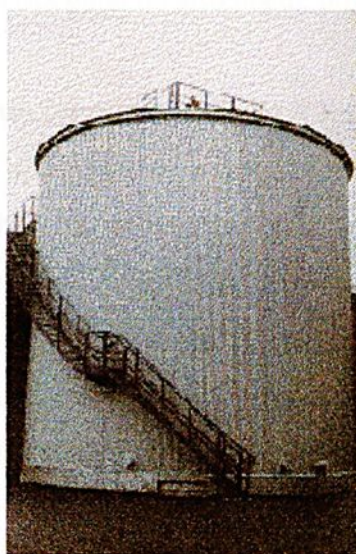


FIGURA 31 - Vista geral do reator de metano.

A melhor operação do sistema é quando o processo no reator se dá à temperatura constante e quaisquer pequenas alterações desta devem ser prontamente corrigidos.

Uma parte do biogás produzido é utilizado na própria usina de fermentação para a realização de um processo de mistura total da suspensão dentro do reator de metano e o restante do biogás é enviado para a estação de tratamento de chorume para a produção de energia elétrica e energia térmica. Em casos de emergência (quebra de equipamentos) ou excedentes de produção, o biogás produzido é queimado na própria usina. Através do sistema de produção de energia, localizado na estação de tratamento de chorume, como mostrado na Figura 32, produz-se com a utilização do biogás: energia e calor.

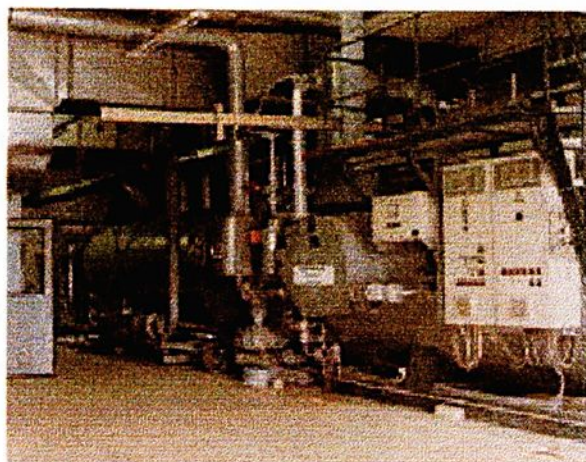


FIGURA 32 - Vista geral do sistema de produção de energia.

- Pós-tratamento (de resíduo sólido a composto).

Em média após 16 dias a solução do reator de metano é conduzida para um equipamento chamado centrífuga decantadora, como mostrado na Figura 33, onde ocorre uma drenagem de até 35%, em relação ao conteúdo de resíduos secos. Para a estabilização e uma melhor decantação a solução é misturada com um produto químico que auxilia a floculação. Após a decantação as substâncias sólidas (restos sólidos da fermentação e o futuro composto) são transportadas através de uma esteira helicoidal da centrífuga decantadora para um depósito destas substâncias fermentadas, o líquido resultante da drenagem é bombeado para dentro do reservatório de água do processo.



FIGURA 33 – Vista geral da centrífuga decantadora

Este líquido é armazenado, em um chamado reservatório de água do processo, como mostrado na Figura 34, e forma com um tempo uma espécie de malte rico em microorganismos decompositores que podem auxiliar o processo de fermentação na fase de dissolução das substâncias orgânicas no tanque de dissolução e separação. Este líquido é proveniente de várias etapas do processo e está sempre presente quando da necessidade de limpeza de algum equipamento. O excedente deste líquido é conduzido à estação de tratamento de chorume.



FIGURA 34 - Reservatório de acumulação de água do processo.

A matéria sólida drenada, restos das substâncias fermentadas, é misturada com materiais estruturais (material rico em lignina) e colocada em uma câmara hermeticamente fechada chamado câmara de decomposição aeróbica, como mostrado na Figura 35. Nesta fase, dentro da câmara de decomposição aeróbica é feita a higienização da mistura com temperaturas em torno de 60 a 65 °C.

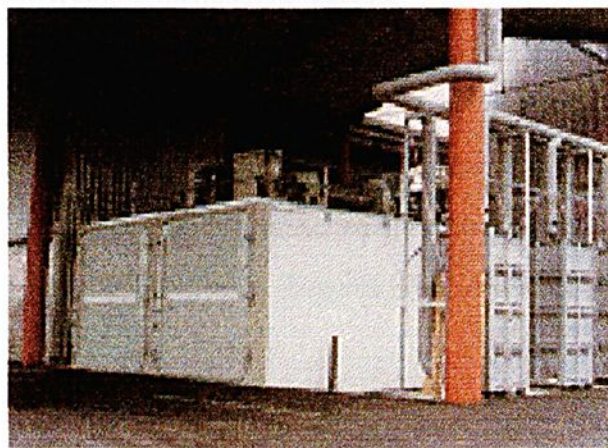


FIGURA 35 – Vista geral da câmara de decomposição aeróbica

Nesta fase morrem os germes (seres patogênicos) existentes na mistura (pré-composto) e a conseqüente higienização desta. O tempo de permanência na câmara de decomposição aeróbica é de 5 dias. Após isto o pré-composto é levado à uma área coberta para a fase de maturação final e finalmente o composto está pronto. O processo de maturação dura cerca de 8 semanas.

A câmara de decomposição aeróbica tem um singular sistema de controle e independência através da interligação deste com um grupo gerador de energia, sendo assim, mesmo em uma eventual parada da usina, o sistema de higienização não é interrompido e conseqüentemente não comprometendo a formação do composto. Além disso, todo ar usado no processo de higienização é filtrado antes de ser lançado à atmosfera.

4.3.2.3. Principais problemas da usina

Durante os oito meses de estadia na usina, para o desenvolvimento da parte experimental da tese, os principais problemas estão relacionados abaixo e mostrados na Tabela 26:

- Acomodação dos resíduos no silo de entrada;
- Volume de reservação de água potável;
- Limpeza semanal (visual);
- Falta de limpeza nos equipamentos;
- Uso da água processual na centrífuga e hidrociclone;
- Detector e separador de metais;
- Método de medição de vazões;
- Falta de um trocador de calor na câmara de decomposição;
- Aproveitamento energético;
- Controle de peso do composto produzido;
- Tratamento do excedente de água do processo;
- Controle automático da usina (interferência pessoal).

TABELA 26 - Principais problemas ocorridos na usina no período de 01/05/99 a 31/12/99.

Período	Ocorrência	Perda em dias úteis
10/05/99 a 13/05/99	Reparo na correia transportadora responsável pelo transporte do material de entrada do silo de recepção até o moinho triturado	03 dias
25/06/99 a 11/07/99	Troca da correia transportadora responsável pelo transporte do material de entrada do silo de descarga até o moinho triturado	11 dias
06/09/99 a 07/09/99	Problema no hidrociclone que ocasionou um carregamento de areia para o reator. Reparo no hidrociclone e limpeza no reator	02 dias
24/11/99 a 28/11/99	Quebra e reparo da camisa interna de proteção do reservatório de dissolução.	03 dias
20/12/99 e 27/12/99	Falta de energia.	02 dias
Soma		21 dias

No funcionamento diário da usina, a mesma apresentou outros problemas como entupimentos de válvulas, troca de reparos de bombas, trocas de registros, problemas eletrônicos de equipamentos e no computador de controle, etc., mas que podem ser enquadrados como problemas normais de operação.

5. OTIMIZAÇÃO, ESTUDOS E ANÁLISES DE FATORES INFLUENTES NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO COMPOSTO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INOVATIVO DE COMPOSTAGEM ANAERÓBICA

5.1. Introdução

Como já foi mostrado no Capítulo 3, o processo de compostagem de resíduos sólidos por fermentação está em total fase de evolução e se refere ainda somente a dois trabalhos publicados por Gottschall, R., Bialla, J., Vogtmann, H. em 1995 e de Fischer, P., Schmitz, H.- J., Popp, L. em 1996, necessitando de novas análises e estudos tanto para uma melhor quantificação como uma qualificação do processo de fermentação de resíduos orgânicos.

A parte experimental deste trabalho foi realizada de maio a dezembro de 1999, na usina de compostagem por fermentação da cidade de Karlsruhe e os testes de laboratório foram realizados no laboratório da estação de tratamento de chorume, localizada próxima à usina.

Durante a estadia na Alemanha, foram realizadas algumas visitas na estação de tratamento de esgotos de Darmstadt, onde foram feitos alguns testes de laboratório em relação à qualidade de águas residuárias e digestão de lodos em digestores de lodo.

O estudo é dividido em duas etapas:

Etapla 1: Análise quantitativa e qualitativa de todo o processo de compostagem da usina, tanto em relação aos produtos finais como composto e biogás, e em relação aos materiais perturbadores e águas residuárias. Discriminada nas seguintes fases:

- Análise do processo;
- Relação composto produzido por tonelada de resíduos orgânicos como material de entrada;
- Relação biogás produzido por tonelada de resíduos orgânicos como material de entrada;
- Variação da concentração de metano (CH_4) no biogás produzido;

- % de materiais perturbadores ainda presentes nos resíduos orgânicos, apesar da coleta seletiva;
- Produção de excedente de água do processo em relação aos resíduos orgânicos como material de entrada ;
- Tempo real de permanência no reator de metano e influências na qualidade do composto;
- Consumo de energia para o funcionamento da usina e a relação desta com a produção de composto;
- Estudo da produção de energia produzida através de outro processo.

Estudos teóricos do processo e o acompanhamento prático e diário do funcionamento da usina, permitiram uma visão mais ampla de todo o processo, para uma análise dos problemas possíveis e as soluções plausíveis.

Etapas 2: Testes e experimentos na câmara de decomposição buscando uma aceleração do processo de decomposição do composto e conseqüentemente uma redução do período de maturação.

A necessidade da usina de Karlsruhe em termos de análises da qualidade do composto pela lei alemã é de duas análises por ano com referência à qualidade do composto.

5.2. Quantificação e qualificação da usina de compostagem por fermentação de Karlsruhe

A usina de compostagem de Karlsruhe é um sistema de decomposição de resíduos orgânicos, método anaeróbico, com uma etapa de fermentação, via úmida e reatores com alimentação de material quase contínua e temperaturas de trabalho mesofílicas.

Na Tabela 27, são mostrados os valores mensais dos materiais de entrada e materiais de saída, durante o período de execução da parte experimental na usina de Karlsruhe.

TABELA 27 - Quantificação mensal da usina de compostagem por fermentação de Karlsruhe-ano base 1999

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total
Resíduos Orgânicos Totais (ton)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87
Materiais Perturbadores Leves (ton)	62,66	46,79	39,88	51,27	51,72	55,90	65,28	62,63	436,13
Materiais Perturbadores Pesados (ton)	26,71	15,87	13,35	22,38	22,11	24,05	18,34	22,56	165,37
Material Estrutural (ton)	30,00	53,00	8,00	40,00	87,63	48,00	40,64	65,72	372,99
Composto (ton)	124,10	200,47	58,15	156,90	109,78	165,23	151,97	133,30	1099,90
Biogás (m³)	53.875	46.856	45.515	55.824	46.379	55.564	51.558	59.364	414.935
% Vol CH ₄	62,10	63,45	65,10	64,40	65,60	67,60	63,75	57,20	63,65
Água Processual Excedente (m³)	100,62	174,80	129,18	205,85	208,72	205,85	177,48	148,35	1350,85
Suspensão Enviada ao Reator (m³)	572	481	637	873	958	1.819	2.100	1.691	9.131
Suspensão Enviada à Centrifuga (m³)	2.090	1.830	1.627	2.325	1.861	2.775	2.776	2.434	17.718
Líquido Separado na Centrifuga (m³)	1.648	1.539	1.421	2.083	1.666	2.262	2.220	1.913	14.752
Água Processual (m³)	231	167	204	300	303	216	222	101	1.744
Consumo de Energia do Processo (kWh)	43.450	39.893	29.502	38.963	39.062	47.151	48.980	43.520	330.521
Consumo de Energia do Escritório(kWh)	8.249	8.106	6.615	9.765	9.942	10.633	10.827	11.290	75.337
Número de dissoluções (u)	120	93	79	111	101	145	159	126	934
Dias Trabalhados (u)	19	16	15	22	20	21	20	19	152

5.2.1. Balanço da usina de fermentação

Os valores descritos abaixo referem-se ao período de 8 meses da realização da parte experimental na usina de compostagem de Karlsruhe.

- Resíduos orgânicos totais:	4.175,87 Mg/p;
- Resíduos orgânicos:	3.574,37 Mg/p;
- % de Materiais perturbadores leves:	436,13 Mg/p;
- % de Materiais perturbadores pesados:	165,37 Mg/p;
- Total de dias:	245 dias;
- Dias trabalhados no período:	152 D.T./p;
- Horas trabalhadas por dia:	8 - 9h/D.T.;
- Teor de resíduos secos:	29,56%;
- Teor de resíduos úmidos:	70,44%;
- Parte orgânica decomponível dos resíduos secos:	70 %;
- Peso específico da suspensão:	1 g/ml;
- Teor de resíduos secos na suspensão formada:	6,35%;
- Peso específico dos resíduos orgânicos:	0,7 Mg/m ³ .
- Mg:	ton

5.2.2. Cálculos

Os resíduos orgânicos totais trabalhados por dia são:

$$(4.175,87 \text{ Mg/p}) / (152 \text{ D.T.}) = 27,47 \text{ Mg/D.T.}$$

Cálculo dos resíduos secos nos resíduos orgânicos:

$$(3.574,37 \text{ Mg/p}) \times 0.2956 = 1.056,58 \text{ Mg/p}$$

Cálculo do volume de água existente nos resíduos orgânicos:

$$(3.574,37 \text{ Mg/p}) \times 0.7044 = 2.517,79 \text{ Mg/p ou } 2.517,79 \text{ m}^3/\text{p}$$

Cálculo do volume da suspensão:

$$(1.056,58 \text{ Mg/p}) / (0.0635) = 16.639,11 \text{ m}^3/\text{p}$$

$$\text{ou } (16.639,11 \text{ m}^3/\text{p}) / 152 = 109,47 \text{ m}^3 / \text{D.T.}$$

Cálculo do volume de água da suspensão:

$$(16.639,11 \text{ m}^3/\text{p}) - (1.056,58 \text{ Mg/p}) = 15.582,53 \text{ m}^3/\text{p}$$

Cálculo do período de permanência no reator de metano:

$$(877 \text{ m}^3/\text{a}) \times (245 \text{ d/p}) / (16.639,11 \text{ m}^3/\text{p}) = 12,91 \text{ dias}$$

Valor da suspensão enviado à centrífuga:

$$(877 \text{ m}^3/\text{a}) \times (245 \text{ d/p}) / (17.718,00 \text{ m}^3/\text{p}) = 12,13 \text{ dias}$$

Cálculo do novo teor de resíduos secos na suspensão fermentada:

Adotando:

- Grau de decomposição - análise de 3.08.99: 43%;
- Volume de resíduos secos : 1.056,58 Mg/p;
- Teor de substâncias orgânicas: 70 %.

Temos:

Volume de substâncias orgânicas nos resíduos secos:

$$1.056,58 \text{ Mg/p R.S.} \times 0,7 = 739,61 \text{ Mg/p}$$

Volume de substâncias orgânicas decompostas

$$739,61 \times 0,43 = 318,03 \text{ Mg/p}$$

O novo valor de resíduos secos no reator é:

$$1.056,58 \text{ Mg/p} - 318,03 \text{ Mg/p} = 738,55 \text{ Mg/p}$$

Temos então que o novo volume da suspensão fermentada é :

$$(15.582,53 \text{ m}^3/\text{p}) + (738,55 \text{ Mg/p}) = 16.320,55 \text{ m}^3/\text{p}$$

E o novo teor de resíduos secos é:

$$(738,55 \text{ Mg/p}) / (16.320,55 \text{ m}^3/\text{p}) = 0,452 \text{ Mg/m}^3 \text{ ou } 4,52 \%$$

Volume medido da suspensão: 17.718,00 m³/p

$$(738,55 \text{ Mg/p}) / (17.718,00 \text{ m}^3/\text{p}) = 0,417 \text{ Mg/m}^3 \text{ ou } 4,17 \%$$

Cálculo dos restos de fermentação e líquido separado na centrífuga:

Dos valores:

- Teor de resíduos secos nos restos de fermentação drenados - análise de 3.08.99: 48 %;
- Teor de resíduos secos no líquido drenado e separado: 0,5 a 1,0 %;
- Peso específico (análise realizada em 03.08.99): 0,531 Mg/m³;
- Volume da suspensão: 16.320,55 m³/p;

- Volume medido da suspensão: 17.718,00 m³/p

Restos de fermentação:

$$(738,55 \text{ Mg/p}) / 0,48 = 1.538,65 \text{ Mg/p} \text{ ou } 2.897,65 \text{ m}^3/\text{p}$$

Líquido separado:

$$(16.320,55 \text{ m}^3/\text{p}) - (1.538,65 \text{ Mg/p}) = 14.781,90 \text{ m}^3/\text{p}$$

E com o volume da suspensão temos:

$$\text{Líquido separado} = (17.718,00 \text{ m}^3/\text{p}) - (1.538,65 \text{ Mg/p}) = 16.179,35 \text{ m}^3/\text{p}$$

Cálculo do excedente de água do processo:

- Volume de água existente nos resíduos orgânicos (A.R.O.): 2.517,79 m³/p;
- Volume de água na suspensão (6,35%) (A.S.): 15.582,53 m³/p;
- Líquido separado (L.S.): 14.781,90 m³/p.

Excedente de água: L.S + A.R.O. - A.S.

$$(14.781,90 \text{ m}^3/\text{p}) + (2.517,79 \text{ m}^3/\text{p}) - (15.582,53 \text{ m}^3/\text{p}) = 1.717,16 \text{ m}^3/\text{p}$$

Cálculo da água substituída no processo:

- Líquido separado com 0,15 % de resíduos secos: 14.781,90 m³/p
- Excedente de água: 1.717,16 m³/p

Água do processo em recirculação:

$$14.781,90 \text{ m}^3/\text{p} - 1.717,16 \text{ m}^3/\text{p} = 13.064,74 \text{ m}^3/\text{p}$$

$$\text{Água a ser substituída: } 13.064,74 \text{ m}^3/\text{p} \times 0,25 = 3.266,19 \text{ m}^3/\text{p}$$

Excedente total das águas residuárias(esgoto):

$$1.717,16 \text{ m}^3/\text{p} + 3.266,19 \text{ m}^3/\text{p} = 4.983,35 \text{ m}^3/\text{p}$$

5.3. Análise quantitativa e qualitativa do material de entrada e % de materiais perturbadores ainda presentes nos resíduos orgânicos.

Durante o funcionamento da usina foi feita uma quantificação e composição dos resíduos orgânicos totais e materiais perturbadores tanto leves como pesados, apesar de ser efetuada a coleta seletiva de resíduos orgânicos nos bairros.

A quantificação dos resíduos orgânicos totais, materiais perturbadores leves e pesados foram feitos inicialmente via computador e em uma segunda fase através de uma balança analítica digital e a qualificação deste foi feita no laboratório da estação de tratamento de chorume.

Esta é uma relação importante, pois esta quantificação tem uma relação direta com a fase de pré-preparação (dimensionamento de equipamentos e tipos de equipamentos) como também a sua qualificação para uma análise da influência destes na formação do composto final.

Na Tabela 28, é mostrada uma quantificação dos resíduos orgânicos totais, os materiais perturbadores leves e pesados, e a relação entre o material de entrada e a porcentagem de materiais perturbadores ainda presentes nos resíduos orgânicos.

TABELA 28 – Quantificação dos resíduos orgânicos e percentuais de materiais perturbadores

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87	521,98
% R.S.	28,10	30,70	28,40	25,30	26,20	30,00	34,60	33,20		29,56
M.P.L. (Mg)	62,66	46,79	39,88	51,27	51,72	55,90	65,28	62,63	436,13	54,52
% R.S.	34,04	31,87	36,40	35,24	39,26	34,30	33,67	34,55		34,92
% M.P.L./ R.O.T.	10,45	9,73	9,82	9,37	10,35	10,20	11,19	12,24		10,44
M.P.P. (Mg)	26,71	15,87	13,35	22,38	22,11	24,05	18,34	22,56	165,37	20,67
% R.S.	72,52	76,84	66,60	57,87	61,41	68,73	69,17	67,34		67,56
% M.P.P./ R.O.T.	4,45	3,30	3,29	4,09	4,42	4,39	3,14	4,41		3,96
R.O. (Mg)	510,20	418,25	352,91	473,30	425,81	467,88	499,61	426,41	3.574,37	446,80
D.T. (u)	19	16	15	22	20	21	20	19	152	19
R.O.T. / D.T. (Mg/d)	31,56	30,06	27,08	24,86	24,98	26,09	29,16	26,93		27,42
N.D. (u)	120	93	79	111	101	145	159	126	934	117
R.O.T./N.D. (Mg/nd)	5,00	5,17	5,14	4,93	4,95	3,78	3,67	4,06		4,47

Os valores totais de resíduos orgânicos trabalhados na usina, durante os oito meses da realização da parte experimental, foram de 4.175 ton perfazendo assim uma média mensal de 522 ton/mês.

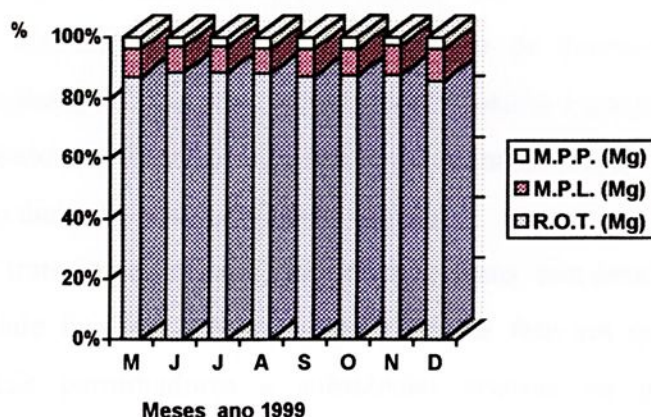


FIGURA 36 - Quantificação do volume de material de entrada e a porcentagem de materiais perturbadores leves e pesados.

Em relação aos valores diários de resíduos orgânicos totais trabalhados na usina variam de no mínimo 25,0 ton/D.T. até no máximo 31,6 ton/D.T. com valor médio de 27,4 ton/D.T..

A população atualmente atendida está em torno de 110.000 habitantes, com isto temos uma produção per-capita anual de resíduos orgânicos totais, isto é, apesar da coleta seletiva, ainda existem materiais perturbadores presentes nos resíduos orgânicos:

Resíduos orgânicos totais:	4.175,87 Mg;
Resíduos orgânicos:	3.574,37 Mg;
Período:	maio a dezembro/99.

ou seja,

$$(4.175,87 \text{ Mg}) \times (1.000 \text{ kg/Mg}) / (245 \text{ d}) \times (a/365 \text{ d}) \times (110.000 \text{ hab.})$$

assim temos uma produção de resíduos orgânicos totais de 56,56 kg/hab x a e

$$(3.574,37 \text{ Mg}) \times (1.000 \text{ kg/Mg}) / (245 \text{ d}) \times (a/365 \text{ d}) \times (110.000 \text{ hab.})$$

uma produção de resíduos orgânicos de 48,41 kg/hab x a

Foram medidos mensalmente, o teor de resíduos secos dos resíduos sólidos totais, apresentando este uma variação de valores entre 25,3% até 34,6%, perfazendo assim um valor médio de 29,6 %.

A definição da variação do teor de resíduos secos, são valores importantes a serem definidos, pois, interferem diretamente no processo de tratamento por via úmida, em relação ao volume de água a ser acrescentado, volume excedente de água, esgoto gerado a ser tratado e indiretamente no tempo de permanência da suspensão no reator como também no dimensionamento de reservatório.

A primeira fase do tratamento, ou seja, um pré-tratamento tem uma importância fundamental na qualidade final do composto, pois é nesta fase em que ocorre a separação dos materiais perturbadores e substâncias nocivas no processo de fermentação e a conseqüente formação do composto.

O sistema inovativo composto de reservatório de dissolução e separação de materiais perturbadoras leves e pesados e o reservatório separador de areia apresentam excelentes resultados de separação dos materiais processadores tanto leves como pesados.

Esta capacidade de separação é de importância fundamental e que vem ao encontro com a necessidade brasileira para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, baseados em problemas culturais e de conscientização para uma correta separação destes.

Os materiais perturbadores leves são compostos de plásticos, materiais têxteis e principalmente de restos de madeira ($> 40\%$). Os plásticos são provenientes do acondicionamento dos resíduos, que apesar da existência de um container específico de coleta ainda são colocados dentro de sacos plásticos. Os resíduos de madeira, apesar de serem material orgânico, não são aptos ao tratamento de compostagem por fermentação e, assim, não deveriam estar dispostos neste container.

A presença de materiais perturbadores leves varia de $9,4\%$ até no máximo de $12,2\%$ em relação aos resíduos orgânicos totais (material de entrada), tendo um valor médio de $10,4\%$. Com um teor de resíduos secos variando de $31,9\%$ até no máximo de $39,3\%$ com um valor médio de $34,9\%$, ou seja, um teor de umidade de $65,1\%$.

Desta forma, poderia ainda se prever um aproveitamento dos materiais perturbadores leves através da disposição em pátio e uma conseqüente secagem natural e triagem dos materiais aproveitáveis, conseguindo assim uma redução ainda maior do quantitativo a ser destinado ao aterro. Este reaproveitamento deve ter como

referência principal os resíduos de madeira que podem ser mais facilmente aproveitados em relação aos outros resíduos que apresentam um elevado grau de sujeira o que ocasionaria uma operação muito cara para o seu reaproveitamento.

Os materiais perturbadores pesados são compostos principalmente de metais, vidros, pedras, materiais cerâmicos, pilhas e baterias.

Todos estes materiais não deviam fazer parte dos resíduos orgânicos, mas infelizmente chegam até a usina, apesar de todo o trabalho existente de conscientização e informação.

A presença de materiais perturbadores pesados varia de 3,1% até no máximo de 4,4% em relação aos resíduos orgânicos totais (material de entrada) tendo um valor médio de 4,0%. Com um teor de resíduos secos variando de 57,9% até no máximo de 76,8% com um valor médio de 67,4% , ou seja, um teor de umidade de 32,6 %.

Assim, estes materiais, não estão aptos a qualquer tipo de reaproveitamento, devendo somente ser feito uma secagem natural e triagem em relação às substâncias nocivas e perigosas ao meio ambiente e a sua disposição no aterro sanitário.

Assim temos que a presença de materiais perturbadores de 15% em relação aos resíduos orgânicos totais (material de entrada), ou seja, mesmo em um país como a Alemanha, com um alto nível de conscientização da população e com um constante e ininterrupto trabalho de informação, a coleta seletiva de resíduos orgânicos apresenta elevados valores de materiais perturbadores.

No Brasil, qualquer projeto de uma usina de fermentação, mesmo que seja adotado um sistema de coleta seletiva dos resíduos orgânicos, a presença percentual de materiais perturbadores adotada deve estar entre os valores de no mínimo 15% até no máximo 30%.

Com o tempo estes valores tendem a diminuir, principalmente nas cidades em que se fizer um intenso trabalho de conscientização e informação, o que apresenta inúmeras vantagens como, aumento da capacidade de tratamento da usina, diminuição do consumo de energia, diminuição dos problemas de manutenção e a melhora da qualidade do composto final.



5.4. Análise quantitativa e qualitativa dos restos de fermentação e de material estrutural.

Os restos de fermentação gerados são dependentes tanto do material de entrada como do grau de degradação conseguida no reator através do processo de fermentação.

A quantificação mensal real dos restos de fermentação não é possível de ser realizada atualmente na usina, pois não existe um sistema de pesagem deste no silo de armazenamento, sendo que este somente é pesado quando da sua transferência para o local de maturação após sua mistura com os materiais estruturais e o processo de higienização.

Na Tabela 29, podem ser vistas as enormes variações destes valores como por exemplo, estes podem variar desde 58 ton/mês no mês de julho até 200 ton/mês no mês de junho.

TABELA 29 - Quantificação e análise dos restos de fermentação e material estrutural

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87	521,98
% R. S.	28,10	30,70	28,40	25,30	26,20	30,00	34,60	33,20		29,56
R.O. (Mg)	510,20	418,25	352,91	473,30	425,81	467,88	499,61	426,41	3.574,37	446,80
K.O. (Mg)	124,10	200,47	58,15	156,90	109,78	165,23	151,97	133,30	1099,90	137,49
% R.S. R.K	32,20	32,90	31,80	31,12	27,80	32,97	31,67	31,17		31,45
M.E. (Mg)	30,00	53,00	8,00	40,00	87,63	48,00	40,64	65,72	372,99	46,62
K.O. - M.E. (Mg)	94,10	147,47	50,15	116,90	22,15	117,23	111,33	67,58	726,91	90,86
D.T. (u)	19	16	15	22	20	21	20	19	152	19

Desta forma foi feita uma análise em relação aos valores totais destes, ou seja, adotando que:

Perda de massa adotada na câmara de decomposição: 25 %

Pré-composto produzido: 1.099,90 Mg

(mistura de restos de fermentação e material estrutural)

Material estrutural : 372,99 Mg

Temos:

Pré-composto produzido:

$$[(\text{Restos de fermentação drenados}) + (\text{Material estrutural})] \times 0,75$$

ou

$$1.099,90 \text{ Mg} = [(\text{Restos de fermentação drenados}) + (372,99 \text{ Mg})] \times 0,75$$

Restos de fermentação drenados:

$$(1.099,90/0,75) - 372,99 = 1.093,54 \text{ Mg}$$

Em relação aos resíduos orgânicos temos que:

- Resíduos orgânicos totais :	4.175,87 Mg
- Resíduos orgânicos:	3.574,37 Mg
- Restos de fermentação drenados:	1.093,54 Mg
- Teor de resíduos secos dos restos de fermentação:	31,45 %

onde :

Resíduos secos nos restos de fermentação:

$$(1.093,54 \text{ Mg} \times 0,3145) = 343,92 \text{ Mg}$$

ou seja,

A produção de restos de fermentação drenados em relação aos resíduos sólidos totais é :

$$(343,92 \text{ Mg} / 4.175,87 \text{ Mg}) = 82,36 \text{ kg R.S./Mg de R.O.T.}$$

e em relação aos resíduos orgânicos:

$$(343,92 \text{ Mg} / 3.574,37 \text{ Mg}) = 96,22 \text{ kg R.S./Mg de R.O.}$$

Para a uma melhor análise e conferência destes valores foi realizada durante três dias consecutivos uma pesagem dos restos de fermentação produzidos, apresentando estes um valor médio de 8 Mg/D.T., ou seja, aproximadamente 01 Mg/hora trabalhada.

Sendo assim temos uma estimativa da produção de restos fermentados para o total de dias trabalhados durante oito meses de:

Total de dias trabalhados: 152 D.T.

ou seja:

$$(152 \text{ D.T.}) \times 8 \text{ Mg / D.T.} = 1.216,00 \text{ Mg.}$$

Conforme mostrado no Capítulo 3, a produção de massa seca dos restos de fermentação drenados variam entre 50 e 300 kg/Mg material de entrada, tendo assim um valor médio de 175 kg/Mg de material de entrada.

Os valores obtidos na usina de compostagem de Karlsruhe estão dentro dos valores de outras usinas, ver capítulo 4, mas aparentemente a produção de restos de fermentação está abaixo do previsto. No Brasil a presença de materiais perturbadores tanto leves como pesados deve ser consideravelmente maior, e assim recomendamos que os valores adotados para projetos tenham como referência os valores mínimos de 50 kg/Mg até no máximo de 200 kg/Mg de resíduos orgânicos (livre de materiais perturbadores).

A produção do pré-composto (após a fase de decomposição) em relação aos totais de material de entrada, como porcentagem, para um simples cálculo podem ser adotados que:

Para os resíduos orgânicos totais temos:

$$[(1.099,90 \text{ Mg}) / (4.175,87 \text{ Mg})] \times 100 = 26,34\%$$

E para os resíduos orgânicos temos:

$$[(1.099,90 \text{ Mg}) / (3.574,37 \text{ Mg})] \times 100 = 30,77\%$$

Podendo-se assim adotar valores práticos da produção de pré-composto, provenientes de uma compostagem por fermentação, entre 20 a 40% do total do material de entrada em relação aos resíduos orgânicos.

Em relação ao material estrutural, os valores recomendados (Genehmigungsplanung Karlsruhe, 1994) estão entre 5 a 10% em peso dos restos de fermentação, na usina de Karlsruhe estes valores estão bem acima dos valores recomendado, ou seja:

Restos de fermentação drenados:	1.093,54 Mg
Material estrutural :	372,99 Mg

Assim temos:

$$[(372,99) / (1.093,54)] \times 100 = 34,11\%$$

Dos 34,11%, temos 10,00% usado como material de base, isto é, colocado embaixo do material a ser decomposto para que não ocorra um entupimento dos canais de aeração do sistema e o restante para o processo de higienização do pré-composto.

5.4.1. Qualidade de composto - prioridade 1

Em todo processo de compostagem aeróbico ou anaeróbico, a prioridade é a qualidade do composto produzido, pois somente assim, todos os custos de investimentos estarão justificados perante a população.

A concentração de metais pesados na lei alemã é feita com referência a uma amostra com um conteúdo de 30% de resíduos secos nas substâncias orgânicas. Assim os valores de concentração de metais pesados para serem comparados devem ser normalizados.

Onde o valor normalizado é calculado por:

Valor medido $\times$ [(100 - % Teor de substâncias orgânicas estimado) / (% Sólidos não voláteis)] onde:

% Teor de substâncias orgânicas desejadas: 30 %

Exemplificação:

Da análise de 18.10.1999 realizada em uma amostra coletada na usina de Karlsruhe temos que:

Valor da concentração de chumbo:	59 mg/kg R.S.
% Sólidos não voláteis:	36

Desta forma temos que:

$$\text{Valor normalizado} = (59 \text{ mg/kg R.S.}) \times ((100 - 30) / (36))$$

$$\text{ou seja, valor normalizado} = 115 \text{ mg/kg}$$

Em relação à praticamente todos os parâmetros, o composto produzido pela usina de Karlsruhe está dentro dos valores máximos e mínimos de outras usinas, inclusive com uma pequena presença de substâncias estranhas, que mostra a importante capacidade de separação destas no reservatório de dissolução e o reservatório separador de areia.

TABELA 30 - Comparação do composto anaeróbico de Karlsruhe em relação ao composto anaeróbico de várias instalações e com os valores de compostos aeróbicos.

Tipo de composto	Composto anaeróbico					Composto aeróbico	
Especificação	Valor mínimo	Valor máximo	Valor Médio	Análise de 03.08 em Karlsruhe	Análise de 18.10 em Karlsruhe	Valores médios	Valores limites da portaria
Estado do composto	Pronto	Pronto		Restos de fermentação	Pronto		Pronto
Teor de umidade (%)	34,9	52,8	4,6	52	49	31 - 45	35 - 45
Sólidos voláteis (%)	41,0	72,5	59	57	64	27 - 40	min. 40/20
Peso específico (g/l)	350	900	612	531	503	680	
PH	6,7	7,7	7,3	8,2	8,3	7,2 - 7,8	
Conteúdo de sais (g/l)	2,3	4,3	3,1	4,6	4,5	1,0 - 5,6	
Substâncias nutritivas (% R.S.)							
Nitrogênio	1,10	2,30	1,40	2,30	2,20	0,5 - 1,5	
Potássio	0,20	1,10	0,60	1,00	0,99	0,5 - 2,0	
Fósforo	0,30	1,00	0,50	1,50	1,30	0,38 - 1,0	
Magnésio	0,30	1,60	0,80	0,71	0,63	0,3 - 1,1	
Cálcio	2,00	9,60	2,90	5,60	4,10	2,2 - 10	
Metais pesados (mg / kg) com um conteúdo de 30% resíduos secos nas substâncias orgânicas							
Chumbo	19	94	52	118	115	75	150
Cádmio	0,4	1,0	0,7	1,2	0,97	0,7	1,5
Cromo	10	37	22	40	44	35	100
Cobre	14	56	41	103	102	51	100
Níquel	6,1	24	13	22	28	22	50
Mercurio	0,1	0,6	0,3	0,39	0,50	0,3	1,0
Zinco	144	243	196	496	489	229	400
Outros parâmetros							
Presença de materiais estranhos > 2 mm (% R.S.)				0,19	0,19		Máximo 0,5% R.S.
Presença de pedras > 5 mm (% R.S.)				0,28	0,28		Máximo 5% R.S.
Presença de seres patogênicos (N / I)				0	0		máximo 2 / I R.F.
Grau de decomposição				II	IV		
Máxima dimensão do grão				15 mm	10 mm		
Proporção - C/N				15 : 1	17 : 1	12 : 20	

Como mostrado no Capítulo 3, a capacidade de degradação das usinas de compostagem por fermentação estão realmente próximas dos valores médios dos exames publicados, ou seja, 41% (59 % de sólidos voláteis).

Desta forma o composto produzido pela usina de Karlsruhe tem um bom padrão de qualidade, embora em relação às concentrações de metais pesados o composto apresente todos os valores acima da média de outras usinas de fermentação inclusive com as concentrações de cobre e zinco acima do valor pré-estabelecido pela nova portaria alemã.

5.4.2. Análise da concentração de metais pesados

A origem dos resíduos sólidos é proveniente das atividades diárias do homem, e estão normalmente em mudanças, ou seja, não se repetem dia a dia, o que faz com que a composição dos resíduos sólidos e a concentração de metais pesados destes também sejam muito variadas e de um difícil equacionamento.

Os metais pesados e o motivo de sua presença podem ser descritos como segue (Heintz & Reinhardt, 1990; Hein & Scwedt, 1995).

- Chumbo:

O conteúdo total de chumbo em solos agriculturáveis está entre 02 e 200 mg/kg. A alta concentração em todos os solos e na forma metálica normalmente em regiões com grande trânsito de veículos a concentração de chumbo atinge até 700 mg/kg. Os principais produtores de chumbo são: cabos de baterias, acumuladores, anodos de cromação e diversas ligas metálicas. O ar funciona como um atalho para o solo e as plantas.

- Cádmio:

A concentração de cádmio no solo está entre 0,01 até ca. 1mg/kg. Os adubos fosfatados, compostos de esgotos e lodos de esgotos, resíduos industriais, fumaça e emissões de autos podem aumentar estas concentrações no solo até valores de 100mg/kg. A sedimentação do cádmio realiza-se 90% por via úmida e assim encontra-se também disponível para as ligações com as plantas. Cádmio metálico é utilizado como revestimento de proteção contra ferrugem, como material de eletrodo, como componentes de ligas metálicas, em técnicas

nucleares, como pigmento de cores, como estabilizadores de plásticos e em baterias de níquel-cádmio.

- Cromo:

O conteúdo de cromo no solo situa-se entre 10 e 100mg/kg. Consideráveis quantidades de cromo são fornecidas ao solo pelos adubos e compostos fosfatados. É utilizado principalmente em indústrias de curtume, serviços de galvanização, para impregnação de madeira, em indústrias químicas, componentes de ligas aço-cromo e como pigmentos de cores. O cromo também é utilizado em indústrias de construção, de materiais têxteis e gráficas.

- Cobre:

A concentração de cobre no solo está, em via de regra, em torno de 2 e 40 mg/kg. Em alguns tipos de solos a concentração pode ultrapassar 1.000 mg/kg. O cobre é muito utilizado como condutor na área eletrotécnica, em serpentinas, e em ligas de metal. A utilização de adubos a base de cobre também elevam esta concentração bem acima dos valores normais.

- Níquel:

A concentração de níquel da crosta terrestre é em média 45 mg/kg e raramente ultrapassa 100 mg/kg. Em todas as produções de aço, em indústrias de galvanização e assim como produtos eletrônicos são utilizados níquel como matéria prima. O níquel também é utilizado para a produção de aparelhos de laboratório, elementos térmicos, acumuladores níquel-cádmio e como catalisador eletrolítico. Os veículos a diesel produzem uma grande carga de níquel devido a concentração deste no combustível.

- Zinco:

Solos normais contém uma concentração de zinco entre 10 e 300mg/kg. Nas regiões de fundições e minas de zinco é possível um aumento desta concentração para até 50.000 mg/kg. Zinco é utilizado para a proteção de aços e ferros contra a corrosão. O zinco também serve para a produção de meios de impressão tipográfica e anodos para elementos galvânicos. É utilizado como meio de redução na química orgânica, como meio auxiliar na vulcanização e como pigmento nas indústrias de borrachas, na produção de papeis de



fotocópia, para a produção de cores, produtos químicos, vidros, mercadorias plásticas, produtos farmacêuticos e industriais, meios lubrificantes, e revestimentos esmaltados. Também são usados para o tratamento de madeiras, meios de desinfecção e proteção de plantas. A sedimentação do zinco se realiza por via úmida e assim este se encontra disponível para se ligar com as plantas.

Como pode ser visto, os metais pesados estão presentes nos mais variados produtos de nossa vida diária. Assim, a grande vantagem da compostagem anaeróbica de trabalhar com um maior espectro de materiais de entrada pode ao mesmo tempo aumentar a concentração diária de metais pesados nos materiais a serem tratados e conseqüentemente no composto final.

A variação de materiais de entrada impossibilita uma afirmação precisa da fonte dos metais pesados, mas pode-se fazer um melhor trabalho informativo tanto em relação à concentração destes metais nos materiais como também em relação à separação destes materiais que ainda são depositados juntos com os resíduos orgânicos como pilhas, baterias, remédios, produtos de limpeza, etc..

Os metais pesados são responsáveis diretos pela inibição do processo de fermentação biológica e se apresentam como responsáveis diretos pela inibição microbiana e pela redução da taxa de produção de gases.

Embora, apesar da presença relativamente elevada destes metais nos compostos finais da usina de Karlsruhe em comparação com os valores de outras usinas, não se apresentou como uma fonte inibidora da atividade microbiana e a conseqüente produção de gás em média em torno de 99 m³/ton de material de entrada, ou seja, um valor bem próximo dos valores teóricos mostrados no Capítulo 3.

As concentrações de metais pesados no compostos finais produzidos merecem mais estudos para que a sua utilização no solo não venha a prejudicar o meio ambiente e a saúde da população.

Algumas melhoras nas etapas do processo de preparação dos resíduos a serem tratados, podem reduzir a concentração de metais pesados, principalmente a substituição parcial e constante da água processual, pois a mesma tem um efeito



acumulativo de metais pesados, o que faz que seu efeito auxiliar no processo possa na realidade comprometer a qualidade final do composto.

5.5. Análise da relação do número de dissoluções dos resíduos orgânicos e o tempo real de permanência no reator

Na Tabela 31, é mostrada uma análise do número de dissoluções executadas no tanque de dissolução e separação dos resíduos orgânicos na usina de Karlsruhe e o tempo real de permanência no reator.

TABELA 31 - Número de dissoluções e tempo de permanência da solução no reator

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87	521,98
N.D. (u)	120	93	79	111	101	145	159	126	934	116,75
R.O.T. / N.D. (Mg / u)	5,00	5,17	5,14	4,93	4,95	3,78	3,67	4,06		4,47
R.O. (Mg)	510,20	418,25	352,91	473,30	425,81	467,88	499,61	426,41	3.574,37	446,80
D.T. (u)	19	16	15	22	20	21	20	19	152	19
S.E.C. (m³)	2.090	1.830	1.627	2.325	1.861	2.775	2.776	2.434	17.718	2214
Dias	31	30	31	31	30	31	30	31	245	
T.P. R. (d)	13,01	14,38	16,71	11,69	14,14	9,80	9,48	11,70		12,61

Para esta carga de material de entrada, a usina de Karlsruhe foi projetada para a execução de 653 dissoluções, uma média de 5 dissoluções/dia e uma carga de 6,4 ton/a .

Os valores diários da relação de resíduos orgânicos totais e o número de dissoluções efetuadas na usina variam de no mínimo 3,8 ton/u até no máximo 5,2 ton/u com valor médio de 4,5 ton/u.

Como se pode observar, há uma realização de 43% a mais de dissoluções do que foi projetado para a usina (Genehmigungsplanung Karlsruhe, 1994), isto, tem vários motivos, principalmente em algumas épocas do ano em que se aumenta a presença de resíduos verdes e uma conseqüente diminuição do peso específico.

Esta variação deve ser bem controlada, pois, pode podem chegar a comprometer todo o processo principalmente em relação ao conseqüente volume da suspensão e

assim uma diminuição no tempo de permanência desta no reator e uma menor degradação das substâncias orgânicas e uma menor produção de gás.

Além disso, envolve fatores econômicos como maior gasto de energia para a realização de mais dissoluções, maior tempo de funcionamento dos agregados, etc.

Na Tabela 41 é feita uma estimativa do tempo de permanência da suspensão no reator que variam de no mínimo de 9 dias até no máximo 17 dias com um valor médio de 12 dias, ou seja, praticamente 22% menor do que o tempo de permanência de 16 dias projetado (Gesetzesveordnung, 1999).

Da teoria de digestões (Pfeffer, 1980) , tem-se que o tempo mínimo de permanência da suspensão no reator para uma degradação entre 40 a 45% das substâncias orgânicas é de 10 dias, inclusive este tempo também está relacionado com alterações do valor do pH.

5.6. Quantificação e análise da água do processo

A partir da centrifugação dos restos de fermentação surge um filtrado que apresenta uma alta carga orgânica e inorgânica e sua quantificação depende da umidade do material de entrada, do grau de degradação no reator e da capacidade da centrífuga.

Existe ainda a formação de líquidos no silo de entrada dos resíduos orgânicos, na trituração dos resíduos, na separação dos materiais perturbadores leves e pesados, volume de águas adicionadas ao processo e também na limpeza geral.

Todos estes líquidos tem como destino o reservatório de água do processo e podem ser chamados de água do processo. Estes são reutilizados em várias etapas do processo, mas principalmente como meio auxiliar para a dissolução dos resíduos orgânicos no reservatório de dissolução.

Na Tabela 32, são mostrados os valores quantitativos e qualitativos realizados durante a parte experimental, que possibilitaram uma análise das influências deste na formação do composto e no processo como um todo.

A mistura da água processual para o tratamento dos resíduos orgânicos, como descrito no Capítulo 3, tem inúmeras vantagens como injeção de bactérias, auxílio da correção do pH, uma melhor homogeneização do material a ser tratado, etc.



TABELA 32 - Quantificação e qualificação da água do processo

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87	521,98
% R.S.	28,10	30,70	28,40	25,30	26,20	30,00	34,60	33,20		29,56
A.P. (m³)	231	167	204	300	303	216	222	101	1.744	218
P.C. (m³)	36	43	58	30	01	95	68	265	596	74,50
A.P. + P.C. (m³)	267	210	262	330	304	311	290	366	2.340	292,50
L.S.C. (m³)	1.648	1.539	1.421	2.083	1.666	2.262	2.220	1.913	14.752	1.844
A.P.E. (m³)	100,62	174,80	129,18	205,85	208,72	205,85	177,48	148,35	1350,85	168,86
Parâmetros analisados										
NH ₄ (mg/l)	1.718	1.340	1.272	1.208	965	857	732	659		1.094
D.Q.O. (mg/l)	4.117	3.007	2.949	2.368	3.172	3.900	4.257	3.153		3.366
L.F. (µS/cm)	18.982	17.172	17.172	15.633	14.572	13.780	13.200	12.717		15.172
pH	8,10	8,00	8,00	8,00	7,80	7,60	7,70	7,80		7,90
D.B.O. (mg/l)	1980	1.218	775	550	685	1.320	2.090	900		1.190
Dureza (°D)	62,70	60,80	58,40	60,60	76,70	78,00	89,60	72,10		69,90

Apesar disto a sua utilização deve ser limitada levando em consideração a concentração de substâncias prejudiciais existentes, medidas através dos valores de D.Q.O., D.B.O., NH₄, condutibilidade, dureza e metais pesados.

Esta concentração de substâncias prejudiciais pode influenciar como inibidor no processo de fermentação e na qualidade final do composto produzido (por exemplo alta concentração de metais pesados).

A água processual deve constantemente ser substituída, para não aumentar a concentração de substâncias prejudiciais nos materiais como também funcionar como um meio de afastamento destas e conseqüentemente melhorar a qualidade final do composto.

As águas residuárias da usina de compostagem podem ser tratadas em estações de tratamento de chorume ou em estações de tratamento de esgotos. Na Tabela 33, é mostrada a máxima concentração permitida de metais pesados na Alemanha em águas residuárias antes do tratamento em uma estação de tratamento de esgotos (Hein & Schwedt, 1995), e sua comparação com os valores das águas processuais da usina de compostagem por fermentação da cidade de Ismaning e da usina de Karlsruhe.

TABELA 33 - Análise da concentração de metais pesados permitidos na entrada de uma estação de tratamento de esgotos e da análise existente da água processual da usina de Ismaning

Metais Pesados	Valores permitidos na entrada da E.T.E.	Concentração encontrada na água processual na usina de Ismaning
Chumbo (Pb)	0,20 mg/l	0,54 mg/l
Cádmio (Cd)	0,02 mg/l	< 0,025 mg/l
Cromo (Cr)	0,20 mg/l	0,83 mg/l
Cobre (Cu)	0,30 mg/l	2,51 mg/l
Níquel (Ni)	0,20 mg/l	0,41 mg/l
Mercurio (Hg)	0,005 mg/l	< 0,015 mg/l
Zinco (Zn)	0,50 mg/l	7,66 mg/l

Como não temos análises de qualidade da água processual de Karlsruhe, comparamos as Tabelas 30 e 33 e observamos que, normalmente a maior concentração de metais pesados, por exemplo na usina de Ismaning, ocorre nos metais cobre e zinco e justamente estes que apresentam valores de concentrações acima dos permitidos no composto de Karlsruhe..

Ficando claro que, apesar dos benefícios desta reutilização da água processual, deve ser estabelecido um limite percentual para que a concentração de metais pesados tenha seus valores minimizados.

O ideal é a adoção de um controle mais rigoroso desta água processual e a adoção dos valores do decreto como valores máximos permitidos e o limite para a substituição desta.

Os valores desta substituição de água processual devem estar em torno de 20 a 40%. Em relação aos valores de D.Q.O., D.B.O., NH_4 e condutibilidade pode-se adotar os valores limites estabelecidos baseados na qualidade do chorume do aterro sanitário analisado no período de 01.07.99 a 23.09.99 e apresentando uma ótima condição de tratabilidade como mostrados na Tabela 34.

Da Tabela 33 e do Capítulo 3, podemos estabelecer como valores limites para a água processual e a sua substituição por outra de melhor qualidade.

- D.Q.O:..... < 3000 mg/l - D.B.O:..... < 1500 mg/l
- $\text{NH}_4\text{-N}$:..... < 800 mg/l - Condutibilidade:..... 12.000 ($\mu\text{S/cm}$)

TABELA 34 – Parâmetros de análise de entrada e saída do chorume na estação de tratamento de chorume, coletados no período de 01.07.99 a 23.09.99

Antes do tratamento					Após o tratamento				
Data	NH ₄ -N (mg/l)	D.Q.O. (mg/l)	pH	LF. (μS/cm)	Data	NH ₄ N (mg/l)	D.Q.O. (mg /l)	PH	LF. (μS/cm)
01.07	549	1.550	8,3	9.280	08.07	28,5	8,8	7,2	317
05.07	527	1.221	7,7	9.090	09.07	24,7	5,1	7,3	265
08.07	505	1.148	8,3	8.330	12.07	22,2	< 5,0	7,1	244
12.07	450	1.219	8,2	7.760	13.07	20,8	< 5,0	7,7	223
15.07	447	911	8,2	7.040	15.07	20,5	< 5,0	7,9	224
22.07	410	973	7,8	8.090	20.07	42,0	9,0	7,7	380
26.07	509	1.125	8,0	8.500	22.07	39,1	< 5,0	8,1	335
29.07	432	1.011	7,9	8.770	23.07	38,5	5,1	8,3	343
02.08	491	1.177	7,5	9.600	28.07	35,4	18,1	6,4	333
05.08	520	1.432	7,7	9.760	29.07	28,2	6,4	7,4	334
09.08	541	1.413	8,3	9.900	12.08	33,5	7,5	7,5	331
13.08	555	1.423	8,2	9.560	13.08	38,9	8,3	7,4	399
16.08	527	1.250	8,0	9.710	16.08	39,0	< 5,0	8,1	385
19.08	543	1.246	8,5	8.950	19.08	52,4	< 5,0	8,1	560
23.08	582	1.300	8,0	9.530	20.08	50,4	< 5,0	8,3	511
26.08	764	1.390	8,2	9.680	26.08	55,1	< 5,0	7,9	607
30.08	518	1.269	7,6	9.830	01.09	38,7	< 5,0	8,0	465
02.09	518	1.392	7,6	10.040	02.09	46,8	< 5,0	8,1	568
06.09	579	1.425	7,5	10.630	03.09	44,7	< 5,0	7,9	562
10.09	660	1.457	7,9	10.600	08.09	23,9	35,6	7,8	310
13.09	742	2.744	7,4	11.070	09.09	22,3	16,4	7,8	290
16.09	605	1.676	7,7	11.230	10.09	20,6	6,9	7,7	257
20.09	780	1.894	8,4	11.760	22.09	15,3	74,2	7,4	233
23.09	732	1.765	8,1	11.800	23.09	27,2	80,8	7,7	273

5.7. Análise da produção de biogás

Um dos principais produtos da fermentação anaeróbica, além do composto produzido é o biogás formado, composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

A quantidade e qualidade do biogás produzido na usina depende tanto do tipo de material de entrada como também da forma de abastecimento do reator, no caso quase-contínuo, ou seja, o reator é alimentado alguns períodos do dia.

Na Tabela 35, é feita uma quantificação e qualificação do biogás produzido durante a parte experimental.



TABELA 35 - Quantificação e análise do biogás produzido.

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4175,87	521,98
R.O. (Mg)	510,20	418,25	352,91	473,30	425,81	467,88	499,61	426,41	3.574,37	446,80
B.G. (m³)	53.875	46.856	45.515	55.824	46.379	55.564	51.558	59.364	414.935	51.867
% Vol CH ₄	62,10	63,45	65,10	64,40	65,60	67,60	63,75	57,20		63,65
B.G. / R.O.T. (Nm³/Mg)	89,86	97,43	112,07	102,07	92,83	101,43	88,40	116,04		99,37
B.G. / R.O. (Nm³/Mg)	105,60	112,03	128,97	117,95	108,92	118,76	103,20	139,22		116,09

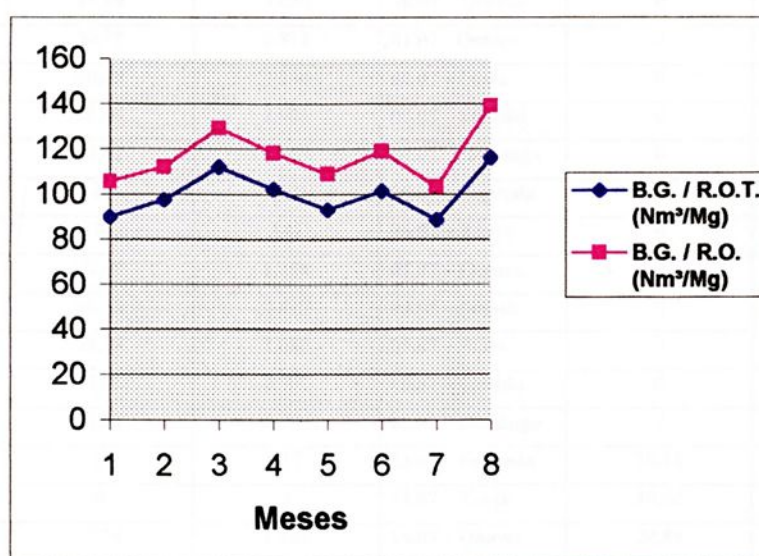


FIGURA 37 - Produção mensal de biogás em relação aos R.O.T. e R.O.

Em relação aos resíduos orgânicos totais (inclusive os materiais perturbadores), a produção de biogás varia entre 88 Nm³/Mg até no máximo de 116 Nm³/Mg, tendo um valor médio de 99 Nm³/Mg.

Este valor médio da produção de biogás de 99 Nm³/Mg de material de entrada está absolutamente dentro dos valores mostrados no Capítulo 3, que variam de 80 a 150 Nm³/Mg de material de entrada tendo com um valor médio de 100 Nm³/Mg.

Isto mostra que, apesar das variações dos materiais de entrada e de todas as variáveis interferentes no processo, ainda é possível se obter uma razoável produção de gás.

Embora, analisando-se a produção diária de biogás em sistemas quase contínuo, observa-se variações bruscas como mostrado na Tabela 36.

TABELA 36 - Variação diária da produção do biogás em relação aos resíduos sólidos totais

Dia	R.S.T. (Mg/dia)	B.G. (m³/dia)	Dia	R.S.T. (Mg/dia)	B.G. (m³/dia)
01.06 - Terça	28,99	2.561	24.06 - Quinta	24,53	1479
02.06 - Quarta	28,78	2.687	25.06 - Sexta	0	257
03.06 - Quinta	0	1.277	26.06 - Sábado	0	0
04.06 - Sexta	29,05	2.099	27.06 - Domingo	0	0
05.06 - Sábado	0	887	28.06 - Segunda	0	0
06.06 - Domingo	0	321	29.06 - Terça	0	0
07.06 - Segunda	27,69	2.030	30.06 - Quarta	0	0
08.06 - Terça	30,78	2.811	01.07 - Quinta	0	0
09.06 - Quarta	30,09	3.146	02.07 - Sexta	0	0
10.06 - Quinta	25,06	2.981	03.07 - Sábado	0	13
11.06 - Sexta	22,42	2.667	04.07 - Domingo	0	0
12.06 - Sábado	0	1.291	05.07 - Segunda	0	16
13.06 - Domingo	0	141	06.07 - Terça	0	0
14.06 - Segunda	28,47	1.384	07.07 - Quarta	0	78
15.06 - Terça	29,52	2.417	08.07 - Quinta	0	263
16.06 - Quarta	28,18	3.035	09.07 - Sexta	0	410
17.06 - Quinta	24,01	2.701	10.07 - Sábado	0	384
18.06 - Sexta	22,85	2.490	11.07 - Domingo	0	59
19.06 - Sábado	0	817	12.07 - Segunda	30,13	1289
20.06 - Domingo	0	3	13.07 - Terça	30,63	2293
21.06 - Segunda	37,04	1.584	14.07 - Quarta	28,84	3005
22.06 - Terça	34,88	2.606	15.07 - Quinta	25,28	3449
23.06 - Quarta	28,57	3.104			

Principalmente nos fins de semana ocorre uma queda brusca na produção do biogás, devido ao fato de não ocorrer alimentação de materiais nutritivos no reator, ou seja, uma característica deste sistema quase contínuo.

No período de 25.06 a 11.07, manutenção da usina, não houve mais alimentação do reator, praticamente zerou a produção de biogás.

A escolha deste período é que devido ao período de manutenção não houve mais alimentação de material nutritivo durante praticamente 18 dias, o que possibilitou uma melhor análise da produção de gás no reator.

No período de manutenção, apesar da existência de material no reator e o funcionamento normal deste, a produção de gás praticamente se interrompe.

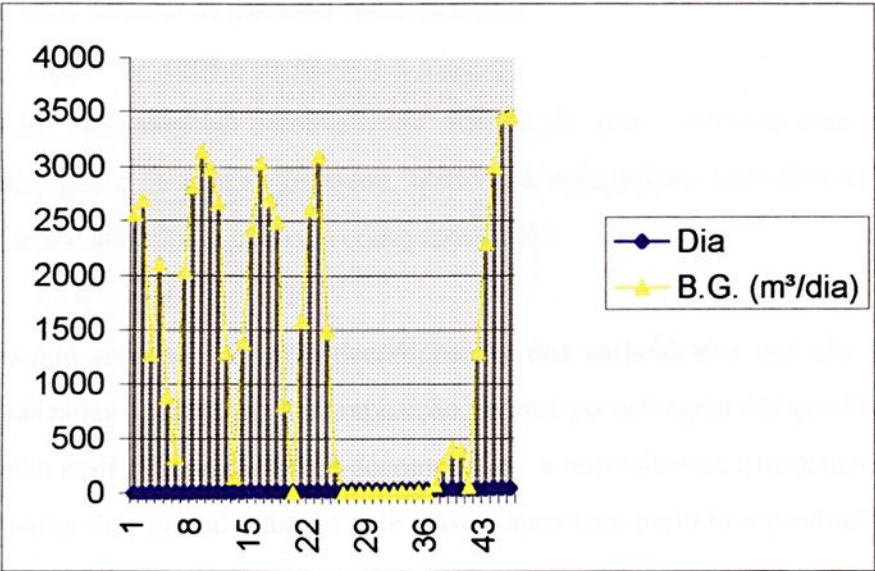


FIGURA 38 - Variação diária da produção de biogás

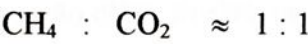
Para uma melhor observação disto é mostrada na Tabela 37 a produção de gás semanal em relação ao material introduzido neste.

TABELA 37 - Variação semanal da produção de gás.

Período	Produção de biogás (Nm³)	Resíduos orgânicos totais (Mg)	B.G./R.O.T. (Nm³)/Mg
01.06 a 06.06	9.832	86.82	113,25
07.06 a 13.06	15.067	135.41	111,27
14.06 a 20.06	12.847	133.03	96,57
21.06 a 27.06	9.030	125.02	72,23
28.06 a 04.07	13	0	----
05.07 a 11.07	1.210	0	----

Os motivos podem ser definidos como segue (Weiss, 1995):

Os carboidratos são rapidamente decompostos, mas produzem pouco gás e de péssima qualidade, tendo sua composição normalmente em relação ao metano e dióxido de carbono como mostrado:



As gorduras (lipídios) são relativamente difíceis de serem decompostas, mas produzem bastante gás e de boa qualidade, tendo sua composição normalmente em relação ao metano e dióxido de carbono como mostrado:



As proteínas são também relativamente difíceis de serem decompostas, mas produzem pouco gás e de ótima qualidade, tendo sua composição normalmente em relação ao metano e dióxido de carbono como mostrado:



Ou seja, o que acontece é uma decomposição dos carboidratos que são mais rapidamente realizadas e também a decomposição de uma porcentagem das gorduras e proteínas que são mais difíceis de serem decompostas, e normalmente isto ocorre nos primeiros primeiros dias até no máximo sete dias e após este período a produção de gás praticamente se interrompe.

Fazendo uma análise da última semana notamos que:

Período : 21.06 a 27.06:	9.030 Nm ³
Período : 28.06 a 11.07:	1.223 Nm ³

ou seja:

$$[(1.223 \text{ Nm}^3) / (9.030 \text{ Nm}^3)] \times 100 = 13,54 \%$$

houve um aumento de apenas 13% mesmo ficando em processo de decomposição por mais duas semanas.

Assim sendo, no máximo nos primeiros dez dias, ocorrem aproximadamente 80% da decomposição das substâncias orgânicas. Um período de permanência desejado das substâncias orgânicas no reator a ser adotado em projetos é de 12 a 16 dias.

Outra observação relevante feita durante a parte experimental é que a produção diária de biogás oscila desde de picos de 0,00 m³/h até 206,30 m³/h, sem a adição de material nutritivo. Os picos máximos ocorrem sempre entre as 16:00 e 20:00, ou seja, quando o reator está com a carga diária máxima. Da mesma forma as variações da concentração diária de CH₄ no biogás variam desde de 40% até no máximo de 80%.

5.8. Análise da produção de energia

O projeto da usina de compostagem, foi concebido buscando uma integração desta com a estação de tratamento de chorume (E.T.Ch.), parte desta integração, é que o biogás produzido na usina é utilizado na E.T.Ch. para a produção de energia elétrica e energia térmica.

Parte do calor produzido na E.T.Ch. é utilizado na própria E.T.Ch. para o tratamento do chorume e o restante é enviado para a usina de fermentação e empregado em várias etapas do processo, principalmente manter a temperatura constante no processo de fermentação no reator.

A energia elétrica produzida pela E.T.Ch. é consumida totalmente no próprio processo de tratamento do chorume.

O biogás enviado à E.T.Ch. é o excedente da usina de compostagem que não foi utilizado no processo de mistura total da suspensão no reator. Na E.T.Ch. este biogás é misturado com o gás de aterro e esta mistura dá sequência ao processo de produção de energia e calor.

Na Tabela 38, é feita uma quantificação do consumo de energia elétrica e da produção de energia elétrica pela mistura dos gases da usina de compostagem e do aterro sanitário através de um sistema de produção de energia elétrica e térmica existente na E.T.Ch..

Na tabela 39, observa-se que a usina de compostagem tem uma produção média mensal de 51.867 Nm³ de um gás de ótima qualidade com um percentual médio de CH₄ em torno de 63%, ou seja, uma produção média horária de:

$$(414.935 \text{ Nm}^3) / (245 \text{ dias} \times 24 \text{ horas}) = 70,57 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Enquanto que o aterro sanitário tem uma produção média mensal muito maior em torno de 180.774 Nm³, mas com um teor de CH₄ de 36%, ou seja, uma produção média horária de:

$$(1.446.196 \text{ Nm}^3) / (245 \text{ dias} \times 24 \text{ horas}) = 245,95 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Na realidade, o que acontece é que esta mistura, de um gás com boa qualidade (gás da usina de compostagem) com um gás de baixa qualidade (gás de aterro), produz uma mistura que também não possui uma boa qualidade, ou seja, um gás com um percentual de aproximadamente 42% de CH₄ e um poder calorífico de 4,50

kWh/m³ conforme demonstrado na Tabela 39, baseado em uma análise feita em 08.07 1998.

TABELA 38 - Análise da produção de energia elétrica pelo biogás da usina de compostagem e do aterro sanitário através do sistema existente de produção de energia elétrica e térmica

Especificação	Maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
Usina de compostagem por fermentação										
B.G. (m ³)	53.875	46.856	45.515	55.824	46.379	55.564	51.558	59.364	414.935	51.867
% Vol CH ₄	62,10	63,45	65,10	64,40	65,60	67,60	63,75	57,20		63,65
E.E.T.C.U (kWh)	51.699	47.999	36.117	48.638	49.004	57.784	59.807	54.810	405.858	50.732
Gás produzido pelo aterro sanitário/estação de tratamento de chorume										
B.G. (m ³)	194.935	196.753	180.071	184.980	177.458	169.029	170.104	172.866	1.446.196	180.774
% Vol CH ₄	35,60	34,10	37,60	34,70	34,00	38,30	37,90	38,80		36,38
E.E.T.C.E (kWh)	85.911	75.115	75.172	73.060	68.490	67.841	70.235	79.653	595.477	74.435
Balanco de energia consumida / produzida										
E.E.T.C.U.E. (kWh)	137.610	123.114	111.289	121.698	117.494	125.625	130.042	134.463	1.001.335	125.167
E.E.P.E. (kWh)	45.280	43.762	44.709	39.596	31.196	50.515	43.915	49.182	348.155	43.519
% E.E.P.E. / E.E.T.C.U.E.	32,90	35,55	40,17	32,54	26,55	40,21	33,77	36,58		34,78

TABELA 39 - Valores atuais de composição do biogás em comparação com uma análise de 08.07.1998

Análise realizada em 08.07.1998			Estimativa da composição da mistura (biogás + gás de aterro)		
Especificação	Porcentagem de metano (CH ₄)	Poder calorífico kWh/m ³	Especificação	Porcentagem de metano (CH ₄)	Poder calorífico kWh/m ³
B. G. - 70 m ³ /h	64,10%	5,80	B. G. - 70,57 m ³ /h	63,65%	5,79
G.A. - 240 m ³ /h	46,50%	4,63	G.A. - 245,95 m ³ /h	36,38%	4,13
B.G. + G.A.	50,10%	5,13	B.G. + G.A.	42,44%	4,50

Além deste problema de baixo teor de CH_4 no gás produzido proveniente da mistura dos outros dois gases como mostrado na Tabela 39, existe ainda perdas excessivas do sistema de produção de energia existente na E.T.Ch..

O consumo médio mensal de energia elétrica da estação de tratamento de chorume em conjunto com a usina de compostagem é de 125.167 kWh/mês e a produção média mensal de energia elétrica é de 43.159 kWh/mês, ou seja, a energia produzida corresponde atualmente a apenas 34,78% da energia consumida.

O ideal, pensando-se somente na usina de compostagem, seria a geração de energia elétrica através de um sistema de produção de energia elétrica e térmica conforme mostrado no Capítulo 3.

Foram feitas quatro visitas durante o mês de fevereiro de 2.000, na nova estação de tratamento de esgotos da cidade de Darmstadt, para uma análise do real rendimento deste sistema.

A estação de Darmstadt possui quatro unidades deste sistema de produção de energia das quais uma funciona com gás de esgoto e três com gás natural, possuindo atualmente uma eficiência de 30 a 35% em relação à produção de energia elétrica.

Na Tabela 40, é feita uma estimativa do aproveitamento do potencial de energia da usina de compostagem de Karlsruhe se a mesma fosse acoplada em um sistema de produção de energia elétrica e térmica, adotando-se o valor de projeto (Genehmigungsplanung Karlsruhe, 1994) em relação ao consumo de energia térmica na usina de 400.000 kWh/a.

Da Tabela 40, temos um potencial de aproveitamento de energia excedente conforme o balanço energético mostrado de 1.513. 725 kWh sendo formado de:

- Excedente de energia elétrica : 386.958 kWh;
- Excedente de energia térmica : 1.126.767 kWh.

Assim temos que:

Consumo de energia elétrica da E.T.Ch.: 595.477 kWh

$$[(386.958 \text{ kWh}) / (595.477 \text{ kWh})] \times 100 = 64,98\%$$

TABELA 40 -Estimativa do potencial de produção de energia elétrica e energia térmica da usina de compostagem se esta fosse interligada a um sistema de produção de energia elétrica e térmica.

Especificação	Maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
B.G. (m³)	53.875	46.856	45.515	55.824	46.379	55.564	51.558	59.364	414.935	51.867
Potencial energético estimado - 5,79kWh/m³ - tabela 42										
P.E.T. (kWh)	311.936	271.296	263.531	323.221	268.534	321.716	298.521	343.718	2.402.473	300.309
P.E. - 33% (kWh)	102.939	89.528	86.965	106.663	88.616	106.166	98.512	113.427	792.816	99.102
P.T. - 58% (kWh)	180.923	157.352	152.848	187.468	155.750	186.595	173.142	199.356	1.393.434	174.179
Perda - 9% (kWh)	28.074	24.416	23.718	29.090	24.168	28.995	26.867	30.953	216.223	27.028
Consumo energético da usina - elétrico e térmico										
C.E.E. (kWh)	51.699	47.999	36.117	48.638	49.004	57.784	59.807	54.810	405.858	50.732
C.E.T. (kWh)	33.333	33.333	33.334	33.333	33.333	33.334	33.333	33.334	266.667	33.333
Balanço energético										
Excedente de energia elétrica						Excedente de energia térmica				
386.958 kWh						1.126.767 kWh				

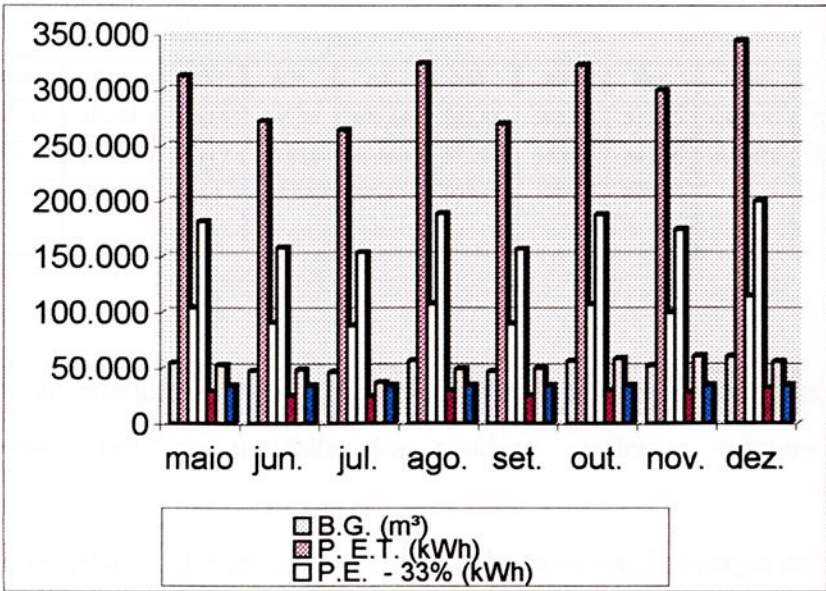


FIGURA 39 - Potencial de aproveitamento de energia na usina de Karlsruhe, através de um sistema de produção de energia elétrica e térmica

Ou seja, com esta energia elétrica excedente da usina de compostagem seria possível ainda alimentar cerca de 65% do consumo de energia elétrica total necessária à estação de tratamento de chorume.

Em termos monetários este excedente de energia elétrica poderia ser analisado como:

$$(386.958 \text{ kWh}) / 8 \text{ meses} = 48.370 \text{ kWh/mês}$$

Adotando uma tarifa de energia elétrica da Empresa Bandeirante de Energia - abril / 2000 : R \$ 0,15/kWh, temos um excedente monetário mensal de:

$$(48.370 \text{ kWh/mês}) \times \text{R } \$ 0,15/\text{kWh} = \text{R\$ } 7.255,50/\text{mês}$$

ou em termos anuais:

$$(\text{R\$ } 7.255,50 / \text{mês}) \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 87.066/\text{a}$$

Na Tabela 41, é feita análise do consumo de energia para a compostagem dos resíduos orgânicos totais em relação do consumo de energia elétrica total utilizada na usina de compostagem, desde a chegada dos resíduos orgânicos até a compostagem aeróbica do pré-composto.

TABELA 41 - Análise do consumo de energia em relação ao tratamento de resíduos orgânicos e totais.

Especificação	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total	Média
R.O.T. (Mg)	599,57	480,91	406,14	546,95	499,64	547,83	583,23	511,60	4.175,87	521,98
E.E.T.C. U (kWh)	51.699	47.999	36.117	48.638	49.004	57.784	59.807	54.810	405.858	50.732
E.E.T.C.U. / R.O.T. (kWh/Mg)	86,22	99,81	88,93	88,93	98,08	105,47	102,54	107,13		97,19

Este consumo de energia é variável e dependente de diversos fatores como temperatura ambiente, teor de umidade dos resíduos orgânicos, número de dissoluções, etc..

Sendo assim, o objetivo aqui é ter um valor médio do consumo de energia de uma usina para projetos futuros, baseado em dados reais de funcionamento.

Assim temos que:

Resíduos orgânicos totais: 4.175,87 Mg/08 meses;

Energia elétrica total consumida na usina: 405.858 kWh/08 meses.

ou seja,

$$(405.858 \text{ kWh}) / (4.175,87 \text{ Mg}) = 97,19 \text{ kWh/Mg de material de entrada}$$

5.9. Análise e testes na câmara de decomposição

A câmara de decomposição tem a principal função na usina de Karlsruhe de higienização do pré-composto conforme exigência do decreto federal sobre compostagem anaeróbica de 21 de setembro de 1998. A obrigatoriedade de higienização do composto não é necessária desde, que a temperatura de operação no reator seja de no mínimo 55°C, ou seja, temperaturas termofílicas e ainda com um período de permanência de 20 dias. Quando isto não ocorrer, existe a necessidade de uma pré ou pós higienização do composto de no mínimo uma hora a 70°C.

Um dos principais motivos desta exigência, é que em nenhuma das amostras coletadas de um tratamento biológico de resíduos orgânicos possam conter sementes ou formas vegetativas patogênicas aptas à germinação ou conter no máximo < 21 por amostra não aptas à germinação.

A segunda função da câmara de decomposição é a diminuição do teor de umidade dos restos de fermentação a níveis entre $45 \pm 5\%$, valores estes que auxiliam o processo final de maturação do pré-composto.

A câmara de decomposição é um sistema de tratamento aeróbico de resíduos sólidos que foi adaptado para a higienização do pré-composto, permitindo assim também se necessário uma decomposição aeróbica do material no seu interior.

As fases de funcionamento da câmara de decomposição da usina de Karlsruhe estão esquematizadas na Figura 40.

Nos planos da cidade de Karlsruhe, está a ampliação do sistema de coleta seletiva de resíduos orgânicos para todos os bairros da cidade.



FIGURA 40 - Esquema antigo de funcionamento da câmara de decomposição

Desta forma existe uma necessidade de ampliação da usina ou de imediato medidas que permitam um aumento de sua capacidade sem grandes mudanças como, por exemplo:

- Diminuição do tempo de permanência no reator, o que aumentaria a capacidade de entrada de resíduos orgânicos, mas ao mesmo tempo poderia ocasionar uma diminuição no grau de decomposição das substâncias;
- Um aumento na concentração de substâncias orgânicas na suspensão enviada ao reator que pode ocasionar uma diminuição do pH abaixo de 6,8 na suspensão, comprometendo todo o processo de decomposição, isto devido a uma possível alta de concentração de ácidos orgânicos desassociados, além do que, existe um problema operacional para o bombeamento desta suspensão.

Este estudo faz uma análise da primeira opção através da diminuição do tempo do reator e uma conseqüente diminuição da decomposição anaeróbica, mas ao mesmo tempo a utilização da câmara de decomposição para uma decomposição aeróbica dos restos de fermentação.

O grau de decomposição do composto, como mostrado no capítulo 2, é medido através da temperatura dos restos de fermentação e a conseqüente relação destes com os índices I, II, III, IV e V, ou seja, um grau de decomposição, que caracteriza em que ponto de decomposição está o composto.

Com o funcionamento normal de um reator, obtém-se um grau de decomposição dos restos de fermentação entre I e II, sendo que, com a conseqüente diminuição do tempo de permanência no reator, ter-se-á sempre um grau de decomposição I.

O objetivo da câmara de decomposição, é o aumento do grau de decomposição dos restos de fermentação novamente para o nível II, e inclusive com a possibilidade de se atingir um nível III, e após isto tem-se a continuidade normal do processo final de maturação, e a elevação do grau de decomposição até os níveis IV e V.

A câmara de decomposição tem a grande vantagem de ser um sistema isolado, ou seja, trata-se de uma unidade que pode ser facilmente ampliada sem o comprometimento do funcionamento da usina.

O sistema proposto para o funcionamento da câmara de decomposição na Figura 41.

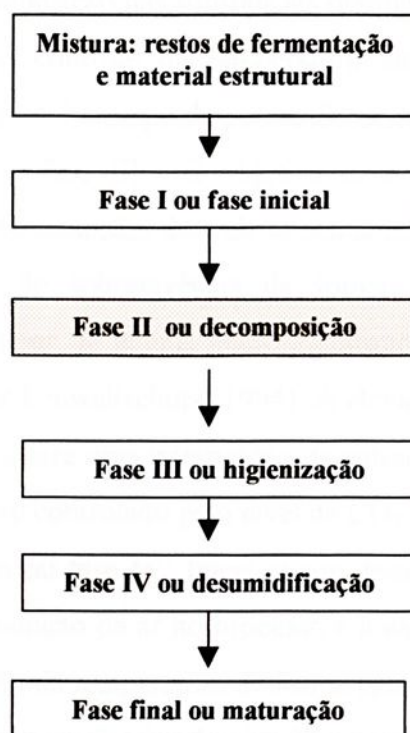


FIGURA 41 - Esquema proposto para funcionamento da câmara de decomposição

5.9.1. Funcionamento da câmara de decomposição

Na câmara de decomposição, através de um sistema de controle das faixas de temperatura, concentração de CO_2 , tempo de cada fase e o volume de ar aduzido obtém-se uma decomposição aeróbica dos restos de fermentação com o desprendimento de CO_2 e H_2O .

A mistura de material estrutural (máximo 5 a 10% em peso) com restos de fermentação na câmara de decomposição, deve ser muito bem feita para se obter uma ótima oxigenação da mistura.

Fase inicial ou fase I : Nesta fase ocorre a troca das bactérias anaeróbicas pelas aeróbicas, ou seja, os restos de fermentação começam a receber oxigênio ocorrendo assim uma substituição destas por bactérias aeróbicas. Inicia-se naturalmente um aquecimento da mistura que é mantido através da recirculação do ar na câmara de decomposição e do controle da concentração de CO_2 . Esta elevação de temperatura é dependente do volume do ar aduzido, do teor de resíduos secos nos restos de fermentação e do percentual da relação da mistura.

Fase da decomposição ou fase II : Através da adução de uma maior quantidade de ar inicia-se a etapa de decomposição das substâncias orgânicas de fácil decomposição, nesta etapa é importante o controle da temperatura ainda na fase mesofílica e constante, além de um aumento do tempo de permanência do material nesta fase.

Fase da higienização ou fase III : O objetivo é, através de um aumento de temperatura dos restos de fermentação, destruir as sementes e ovos viáveis e diminuir ao máximo as condições de sobrevivência de formas vegetativas patogênicas, causadoras de doenças. Apesar de alguns microorganismos conseguirem sobreviver até 120°C (Landesanstalt für Umweltschutz, 1994). A elevação de temperatura é feita a níveis de 60°C através de quase uma interrupção da entrada de ar e da recirculação quase que total do ar presente controlado pelo nível de CO_2 .

Fase da desumidificação ou fase IV: Inicia-se um resfriamento dos restos de fermentação através da introdução de ar no processo e a não recirculação do mesmo, ocorrendo assim uma redução da temperatura de forma lenta evitando-se um posterior choque térmico e lentamente se pulveriza água sobre a mistura para um controle do teor de umidade para níveis de 40%.

Em cada fase do processo na câmara de decomposição é possível se controlar quatro parâmetros:

- Temperatura;
- Tempo de duração;
- Concentração de CO_2 ;
- Volume de entrada de ar.

Na fase experimental foram controladas: a execução da mistura dos restos de fermentação com o material estrutural, o enchimento da câmara de decomposição com a mistura, a retirada deste material e a limpeza da câmara de decomposição. Antes da entrada do material na câmara de decomposição e após a saída do material eram controlados o teor de resíduos secos, o teor de umidade, o pH e o grau de decomposição, através da coleta de amostras.

Em cada fase na câmara de decomposição são definidos os parâmetros de operação, e através de um sistema automático de controle de entrada e saída de ar, controle de temperatura, do volume de ar recirculado, volume do ar resfriado, nível da concentração de CO_2 e teor de umidade, estes parâmetros pré-fixados são mantidos. Ele tem ainda um sistema especial de biofiltros para que todo o ar descartado, vá limpo para a atmosfera.

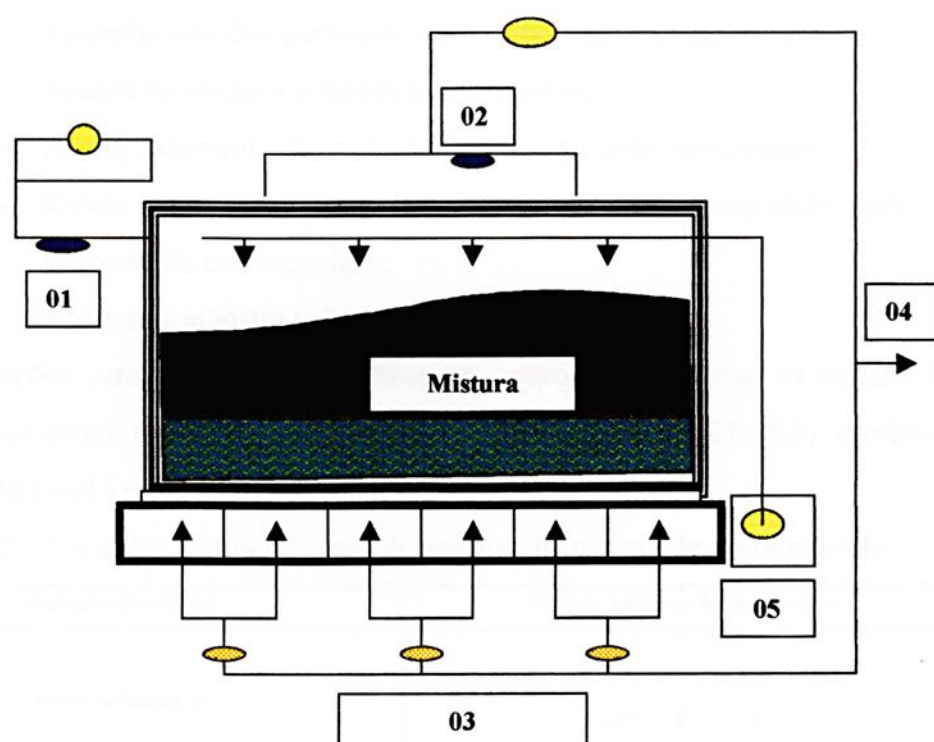
Na Figura 54, é mostrado um esquema geral dos componentes de controle da câmara de decomposição.

O sistema de aquecimento do ar da câmara de decomposição é opcional; no caso a usina de Karlsruhe não possui o mesmo. A câmara de decomposição pode também ser usada para o tratamento de resíduos orgânicos "*in natura*" através de uma compostagem aeróbica, quando isto ocorre, a utilização do sistema de aquecimento é dependente da temperatura em que se deseja operar mesofílica ou termofílica.

Em uma usina de fermentação os restos de fermentação na saída do reator são dependentes do tempo de permanência e do grau de decomposição e de acordo com o andamento do processo pode-se obter um grau de decomposição nível I ou nível II. Assim, dependendo do grau de decomposição que os restos de fermentação atingiram no reator é impossível se obter naturalmente a temperatura de 60°C necessária na fase de higienização na câmara de decomposição, quando se faz necessário o uso do

sistema de aquecimento. Este sistema de aquecimento da câmara de decomposição não gera grandes custos operacionais, custos de energia para o seu funcionamento, já que normalmente a necessidade de elevação será no máximo de 10°.

Com objetivo de que a câmara de decomposição ainda tenha a função de um sistema de decomposição aeróbica, aumenta-se ainda mais a necessidade do sistema de aquecimento, pois com o aumento do nível de decomposição na câmara maior é a necessidade do aquecimento da mistura para a realização da fase de higienização.



- 01 Sistema de controle do teor de gás carbônico $\varnothing$
- 02 Sistema de controle de saída de ar
- 03 Sistema de controle de entrada de ar
- 04 Sistema de retorno do ar para aquecimento ou envio aos biofiltros
- 05 Sistema de recirculação de água

FIGURA 42 - Esquema geral dos componentes de controle da câmara de decomposição.

Os testes foram executados na câmara de decomposição I e na câmara de decomposição II, no período de 11.08.99 a 26.11.99, sendo coletadas e examinadas no laboratório um total de vinte amostras divididas como segue:

- Controle da execução da mistura de restos de fermentação e material estrutural;
- Controle de preenchimento da câmara de decomposição;
- Coleta de amostra na entrada da câmara de decomposição antes do processo de decomposição;
- Fornecimento dos parâmetros por computador de cada fase;
- Análise da amostra coletada no laboratório;
- Acompanhamento da evolução do processo pelo computador;
- Coleta de amostra na saída da câmara de decomposição após o processo de decomposição;
- Análise da amostra coletada no laboratório.

As variações permitidas dos parâmetros de controle do processo na câmara de decomposição como: temperatura (T), tempo (t), concentração de CO_2 ($\varnothing$) e volume de ar aduzido (V_{ad}) estão mostradas na Tabela 42.

TABELA 42 - Variações dos parâmetros de controle na câmara de decomposição.

Especificação da fase	Faixa de variações dos parâmetros
Fase I ou fase inicial	$0^\circ\text{C} < T < 70^\circ\text{C}$ $0\text{ h} < t < 100\text{ h}$ $0,0\% < \varnothing < 5,0\%$ $0\text{ m}^3/\text{h} < V_{ad} < 1500\text{ m}^3/\text{h}$
Fase II ou fase de decomposição	$0^\circ\text{C} < T < 70^\circ\text{C}$ $0\text{ h} < t < 200\text{ h}$ $0,0\% < \varnothing < 5,0\%$ $0\text{ m}^3/\text{h} < V_{ad} < 1500\text{ m}^3/\text{h}$
Fase III ou fase de higienização	$0^\circ\text{C} < T < 70^\circ\text{C}$ $0\text{ h} < t < 100\text{ h}$ $0,0\% < \varnothing < 5,0\%$ $0\text{ m}^3/\text{h} < V_{ad} < 1500\text{ m}^3/\text{h}$
Fase IV ou fase de desumidificação	$0^\circ\text{C} < T < 70^\circ\text{C}$ $0\text{ h} < t < 100\text{ h}$ $0,0\% < \varnothing < 5,0\%$ $0\text{ m}^3/\text{h} < V_{ad} < 1500\text{ m}^3/\text{h}$

5.9.2. Dados experimentais

Na Tabela 43, são mostrados os testes realizados com as variações dos parâmetros e os resultados das análises dos materiais feitas no laboratório.

TABELA 43 - Valores coletados nos testes da câmara de decomposição.

Especificações	Câmara de decomposição	pH	R.S. %	Vazão máxima de entrada de ar (m³/h)	Parâmetros da fase I	Parâmetros de fase II	Parâmetros da fase III	Parâmetros da fase IV	Evolução do grau de decomposição
AMOSTRA 01									
Data de entrada na câmara de decomposição - 11.08.99	1	7,4	40,30						I
Data de saída da câmara de decomposição - 16.08.99	1	7,8	38,40						I
Parâmetros do processo				800	T = 50°C t = 2 h Ø = 4,5%	T = 50°C t = 2 h Ø = 4,5%	T = 60°C t = 72 h Ø = 4,0%	T = 35°C t = 36 h Ø = 1,5 %	
AMOSTRA 02 - não atingiu a homogeneização									
Data de entrada na câmara de decomposição - 26.08.99	1	7,3	38,70						I
Data de saída da câmara de decomposição - 31.08.99	1	7,6	30,40						I
Parâmetros do processo				1200	T = 40°C t = 2 h Ø = 4,0%	T = 45°C t = 2 h Ø = 4,0%	T = 60°C t = 96 h Ø = 4,0%	T = 35°C t = 36 h Ø = 0,25 %	

Especificações	Câmara de decomposição	pH	R.S. %	Vazão máxima de entrada de ar (m³/h)	Parâmetros da fase I	Parâmetros de fase II	Parâmetros da fase III	Parâmetros da fase IV	Evolução do grau de decomposição
AMOSTRA 03									
Data de entrada na câmara de decomposição - 08.10..99	1	7,3	42,50						I
Data de saída da câmara de decomposição - 13.10.99	1	8,0	37,40						I
Parâmetros do processo				800	T = 40°C t = 2 h Ø = 4,5%	T = 42°C t = 2 h Ø = 4,5%	T = 60°C t = 72 h Ø = 4,0%	T = 35°C t = 36 h Ø = 1,50 %	
AMOSTRA 04									
Data de entrada na câmara de decomposição - 13.10.99	2	7,4	35,60						I
Data de saída da câmara de decomposição - 18.10.99	2	8,2	30,40						I
Parâmetros do processo				1200	T = 40°C t = 2 h Ø = 4,0 %	T = 45°C t = 2 h Ø = 4,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 4,0%	T = 35°C t = 36 h Ø = 0,30 %	
AMOSTRA 05 - não atingiu a homogeneização									
Data de entrada na câmara de decomposição - 18.10..99	1	7,0	38,50						I
Data de saída da câmara de decomposição - 25.10.99	1	8,4	32,60						II
Parâmetros do processo				1200	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 50°C t = 48 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 5,0%	T = 35°C t = 12 h Ø = 0,30 %	

Especificações	Câmara de decomposição	pH	R.S. %	Vazão máxima de entrada de ar (m³/h)	Parâmetros da fase I	Parâmetros de fase II	Parâmetros da fase III	Parâmetros da fase IV	Evolução do grau de decomposição
AMOSTRA 06									
Data de entrada na câmara de decomposição - 03.11.99	2	8,2	52,00						I
Data de saída da câmara de decomposição - 09.11.99	2	8,4	46,80						I
Parâmetros do processo				1200	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 50°C t = 48 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 5,0 %	T = 30°C t = 24 h Ø = 1,0 %	
AMOSTRA 07									
Data de entrada na câmara de decomposição - 05.11.99	1	6,8	43,00						I
Data de saída da câmara de decomposição - 12.11..99	1	8,4	25,60						II
Parâmetros do processo				1000	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 45°C t = 48 h Ø = 3,5 %	T = 60°C t = 96 h Ø = 4,0 %	T = 35°C t = 12 h Ø = 0,25 %	
AMOSTRA 08									
Data de entrada na câmara de decomposição - 10.11.99	2	7,1	37,40						I
Data de saída da câmara de decomposição - 17.11..99	2	7,8	32,40						II
Parâmetros do processo				1200	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 50°C t = 60 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 3,0 %	T = 35°C t = 24 h Ø = 1,0 %	

Especificações	Câmara de decomposição	pH	R.S. %	Vazão máxima de entrada de ar (m³/h)	Parâmetros da fase I	Parâmetros de fase II	Parâmetros da fase III	Parâmetros da fase IV	Evolução do grau de decomposição
AMOSTRA 09									
Data de entrada na câmara de decomposição - 18.11.99	2	7,3	35,20						I
Data de saída da câmara de decomposição - 26.11.99	2	8,3	30,60						III
Parâmetros do processo				1200	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 45°C t = 72 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 5,0%	T = 35°C t = 36 h Ø = 0,25 %	
AMOSTRA 10 - não atingiu a higienização									
Data de entrada na câmara de decomposição - 19.11.99	1	7,4	37,00						I
Data de saída da câmara de decomposição - 26.11..99	1	8,0	31,80						II
Parâmetros do processo				1200	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 50°C t = 96 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 48 h Ø = 4,5 %	T = 30°C t = 12 h Ø = 1,0 %	

5.9.3. Resultados finais

A Tabela 44, apresenta o resumo dos resultados obtidos através dos testes realizados

TABELA 44 - Parâmetros finais obtidos na câmara de decomposição em comparação com os parâmetros de operação na usina.

Especificação	G.D.I.	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	G. D. F.
Parâmetros de operação da câmara de decomposição, anteriores aos testes	I - II	T = 48°C t = 2 h Ø = 4,0 %		T = 60°C t = 72 h Ø = 4,0 %	T = 35°C t = 12 h Ø = 0,25 %	I-II
Intervalos de variação dos parâmetros de operação da câmara de decomposição		40 °C < T < 50°C 2 h < t < 12 h 2,0 % < Ø < 4,5 %	42 °C < T < 50°C 2 h < t < 96 h 3,0 % < Ø < 4,5%	T = 60°C 48 h < t < 96 h 3,0 % < Ø < 5,0%	30°C < T < 35°C 12 h < t < 36 h 0,25% < Ø < 1,5%	
Parâmetros de operação da câmara de decomposição após aos testes	I - II	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 45°C t = 72 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 5,0 %	T = 35°C t = 36 h Ø = 0,25 %	II-III

O que se pode observar é que com esta otimização dos parâmetros de cada fase consegue-se acelerar o processo de decomposição das substâncias orgânicas, que num período de oito dias na câmara de decomposição conseguem uma elevação de um ou até dois níveis do grau de decomposição, e além disso, obter a higienização da mistura.

Algumas das principais consequências das definições destes parâmetros:

- Diminuição do tempo de permanência no reator;
- Não necessidade imediata de ampliação;
- Aumento da capacidade de tratamento da usina;
- Garantia de uma higienização do pré-composto;
- Uma redução do local de maturação;
- Um menor tempo entre a entrada dos resíduos e a saída do composto.

Atualmente estes são os parâmetros de funcionamento da câmara de decomposição na usina de Karlsruhe.

6. PROPOSTA E PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INOVATIVO PARA O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS EM GUARATINGUETÁ

6.1. Introdução

A remoção de lixo urbano e a limpeza urbana são problemas a serem equacionados com alta prioridade. Sua discussão, que deve ocorrer nos diversos grupos e níveis da sociedade, depende de informações técnicas, financeiras e ambientais. Somente com base nestas informações será possível uma definição das políticas e das estratégias a serem implantadas.

A remoção de lixo urbano não deve ser entendida simplesmente como aquele montante coletado pelas prefeituras e levado aos lixões nas periferias das zonas habitadas dos municípios. Há de se considerar também os materiais recicláveis, como papéis, papelões, plásticos, vidros, sucatas e metais, recolhidos nas ruas antes de serem coletados pelos serviços públicos e nos próprios lixões.

Para se obter uma solução adequada dos problemas de resíduos sólidos, precisa-se pensar na complexidade dos aspectos, que determinam a solução completa do tratamento de lixo, como preços, o meio ambiente, a situação socio-econômica, os profissionais e as instituições envolvidas.

Este trabalho propõe o planejamento de um sistema inovativo para o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos em Guaratinguetá.

6.1.1. Posição geográfica e infra-estrutura econômica

A cidade de Guaratinguetá situa-se no estado de São Paulo, numa importante artéria rodoviária entre as metrópoles São Paulo e Rio de Janeiro, respectivamente a 176 e 254 km. O município ocupa uma área de 825 km² e o clima é quente com invernos secos. A temperatura varia entre 9 °C e 35 °C com uma média anual de 22 °C. A precipitação pluviométrica anual é de 1360 mm.

Guaratinguetá limita-se ao norte com Piquete e Delfim Moreira, ao sul com Lagoinha e Cunha, ao leste com Lorena e a oeste com Aparecida, Roseira, Pindamonhangaba e Campos do Jordão. No norte da região de Guaratinguetá

encontra-se a Serra da Mantiqueira, no sul a Serra Quebra Cangalha e a Serra do Mar. No vale, localizado entre as duas serras encontra-se o rio Paraíba do Sul. Neste, desembocam o Ribeirão São Gonçalo, o Ribeirão dos Motas e Ribeirão Guaratinguetá.

A região ainda faz parte da micro-região do Vale do Paraíba, região importante na formação histórica de São Paulo e do Brasil. Ela sofreu nas décadas passadas uma radical transformação na sua estrutura sócio-econômica, em consequência da industrialização e urbanização do país. Esse processo agrediu fortemente a paisagem, e levou a uma ocupação desordenada do espaço físico e ao uso inadequado do solo.

Várias indústrias se implantaram em Guaratinguetá pela sua posição geográfica e devido às vias de acesso. Existem cerca de 36 indústrias pequenas, 15 médias e 18 grandes, totalizam 69 indústrias no município. Deste total duas empresas são alemãs: BASF e Liebherr. A BASF é a maior empresa da cidade, com 1300 funcionários, sendo responsável por mais da metade (55%) da receita do município, estimada em 45 milhões de dólares (dados de 1990).

A cidade possui dois hospitais: a Santa Casa de Misericórdia e o Hospital Frei Galvão, com um total de 350 leitos. Guaratinguetá é uma das cidades mais desenvolvidas da região, com faculdades de engenharia, física, economia, administração e pedagogia, contando com cerca de 1800 estudantes, existindo também uma academia da força aérea com cerca de 2000 cadetes. Segundo avaliação estatística do “Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística” existem no município de Guaratinguetá aproximadamente 98.000 habitantes (área e urbana), dos quais 36.000 são trabalhadores. Destes, apenas 25% são registrados. A localização de Guaratinguetá na região é mostrada na Figura 43.

6.1.2. Considerações gerais

Não existem dados exatos comprovados sobre a quantidade e composição dos resíduos sólidos gerados em Guaratinguetá. Pela falta da existência de balanças no lixão, levantamentos regulares sobre a quantidade e composição não são feitos.

O último levantamento foi feito em setembro e outubro de 1999 (Nascimento & Marques, 1999). Todos os resíduos sólidos recolhidos (domiciliares e comerciais)

O caminhão de lixo possui de três a quatro pessoas, sendo um motorista e duas pessoas que recolhem lixo nas ruas, um do lado direito e outro do lado esquerdo; às vezes existe uma outra pessoa que faz a disposição do lixo no caminhão. Por causa do grande calor os trabalhadores trabalham de calças curtas e sem vestimenta superior; às vezes usam luvas de proteção.

A disposição final é feita em uma grande área em forma de talude de quatro hectares em uma região fora da cidade, mas próxima de região habitadas e próximas de uma plantação de arroz, sem nenhuma proteção. A única proteção é que o lixo é regularmente coberto com terra.

A Figura 44, mostra a situação atual de disposição dos resíduos domiciliares e comerciais recolhidos em conjunto. A geração dos resíduos sólidos não se pode definir exatamente, porque o material reciclável já é retirado antes da coleta, de várias maneiras, e entregue a um reaproveitamento.

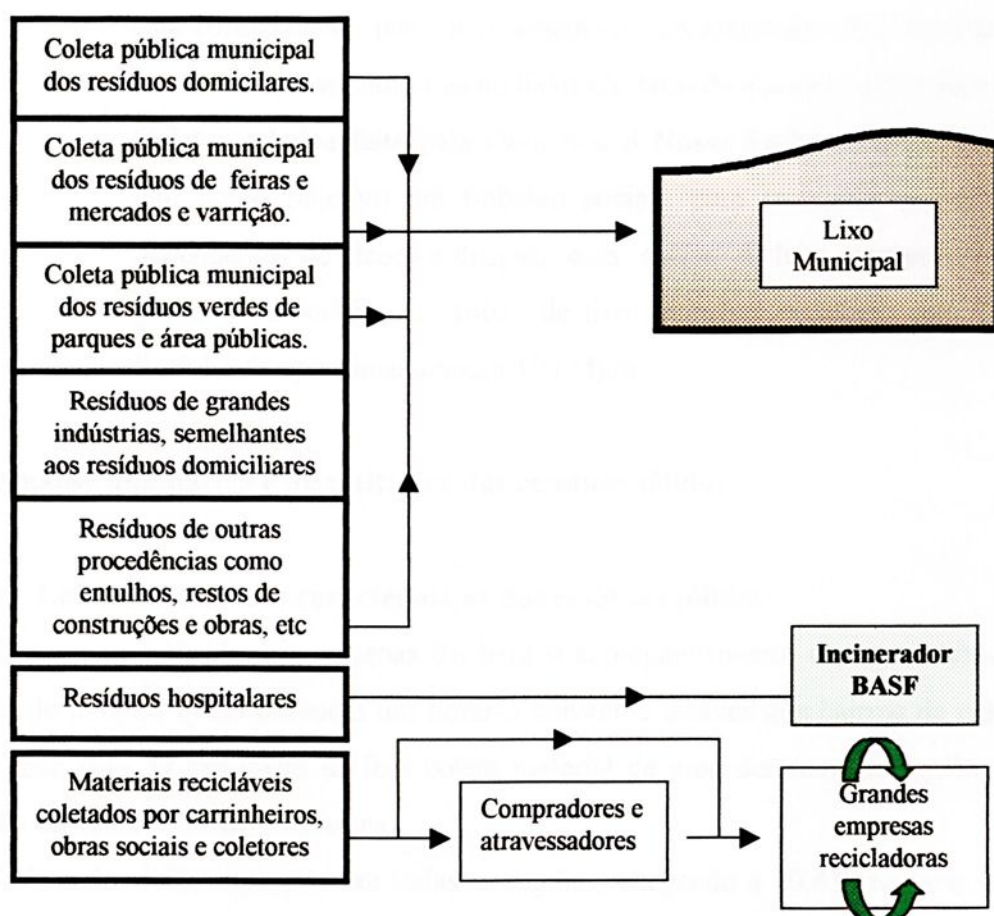


FIGURA 44 - Fluxograma dos resíduos sólidos em Guaratinguetá.

Existem basicamente as seguintes vias de reaproveitamento:

- A venda direta pelo dono do lixo aos carrinheiros e postos de ferro velho (especialmente material como alumínio, latas, papel, papelão, ferro, etc);
- Coleta pelos carrinheiros: esta forma de recolhimento de material de valor se encontra especialmente em bairros comerciais, onde estes já são separados pelos donos dos estabelecimentos comerciais;
- As equipes dos caminhões coletores também participam na eliminação de material aproveitável. Os catadores selecionam latas de alumínio, papelão e ferro durante o turno e vendem este material no final da coleta em um posto de ferro velho. Para a separação dos materiais, os caminhões dispõem de vários sacos nos chassis;
- Seleção de material aproveitável pelos catadores no lixão, eles separam uma pequena quantidade de papelões, pois a maioria já está contaminada pelo lixo orgânico. Os materiais mais importantes recolhidos pelos catadores no lixão são latas de alumínio e plásticos;
- Coleta seletiva feita pela Obra Social Nossa Senhora da Glória que tem como objetivo um trabalho social para recuperar as pessoas dependentes de álcool e drogas, esta coleta é feita diretamente nas grandes indústrias. O total de lixo reciclável recolhido pela Obra Social é de aproximadamente 100 Mg/a.

6.3. Análise qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos

6.3.1. Levantamento das características dos resíduos sólidos

Por um período de seis semanas foi feito o acompanhamento dos caminhões de coleta de lixo, os quais possuem um horário constante através dos bairros da cidade para cada rota. O caminhão de lixo coleta material de uma determinada região, em função da quantidade de habitantes.

O lixo domiciliar coletado em todas as regiões, chegando a 10.437 ton/ano, com um cálculo de 106.50 kg/habitante x ano. Para a análise, o lixo foi dividido em



pequenas frações típicas, não devendo ser considerado em separado, pois apresentam características diferentes.

Os lixos industriais, semelhantes aos domiciliares, são, geralmente, levados ao mesmo lugar do lixo domiciliar. Algumas grandes firmas e hospitais, assim como mercados coletam lixo separadamente.

TABELA 45 – Quantitativo de resíduos sólidos em Guaratinguetá.

Quantificação	Dados levantados
População urbana	98.000
Mg/semana	258
Mg/ano	10.437
kg/habitante x ano	106.50
kg/habitante x d (300 dias)	0.43

6.3.2. Coleta e preparação das amostras

Foram feitas análises apenas do lixo domiciliar. O lixo industrial, dos mercados, refeitórios e lixos de ruas, assim como lodos de esgoto e podas de jardim não foram consideradas.

A seleção das amostras de lixo foram coletadas em seis bairros representativos da cidade. Ao mesmo tempo a área municipal foi subdividida em diferentes regiões considerando as diferentes camadas da população, obtendo assim um valor representativo para um cálculo correto do total e do tipo de lixo da região.

Desta forma estes valores poderiam ser extrapolados para os municípios vizinhos. Para análise, foram separadas 5 a 10% do lixo coletado pelo caminhão em cada região. As quantidades mostradas na Tabela 46, são valores médios.

6.4. Composição dos resíduos sólidos domiciliares

Para levantamento da composição dos resíduos domiciliares foram feitas análises das composições de amostras de lixo, que foram recolhidas em cada setor de coleta no município. As amostras foram coletadas a cada vigésima casa.

Assim, os resíduos sólidos domiciliares podem ser classificados em porcentagem, de acordo com as amostras coletadas.



TABELA 46 - Composição dos resíduos sólidos em Guaratinguetá (Nascimento & Marques, 1999).

Tipo de Resíduos	Kg/habitante x ano	Porcentagem
Resíduos orgânicos	62,30	58,45%
Papel	3,00	2,80%
Papelão	15,40	14,49%
Plástico	8,90	8,35%
Material têxtil	4,10	3,83%
Metal	4,60	4,31%
Material cerâmico e terra	1,80	1,68%
Madeira	0,80	0,79%
Vidro	3,00	2,81%
Fralda e Absorvente	2,00	1,87%
Outros	0,60	0,60%
Soma	106,50 Kg	100,00%

A fração orgânica é a mais significativa de todos com uma porcentagem de 58,45%, sendo quase 80% restos de cozinha (frutas, legumes e comida) e outros 20% são dos jardins e hortas (folhas e plantas).

Do papel, cerca de um terço é papel higiênico, a maior parte não é aproveitável, por estar contaminado, também por ser usado para embrulhar restos de comida. Somente de 20% a 30% dos papéis são jornais, revistas, etc, e portanto, aproveitáveis.

O papel limpo de alta qualidade vem principalmente de lojas e de bancos, que geralmente não entram na coleta. A quantidade de papel no lixo, no total, é muito baixa por causa das atividades dos catadores.

A maior parte do papelão é retirado antes, e somente pequenas embalagens chegam ao lixo.

As frações consideráveis de vidros, em geral, só são encontradas nos lixos de restaurantes e bares.

A pequena quantidade de metais, composta de tampas e latas de aço são encontradas facilmente; latas de alumínio ainda são encontradas, mas em pequena quantidade, pois são retiradas anteriormente.

Plásticos, por sua quantidade, são relativamente importantes. Trata-se principalmente de folhas e sacos plásticos (30% a 40% sacos plásticos para lixo). Esta é uma das frações mais importantes para os catadores.

Nos bairros com uma alta porcentagem de ruas não pavimentadas, a porcentagem de areia e terra é bastante alta.

A fração de material combinado não reciclável é bastante baixa (material composto de diferentes tipos de plásticos).

Resíduos perigosos aparecem em pequenas quantidades (pilhas, produtos químicos, remédios, seringas, lâmpadas fluorescentes, etc.); por representarem alto perigo, deveriam ser colocados em um local separado e cobertos regularmente.

Embora o valor calorífico não tenha sido analisado, as amostras permitem uma estimativa de umidade em torno de 40% a 50%. O poder calorífico se estima em cerca de 4 MJ/kg a 5 MJ/kg.

A Tabela 47, mostra um quantitativo percentual dos resíduos sólidos nos diversos bairros de Guaratinguetá.

TABELA 47 - Quantitativo percentual dos resíduos sólidos nos diversos níveis sociais de Guaratinguetá (Nascimento & Marques, 1999).

Classe Econômica	Alta	Média Alta	Média	Comercial	Militar	Pobre	Total
Composição dos resíduos domiciliares	%	%	%	%	%	%	%
Resíduos orgânicos	47,30	67,10	60,70	56,50	52,50	61,50	58,45
Papelão	2,90	2,20	3,30	3,10	3,40	1,80	2,80
Papel	14,80	12,00	14,40	21,80	13,10	11,70	14,49
Plástico	10,20	7,60	8,50	6,30	10,00	8,00	8,35
Têxtil	5,20	2,00	2,10	2,00	9,80	1,50	3,83
Metal	7,80	3,50	4,90	2,40	4,00	4,80	4,31
Fralda e absorvente	3,20	0,60	1,00	4,40	1,90	0,70	1,87
Madeira	0,50	1,30	0,70	0,50	0,40	1,30	0,79
Cerâmica	2,60	0,70	1,60	0,50	0,80	5,60	1,68
Vidro	5,30	1,90	2,10	2,20	3,90	2,10	2,81
Outros	0,20	1,10	0,70	0,30	0,20	1,00	0,60

O resultado da análise é representativo e pode ser extrapolado de Guaratinguetá para as cidades vizinhas da região. É evidente que todas as propriedades não são iguais em todas as cidades, mas com certeza são semelhantes e a medida global dos resíduos sólidos domiciliares por habitante pode ser considerada.

6.5. Definição de um conceito inovativo e integrado de resíduos sólidos de Guaratinguetá

Uma forma integrada de tratar os resíduos sólidos inclui um grande número de medidas singulares e níveis de ações interligadas da comunidade que envolvem um objetivo comum, acabar com o conceito antigo da simples remoção e disposição dos resíduos sólidos, e dirigir a um programa mais complexo baseado em uma solução definitiva para os resíduos sólidos. Este conceito é mostrado na Tabela 48.

6.6. Proposta e planejamento de um sistema inovativo de uma usina de compostagem por fermentação

A concepção da usina de compostagem de resíduos sólidos orgânicos será feita, tendo como base o levantamento de dados feito na cidade de Guaratinguetá.

Importante ressaltar que este estudo feito para o município de Guaratinguetá pode ser estendido a qualquer município brasileiro, tanto na análise quantitativa como na qualitativa dos resíduos orgânicos.

Para o planejamento da usina de compostagem por fermentação incluiu-se nos cálculos, o quantitativo dos resíduos sólidos referente a “papel higiênico”, buscando assim, uma importante solução dentro do novo conceito integrado de resíduos sólidos; nos países mais industrializados este tipo de resíduo tem seu destino em conjunto com as águas servidas.

Este tipo de resíduo apesar de não ter uma grande aptidão para o tratamento de resíduos por fermentação é necessário uma opção a este como destino final, já que representa um resíduo com grande capacidade de contaminação tanto de outros resíduos, quando da coleta, ou do solo e ar através de sua disposição em um aterro sanitário.

TABELA 48 - Conceito inovativo e integrado de resíduos sólidos de Guaratinguetá.

Resíduos sólidos totais	Reduzir e evitar a geração de resíduos sólidos	Redução de substâncias prejudiciais. Tratamento e criação de uma disposição especial	Aproveitamento dos resíduos recicláveis e tratamento adequado dos resíduos orgânicos.	Disposição adequada dos resíduos sólidos não aproveitáveis.
Resíduos sólidos domiciliares e resíduos de grande volume e pequeno peso;				
Resíduos sólidos coletados em áreas comerciais e industriais semelhante aos resíduos sólidos domiciliares (sem a parte reciclável);	Medidas: Programa de conscientização da população. Trabalho de base com produtores e fornecedores.	Medidas: Planejamento adequado, projeto e esclarecimento conscientização da população; Criação de pontos de coleta fixa e pontos de coleta móvel; Criação nos postos de coleta fixa de um tratamento e disposição adequada das substâncias prejudiciais.	Medidas: Programa de conscientização da população; Estudos e projetos; Continuação e melhora da coleta seletiva dos resíduos recicláveis; Estudo e implantação do container de resíduos orgânicos.	Medidas: Construção de um novo aterro sanitário; Coleta e tratamento do chorume produzido; Coleta, tratamento e aproveitamento energético dos gases do aterro; Saneamento do aterro, existente inclusive encapsulamento.
Resíduos sólidos recicláveis;				
Resíduos verdes e resíduos orgânicos (coletado separadamente);				
Resíduos sólidos provenientes de obras, material de escavação, entulhos e demolições, quebra de ruas não aproveitáveis;	Consequências: Produtos com menos embalagens; Compra de produtos naturais ou fabricados com produtos naturais.	Consequências: Diminuição do potencial prejudicial das substâncias; Redução da presença destas no aterro sanitário.	Consequências: Diminuição do volume levado ao aterro; Reaproveitamento da matéria prima; Redução das emissões; Produção de composto dos resíduos orgânicos;	Consequências: Menor emissão de gases; Recuperação da área; Diminuição do risco de contaminação de áreas adjacentes e do lençol freático;
Resíduos provenientes de lodo de esgotos;				
Resíduos provenientes de produções específicas como varredura de rua, indústrias de papéis e outros tipos de resíduos industriais;				
Outros tipos de resíduos sólidos, como cinzas, substâncias nocivas à saúde, etc.			Os detritos destes reaproveitamentos devem ser levados ao aterro sanitário.**	Embelezamento do meio ambiente

Existe a possibilidade, logicamente, de se fazer testes com este tipo de resíduo, ficando a sua utilização na usina, dependendo do não comprometimento de todo o processo e principalmente da qualidade final do composto.

Outra possibilidade para a solução deste problema é uma melhora no processo de higienização do composto antes da fase de maturação ou até uma temperatura termofílica de trabalho no reator. Todas estas considerações são passíveis de estudos e soluções futuras, não interferindo assim no estudo aqui desenvolvido.

A usina de compostagem de resíduos sólidos orgânicos para Guaratinguetá foi calculada com uma capacidade de tratamento de 7.000 Mg/a de resíduos orgânicos e sua composição é mostrada na Tabela 49.

TABELA 49 - Especificação dos resíduos sólidos orgânicos de Guaratinguetá utilizados no projeto da usina de compostagem por fermentação.

Especificação dos resíduos orgânicos	Quantitativo
Resíduos orgânicos domiciliares	6105 Mg/a
Resíduos sólidos “ papel higiênico”	505 Mg/a
Resíduos orgânicos provenientes de feiras públicas	208 Mg/a
Resíduos orgânicos provenientes de mercados e supermercados	182 Mg/a
Total	7000 Mg/a

Um importante critério de decisão para a construção da usina de tratamento de resíduos sólidos são os valores necessários de investimentos e custos de operação. A determinação das condições e necessidades específicas do local são essenciais para uma usina de compostagem por fermentação.

A utilização de técnicas de mais de uma fase de processamento, pensando-se em uma melhora de rendimento, deve ser feita somente para instalações com valores de materiais de entrada acima de 15.000 a 20.000 Mg/a.

Na fase de planejamento deve ser conseguida toda a documentação sobre análise dos resíduos sólidos, cadastro dos tipos de resíduos sólidos da zona comercial, prognose do desenvolvimento da população, dados econômicos da região.

Dentro destes limites seguros é possível modificações dos procedimentos de operação como por exemplo a diminuição do período de permanência dos materiais dentro do reator de fermentação ou o aumento do tempo de maturação - fase de maturação) obtendo assim um melhor rendimento em relação à quantidade de material de entrada e composto em comparação aos parâmetros pré-estabelecidos para a usina de compostagem.

Esta modificação no tempo de permanência do material dentro do reator de fermentação tem influência na qualidade dos restos de fermentação e conseqüentemente no futuro composto, como também tem uma grande influência na produção do biogás.

Uma instalação combinada entre uma usina de compostagem anaeróbica e uma instalação aeróbica é uma interessante flexibilidade para a divisão dos diferentes materiais de entrada, a serem tratados de acordo com a melhor característica de cada um.

A usina pode ser construída através de um sistema modular, e ser ampliada de acordo com a necessidade.

O planejamento da usina foi feito com base nos estudos e análises da usina de compostagem por fermentação de Karlsruhe com discussões com firmas de manutenção e o próprio construtor da usina e, principalmente, através de contatos com engenheiros da área.

6.6.1. Projeto de uma usina inovativa de compostagem por fermentação

A usina será projetada em relação à parte de fermentação e pós-tratamento com um total de 7.000 Mg/a, como descritos na Tabela 49, e a parte de pré-tratamento ou preparação com 9.000 Mg/a, ou seja, aproximadamente 30% maior do que o valor inicial, relativo à presença de materiais perturbadores provenientes de uma má separação dos resíduos orgânicos.

Os problemas de conscientização da população em relação a separação de materiais recicláveis tendem a diminuir com tempo, desde de que se faça um constante e incessante trabalho de informação. O trabalho de conscientização da



população não é simples nem de fácil execução; ele é conseguido com o tempo e envolve uma série de medidas.

Nos países mais industrializados, que já possuem um grande trabalho de conscientização, uma melhor educação entre outros fatores, adotam-se valores de projetos com projeções de 20% de substâncias perturbadoras.

O processo de fermentação, apesar de custos mais elevados de implantação e operação, é mais recomendado para países em desenvolvimento principalmente pela sua capacidade de trabalhar com resíduos mais sujos e contaminados como também pela separação de elementos perturbadores ao longo do processo.

Existe ainda, a produção de compostos orgânicos, de grande importância em países tradicionalmente agrícolas e a produção do biogás, fonte alternativa de energia.

Uma importante observação é a conscientização da população com referência, a que os resíduos orgânicos verdes provenientes de podas e cortes de árvores não devem ser dispostos em conjunto com os outros resíduos orgânicos, pois este tipo de resíduo deve ser decomposto por processos aeróbicos sendo que o mesmo não é apto para o processo de fermentação.

Para o projeto da usina de compostagem por fermentação de Guaratinguetá foram adotados os seguintes dados:

- Tipo de materiais a serem tratados:	Resíduos orgânicos;
- Método:	Via úmida;
- Processo biológico:	Anaeróbico;
- Temperatura de trabalho:	Mesofílica;
- Etapas de fermentação:	Uma fase;
- Sistema de operação:	Quase contínuo.
- Resíduos orgânicos totais:	9.000 Mg/a ;
- Resíduos orgânicos:	7.000 Mg/a;
- Porcentagem de materiais perturbadores:	30%;
- Materiais perturbadores leves:	1.500 Mg/a;
- Materiais perturbadores pesados:	500 Mg/a;
- Dias trabalhados por ano:	250 D.T./a;
- Resíduos orgânicos trabalhados por dia:	36 Mg/D.T.;

- Horas trabalhadas por dia:	8 - 9h/D.T.;
- Peso específico dos resíduos orgânicos:	0,7 Mg/m ³ ;
- Teor de resíduos secos:	25%;
- Teor de resíduos úmidos	75%;
- Parte orgânica decomponível dos resíduos secos:	70 %;
- Teor de resíduos secos na suspensão:	8%;
- Peso específico da suspensão:	Peso específico da água

Cálculo do silo de entrada

Este silo tem a função de armazenar os resíduos orgânicos à serem trabalhados durante o dia normal de trabalho.

O silo de armazenamento deve ser esvaziado totalmente após um dia de serviço e sua capacidade de armazenamento será adotada para no máximo dois dias, no caso da ocorrência de alguma emergência na usina.

Assim a capacidade do silo é:

$$(36 \text{ Mg/dia}) / (0,7 \text{ Mg/m}^3) = 51,43 \text{ m}^3/\text{dia e}$$

$$(2 \text{ dias}) \times (51,43 \text{ m}^3/\text{dia}) = 102,86 \text{ m}^3$$

Capacidade do Silo adotada: 120 m³

Cálculo da esteira transportadora do silo

Esta esteira tem a função transportar os resíduos orgânicos para o próximo processo e conseqüentemente esvaziar o silo.

Adotando um período de esvaziamento de 4 horas tem-se então:

$$(51,43 \text{ m}^3/\text{dia}) / (4 \text{ horas}/\text{dia}) = 12,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão adotada da esteira: 15 m³/h

Reservatório de dissolução

Este reservatório é o local onde é feita a dissolução dos resíduos orgânicos através do adicionamento de água processual e a conseqüente formação de uma

suspensão com 8% de resíduos secos, ou seja, método de via úmida de tratamento de resíduos orgânicos.

Cálculo do reservatório de dissolução

- Resíduos orgânicos trabalhados por dia: 36 Mg/D.T.;
- Horas trabalhadas por dia: 8 - 9h/D.T.;
- Teor de resíduos secos: 25%;
- Teor de resíduos secos na suspensão: 8%;
- Peso específico da suspensão: Peso específico da água

Assim temos:

Volume da suspensão a ser produzido por dia:

$$((36 \text{ Mg/D.T.}) \times 0,25) / 0,08 = 112,5 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

Supondo um número de seis a sete dissoluções por dia, adotaremos um reservatório de dissolução de 20 m³, vide Tabela 54, onde temos que a duração de um ciclo é de no máximo 90 min, ou seja, 9h/dia.

Cálculo do número de dissoluções em função do teor de resíduos secos

A variação dos tempos de duração de um ciclo de dissolução são dependentes tanto do teor de resíduos secos presentes nos resíduos orgânicos como também da porcentagem de substâncias perturbadoras existentes neste.

Na Tabela 50, são mostradas a duração de um ciclo correspondente ao carregamento de materiais, dissolução e retirada de substâncias perturbadoras e a retirada da suspensão formada.

TABELA 50 - Duração máxima de um ciclo de dissolução.

Etapas do ciclo	Duração (min.)	Duração (min.)
Carregamento dos resíduos orgânicos e adicionamento de água processual.	15	10
Produção da suspensão e retirada de materiais perturbadores.	55	35
Retirada da suspensão	20	15
Duração Máxima	90 min	60 min

Assim, o volume de água presente nos resíduos é

$$(0.75 \times 36 \text{ Mg/D.T.}) = 27 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

Volume de água a ser acrescido é igual ao:

Volume total da suspensão - Volume de resíduos secos da suspensão -
Volume de água pré-existente

ou seja,

$$\text{Volume de água a ser acrescido} = 112,50 - 9 - 27 = 76,50 \text{ m}^3$$

e com a realização de 06 dissoluções por dia temos:

$$(76,50 \text{ m}^3) / 6 = 12,75 \text{ m}^3$$

Além do que com a realização de seis dissoluções por dia temos na duração do ciclo uma jornada de trabalho de 6 até no máximo 9 horas/dia.

Sendo assim, o horário ideal de funcionamento da usina seria das 7:00 as 17:00, horário normal de trabalho no Brasil e com a previsão de uma hora por dia para limpeza. Em relação ao período de coleta este deveria ser das 6:00 as 15:00 horas.

O funcionamento da usina deve ser flexível em relação a atender a exigência de que todo o material descarregado no silo seja trabalhado no mesmo dia.

Teor de resíduos secos maior que 25%.

TABELA 51 - Variações de volume de suspensão em referência ao teor de resíduos secos.

Teor de resíduos secos (%)	Resíduos secos (Mg)	Volume da suspensão(m ³) (8%)	Máximo número de dissoluções	Período máximo de horas trabalhadas
40	2.800	35.000	09	9 - 13,5
35	2.450	30.625	08	8 - 12,0
30	2.100	26.250	07	7 - 10,5
25	1.750	21.875	06	6 - 9,0
20	1.400	17.500	05	5 - 7,5

Deverá ser feita uma análise dos resíduos sólidos orgânicos em relação ao teor de umidade e teor de resíduos secos para uma melhor definição do intervalo de variação dos mesmos.

Em relação ao aumento do número de horas trabalhadas, deve ser estudada a melhor opção entre horas extras e a realização de dois turnos.

Aumentar o teor de resíduos secos

TABELA 52 - Variações percentuais da concentração do teor de resíduos secos na suspensão.

R.S. %	Resíduos secos (Mg)	Volume da suspensão(6%) (m³)	Volume da suspensão(8%) (m³)	Volume da suspensão (10%) (m³)	Volume da suspensão (12%) (m³)
40	2.800	46.667	35.000	28.000	23.334
35	2.450	40.833	30.625	24.500	20.417
30	2.100	35.000	26.250	21.000	17.500
25	1.750	29.167	21.875	17.500	14.584
20	1.400	23.333	17.500	14.000	11.667

Caso a quantidade de resíduos orgânicos seja maior que o esperado ou o teor de resíduos secos maior que 25% podem ser tomadas algumas providências:

- Aumentar o número de dissoluções;
- Diminuir o tempo de cada ciclo;
- Aumentar o teor de resíduos secos de 8 para 12% na suspensão e conseqüentemente um aumento de 50% na capacidade do reator.
- Diminuir o tempo de permanência no reator.

Todas estas providências, devem ser profundamente estudadas, pois estão todas interligadas com conseqüências posteriores, como por exemplo, a capacidade da bomba em bombear uma suspensão com 12% de resíduos orgânicos ou a diminuição no tempo de permanência no reator, que pode causar problemas na qualidade final do composto.

Cálculo da bomba de sucção da suspensão

Esta bomba tem a função de conduzir a suspensão formada no reservatório de dissolução até o reservatório separador de areia.

Para este cálculo serão adotados os seguintes valores:

Tempo previsto de sucção da suspensão:	20 min (ciclo I)
	15 min (ciclo II)
Volume máximo da suspensão:	20 m ³

Assim temos:

$$(20 \text{ m}^3) / (20/60) \text{ h} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$(20 \text{ m}^3) / (15/60) \text{ h} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão da bomba adotada:	120 m ³ /h
-------------------------	-----------------------

Cálculo do reservatório separador de areia

Este se trata somente de um reservatório de passagem, tendo assim as mesmas dimensões do reservatório de dissolução.

Volume útil do reservatório separador de areia:	20 m ³
---	-------------------

Processo de fermentação

O processo de fermentação será projetado para operar com 7.000 Mg/a de resíduos orgânicos e com este será formada uma suspensão com 8 % de resíduos orgânicos, ou seja, considerando que os materiais perturbadores foram separados durante as fases de preparação tanto no reservatório de dissolução como também no reservatório separador de areia.

As características do processo de fermentação são:

- Tipo de tratamento:	via úmida
- Fases de processamento:	01 (uma)
- Temperatura de trabalho no reator:	35°C (mesofílico)
- Forma de operação:	quase contínuo
- Tipo de reator:	mistura total
- Resíduos Orgânicos:	7.000 Mg/a
- Teor de resíduos secos:	25%

- Valores adotados para os cálculos:

Da tabela 56 foram adotados os seguintes valores:

Resíduos Secos: 1.750 Mg/a

Volume da suspensão para a dissolução deste a 8%:

21.875 m³/a com 20.125 m³/a de água.

Com isto temos um valor médio de entrada de suspensão no reator de:

$$(21.875 \text{ m}^3/\text{a}) / (250 \text{ D.T.}/\text{a}) = 87,50 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

Dimensionamento do reator e agregados

Juntamente com o dimensionamento do reator é importante em paralelo a definição dos agregados para que possíveis oscilações quantitativas dos resíduos de entrada não interfiram na qualidade final do composto.

Isto se deve a que variações do tempo de permanência da suspensão no reator não causem problemas na fase de maturação e na formação do composto propriamente dito.

O tempo de permanência dos resíduos orgânicos no reator de fermentação pode variar de 12 a 25 dias conforme já foi visto no Capítulo 3.

Na Tabela 53, faz-se um estudo das variações de volume do reator de metano em relação ao tempo de permanência para uma suspensão com 8% de resíduos secos.

TABELA 53 - Variações do volume do reator de metano em relação ao tempo de permanência para uma suspensão com 8% de resíduos secos.

Resíduos secos %	Volume da suspensão (8%) (m ³)	Volume do reator de metano em relação ao período de permanência da suspensão de 8% de resíduos secos				
		12 dias	14 dias	16 dias	20 dias	25 dias
40	35.000	1.700	1.900	2.200	2.600	3.200
35	30.625	1.500	1.700	1.900	2.300	2.900
30	26.250	1.300	1.500	1.700	2.000	2.500
25	21.875	1.100	1.300	1.400	1.700	2.100
20	17.500	1.000	1.100	1.200	1.400	1.700

Exemplificação de cálculo do volume do reator de metano:

Para a exemplificar serão adotados os seguintes valores:

- Teor de resíduos secos na suspensão do reator: 8 %
- Teor de resíduos secos no material de entrada: 25 %
- Período de permanência: 16 dias
- Volume da suspensão a 8% : 21.875 m³

Assim temos que:

$$21.875 \text{ m}^3 / (365/16) = 960 \text{ m}^3$$

- Volume adotado: 1.200 m³
- Volume adotado para o biogás: 200 m³
- Volume total: 1.400 m³

Cálculo do trocador de calor do reator e da bomba de recirculação

É recomendado pelos fabricantes de reatores que até 30% do conteúdo da suspensão do reator seja recirculada com o seu reaquecimento para se manter a temperatura desejada.

Vazão da bomba de recirculação:

- Volume de suspensão: 960 m³
- Taxa de recirculação: 30%
- Período de funcionamento: 24 horas

$$(960 \text{ m}^3 / \text{D.T.}) \times 30\% = 288 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

$$288 / 24 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bomba escolhida: 3 - 15 m³/h

Como mostrado no Capítulo 3, os microorganismos não devem sofrer grandes variações de temperatura, pois a desidratação tem um efeito letal sobre eles e a solicitação é que a variação de temperatura da suspensão seja no máximo de 3^oK.

Cálculo da potência do trocador de calor:

A potência de um trocador de calor é dada por:

$$\text{Potência (kW)} = (m \text{ (kg)} \times \Delta T \text{ (}^{\circ}\text{K)} \times c \text{ (kJ/kg} \times ^{\circ}\text{K)}) / 3600\text{s}$$

m = massa de circulação, adotada aqui como a máxima vazão da bomba

ΔT = variação de temperatura : 3°K

c = calor específico : $4,19 \text{ kJ/kg} \times ^{\circ}\text{K}$, adotado o valor da água devido à suspensão ter somente 8% de resíduos secos.

Assim temos para a vazão máxima:

$$P \text{ (kW)} = (15.000 \times 3 \times 4,19) / 3600$$

$$P \text{ (kW)} = 52 \text{ kW}$$

Potência adotada para o trocador de calor: 70 kW

Cálculo da vazão da bomba de entrada de suspensão no reator:

Será escolhida a mesma bomba de sucção usada para transportar a suspensão do tanque de dissolução ao tanque separador de areia.

Bomba adotada: 120 m³/h

Cálculo da vazão da bomba de saída do reator:

Para a retirada da suspensão fermentada do reator será utilizada uma bomba excêntrica . No reator realiza-se a decomposição das substâncias orgânicas em biogás, por isto ocorre uma diminuição do teor de resíduos secos na suspensão fermentada.

Cálculo do teor de resíduos secos na suspensão fermentada.

De acordo com o Capítulo 3, o grau de decomposição das substâncias orgânicas está em torno de 40 a 60%, sendo assim na Tabela 48, é feito um estudo do novo teor de resíduos sólidos da suspensão fermentada.

A Tabela 54, foi montada considerando o valor de 1750 Mg de resíduos secos e um conteúdo neste de 70% de substâncias orgânicas.

Cálculo do novo teor de resíduos secos na suspensão fermentada:

Adotando:

- Grau de decomposição: 45%
- Volume de resíduos secos : 1750 Mg /a
- Teor de substâncias orgânicas: 70 %

TABELA 54 - Análise do novo teor de resíduos secos da suspensão fermentada em relação a diferentes graus de decomposição.

Grau de decomposição %	Substâncias orgânicas decompostas (Mg/a)	Novo volume de resíduos secos (Mg/a)	Volume de redução de água (m³)	Novo volume da suspensão fermentada (m³)	Novo teor de resíduos secos %
40	450	1.300	225	21.200	6,13
45	552	1.198	276	21.047	5,69
50	612	1.138	306	20.957	5,43
55	674	1.076	337	20.864	5,16
60	735	1.015	368	20.772	4,89

Temos:

Volume de substâncias orgânicas nos resíduos sólidos:

$$1750 \text{ (Mg/a) R.S.} \times 0.7 = 1.225 \text{ Mg/a}$$

Volume de substâncias orgânicas decompostas

$$1.225 \times 0.45 = 552 \text{ Mg/a}$$

O novo valor de resíduos secos no reator é:

$$1.225 - 552 = 1.198 \text{ Mg/a}$$

O volume de água da suspensão era de 20.125 Mg/a, sendo que, do processo de fermentação de substâncias orgânicas e a produção de biogás não ocorre uma adição de água e sim uma redução de água.

Este valor de redução de água em resíduos sólidos devido aos diferentes materiais de entrada, não possui uma pré-definição sendo que, os valores encontrados referem-se a lodos de esgotos, adotaremos o valor de 0,50 kg de água por kg de substâncias orgânicas decompostas, desta forma temos:

$$552 \text{ Mg/a} \times 0.50 = 276 \text{ Mg/a}$$

Vale aqui ressaltar que para o projeto da usina de Karlsruhe esta redução do volume de água não foi considerada.

O novo volume de água é $20.125 - 276 = 19849 \text{ Mg/a}$.

Temos então que o novo volume da suspensão fermentada é :

$$19.849 \text{ Mg/a (água)} + 1.198 \text{ Mg/a (R.S.)} = 21.047 \text{ Mg/a}$$

E o novo teor de resíduos secos é:

$$1.198 / 21.047 = 5,70 \%$$

Cálculo da bomba de sucção de suspensão do reator para a centrífuga

Adotando que:

- Dias trabalhados no ano: 250 dias;
- Horas trabalhadas por dia: 8 horas;
- Peso específico da suspensão fermentada: 1Mg/m³ igual a da água

Assim temos que a vazão da bomba é:

$$21.047 \text{ m}^3 / (250 \times 8) = 10,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão da bomba adotada: 3 - 15 m³/h

Pós-tratamento

A suspensão fermentada é levada agora a um processo de drenagem, através de uma centrifugação, mantendo-se ainda uma porcentagem de 30 a 50% de resíduos secos.

O objetivo da drenagem é exatamente facilitar a seqüência do processo na fase de higienização e da compostagem aeróbica, sendo que valores acima ou abaixo deste intervalo costumam inibir a seqüência do processo (Landesanstalt für Umweltschutz, 1994). Além disso, nesta etapa de drenagem ocorre também uma separação de substâncias perturbadoras na produção final do composto.

Solicitações do sistema de drenagem:

- Teor de resíduos secos nos restos de fermentação 35 %
drenados:
- Teor de resíduos secos no líquido drenado e 0,5 a 1,0 %
separado:

Adicionamento de um meio auxiliar de floculação

Funcionamento do agregado de drenagem durante o horário normal de trabalho.

Agregado:

Centrífuga

Cálculo do agregado de drenagem

A capacidade da centrífuga deve ser a mesma da bomba de retirada de suspensão do reator:

Vazão máxima:	15 m ³ /h
Outros dados importantes no projeto da uma usina:	
- Vazão anual:	21.047 m ³ /a;
- Restos de fermentação drenados:	3.423 Mg/a;
- Teor de resíduos secos:	35 %;
- Resíduos secos:	1198 Mg/a;
- Peso específico:	0,65 Mg/m ³ ;
- Volume:	5.266 m ³ /a;
- Líquido separado (drenado):	17.624 Mg/a;
- Teor de resíduos secos:	< 0,15 %.

O líquido separado ou drenado será utilizado como água processual. Enquanto que os restos de fermentação devem ser levados através de uma correia transportadora até um silo de armazenamento deste material.

Cálculo da vazão da correia transportadora.

Volume dos restos de fermentação: 5.266 m³

Assim temos.

$$5.266 \text{ m}^3 / (250 \text{ D.T.} \times 8 \text{ h}) = 2,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão adotada: 5 m³/h

O líquido separado deve ser conduzido ao reservatório de água do processo.

Cálculo do reservatório de água do processo

O líquido separado na fase de centrifugação será armazenado no reservatório de água do processo, e novamente utilizado na etapa de preparação e homogeneização da suspensão de resíduos orgânicos.

Cálculo do excedente de água do processo.

Considerando que o teor de resíduos secos é de 25% nos resíduos orgânicos temos:

- Resíduos orgânicos:	7.000 Mg/a;
- Resíduos secos:	1.750 Mg/a;
- Água (A.R.O) :	5.250 Mg/a;
(água contida nos resíduos orgânicos)	
- Suspensão (8%) (A.S.):	20.125 Mg/a;
(água necessária para a dissolução dos resíduos orgânicos)	
- Líquido separado (L.S.):	17.624 Mg/a.

Excedente de água: L.S + A.R.O. - A.S.

$$17.624 \text{ Mg/a} + 5.250 \text{ Mg/a} - 20.125 \text{ Mg/a} = 2.749 \text{ Mg/a} = 2.749 \text{ m}^3/\text{a}$$

Volume:

$$(2.749 \text{ m}^3/\text{a}) / 52 \text{ semanas} = 53 \text{ m}^3 \text{ por semana}$$

$$\text{Reservatório para acumulação de 2 semanas: } 120 \text{ m}^3$$

Cálculo da estação de dosagem de produtos auxiliares na floculação

Através de um produto auxiliar de floculação é possível melhorar a eficiência do processo de centrifugação.

O produto deve ser jateado sobre a suspensão na centrífuga e de acordo com a orientação da B.A.S.F., na Alemanha, a vazão máxima com o objetivo de obter esta eficiência de centrifugação é necessária uma vazão do agente auxiliar de floculação igual a 0,75 l/h.

Cálculo da vazão da bomba do líquido separado

Esta bomba tem a função de conduzir o líquido drenado até o reservatório de água do processo, tendo como premissa o seu funcionamento vinculado aos dias e horários normais de trabalho.



Líquido separado com 0,15 % de resíduos secos: 17.624 m³/a

Com isto temos:

$$(17.624 \text{ m}^3/\text{a}) / (250 \text{ D.T.} \times 8 \text{ h}) = 8,81 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão da bomba adotada: 12 m³/h

Cálculo da vazão da bomba do excedente de água e da água substituída no processo.

Esta bomba tem a função de conduzir tanto o excedente de água assim como a água substituída durante o processo até a rede pública de afastamento de esgotos sanitários.

Para o cálculo desta bomba deve ser considerada além do excedente de água do processo, também uma cota de até no máximo 30% referente a uma substituição da água em recirculação devido a concentração excessiva nesta de substâncias prejudiciais ao composto; sendo assim esta deve sempre sofrer análises dos seus parâmetros físicos químicos para a definição da real necessidade de substituição.

Adotando uma necessidade de substituição de 25% temos:

Líquido separado:

17.624 m³/a com 0,15% de resíduos secos

Excedente de água: 2.749 m³/a

Água do processo em recirculação:

$$17.624 \text{ m}^3/\text{a} - 2.749 \text{ m}^3/\text{a} = 14.875 \text{ m}^3/\text{a}$$

Água a ser substituída:

$$14.875 \text{ m}^3/\text{a} \times 0.25 = 3.719 \text{ m}^3/\text{a}$$

Excedente total de água (esgoto):

$$2749 \text{ m}^3/\text{a} + 3719 \text{ m}^3/\text{a} = 6.468 \text{ m}^3/\text{a}$$

Vazão diária:

$$(6.468 \text{ m}^3/\text{a}) / (250 \text{ D.T./a}) = 25,87 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

O bombeamento do esgoto deve ser feito durante 2 horas no expediente normal de trabalho, desta forma temos:

$$(25,87 \text{ m}^3/\text{D.T.}) / 2\text{h} = 12,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão da Bomba adotada: 10 - 15 m³/h

Cálculo da vazão da bomba do reservatório de água do processo.

Esta bomba tem a função de conduzir a água do reservatório de água do processo até o reservatório de dissolução.

Esta água será utilizada para a dissolução dos resíduos orgânicos e conseqüentemente a formação de uma suspensão com 8% de resíduos secos.

Da Tabela 54, temos as etapas de um ciclo completo e a etapa de adição de adição de água para a dissolução é:

- Teor de resíduos sólidos:	25%;
- Tempo total de adição:	15 min;
- Total de água adicionado:	12,75 m ³ ;
- Número de dissoluções :	06 / dia.

Assim temos:

$$(12,75 \text{ m}^3/\text{h}) / (15 \text{ min} / 60 \text{ min}) = 51 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Vazão da bomba adotada: 100 - 120 m³/h

Cálculo da vazão da bomba de água potável e volume de reservação necessário

Esta água deve ser utilizada tanto nos processos de limpeza dos agregados bem como na substituição da água do processo, quando estiver com excesso de substâncias prejudiciais.

No Brasil é muito interessante a utilização da água de chuva como água processual, pois em determinadas regiões com alto índice pluviométrico, pode esta substituir totalmente a água potável e sendo somente necessário para isto o direcionamento de calhas e tubulações de águas pluviais para o reservatório de acumulação.

Volume de água a ser substituída: 3.719 m³/a

Assim temos:

$$(3.719 \text{ m}^3/\text{a}) / (52 \text{ s/a}) = 71,5 \text{ m}^3$$

Reservatório de reservação adotado: 100 m³

O objetivo deste reservatório é que se tenha um reserva no caso de algum problema de interrupção no abastecimento de água, sendo que a utilização desta água limpa é de importância fundamental nos processos de limpeza dos agregados como mostrado no Capítulo 7.

O período de funcionamento adotado da bomba de substituição da água processual é de 4 horas.

Assim temos:

$$(3.719 \text{ m}^3/\text{a}) / (250 \text{ D.T.} \times 4 \text{ h}) = 3,71 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão da bomba adotada: 5 m³/h

Compostagem aeróbica dos restos de fermentação

Este sistema, baseado nos nossos estudos tem como principais objetivos:

- Decomposição aeróbica dos restos de fermentação e um conseqüente aumento do grau de decomposição para os níveis II ou III;
- Higienização dos restos de fermentação;
- Desumidificação dos restos de fermentação;
- Possivelmente uma compostagem aeróbica de materiais proveniente de podas de árvores, podas (ricas em lignina), ou seja, uma possível "Instalação Combinada".

Para uma melhor seqüência no processo de decomposição aeróbica dos restos de fermentação, ou seja, a criação de vazios e uma conseqüente melhora da oxigenação destes, após a drenagem os restos de fermentação devem ser misturados com materiais estruturais.

O ideal é adicionar de 5 a 10% de material estrutural com as seguintes características:

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| - Teor de umidade: | ca. 30 %; |
| - Peso específico: | 0,2 Mg/m ³ ; |
| - Dimensões: | máximo 50 - 60 mm. |

Este material estrutural deve ser armazenado em silo ou pátio próximo a usina para a sua utilização.

A necessidade de material estrutural pode ser calculada como:

- Restos de fermentação drenados: 3.423 Mg/a;
- Acréscimo de 10% (em peso) : 342 Mg/a.

Assim temos:

$$(342 \text{ Mg/a}) / (0,2 \text{ Mg/m}^3) = 1.710 \text{ m}^3/\text{a}$$

Volume do material estrutural: 1.710 m³/a

Volume por dia de trabalho:

$$(1710 \text{ m}^3/\text{a}) / (250 \text{ D.T./a}) = 6,84 \text{ m}^3/\text{D.T.}$$

Compostagem aeróbica

A compostagem aeróbica normalmente é feita em uma câmara com capacidade de 60 m³.

O tempo de duração deste processo será de 192 horas (8 dias) sendo dividido em quatro principais fases:

- Fase I: Troca dos microorganismos anaeróbicos por aeróbicos e início de oxigenação do processo;
- Fase II: Compostagem aeróbica;
- Fase III: Higienização;
- Fase IV: Desumidificação.

Os parâmetros destas fases têm os valores mostrados na Tabela 55, valores estes obtidos através de testes e ensaios obtidos na usina de Karlsruhe.

Assim temos:

TABELA 55 - Parâmetros de operação da câmara de decomposição, após os testes experimentais.

Câmara de decomposição inicial	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Câmara de decomposição final
I - II	T = 45°C t = 12 h Ø = 2,0 %	T = 45°C t = 72 h Ø = 3,0 %	T = 60°C t = 72 h Ø = 5,0 %	T = 35°C t = 36 h Ø = 0,25 %	II - III

Onde:

- T = Temperatura
 t = Tempo de duração da fase
 $\varnothing$ = Concentração máxima de CO₂ interna na câmara

Cálculo do funcionamento da câmara de decomposição

O material de entrada na câmara de decomposição é composto de uma mistura dos restos de fermentação drenados e o material estrutural, sendo assim temos:

- Restos de fermentação drenados: 3.423 Mg/a;
- Teor de resíduos secos: 35 %;
- Resíduos secos: 1198 Mg/a;
- Peso específico: 0,65 Mg/m³;
- Volume dos resíduos secos: 5.266 m³/a;
- Material estrutural: 342 Mg/a;
- Teor de umidade: ca. 30 %;
- Peso específico: 0,2 Mg/m³;
- Volume do material estrutural: 1.710 m³/a.

Volume a ser trabalhado na câmara de decomposição

$$(5.266 \text{ m}^3/\text{a}) + (1.710 \text{ m}^3/\text{a}) = 6.976 \text{ m}^3/\text{a}$$

onde o volume produzido por dia é:

$$(6.976 \text{ m}^3 / \text{a}) / (250 \text{ D.T./a}) = 27,90 \text{ m}^3 / \text{D.T.}$$

A câmara de decomposição deve ser um sistema de operação automático e com funcionamento diário, o volume trabalhado é:

$$(6.976 \text{ m}^3 / \text{a}) / (365 \text{ d./a}) = 19,11 \text{ m}^3/\text{d}$$

Existe ainda a necessidade de acrescentar neste tempo de duração do processo o tempo de processamento do material, ou seja, mistura, esvaziamento e enchimento da câmara de decomposição; estes tempos podem ser definidos como:

Tempo de esvaziamento e limpeza da câmara de 12 horas;
 decomposição:

Tempo de preparação da mistura e preenchimento 12 horas.

da câmara de decomposição:

Sendo assim, o tempo completo do ciclo é de 216 horas (9 dias) e durante o ano podem ser executados:

$$(365 \text{ d/a}) / (9 \text{ d/ciclo}) = 40 \text{ ciclos}$$

E com capacidade de processamento de :

$$(40 \text{ ciclos}) \times (60 \text{ m}^3/\text{câmara de decomposição}) = 2.400 \text{ m}^3/\text{câmara}$$

Sendo necessário 03 câmaras de decomposição para o processamento e 6.976 m³/a referente a mistura formada pela composição dos restos de fermentação drenados com o material estrutural.

$$2.400 \text{ m}^3/\text{câmara de decomposição} \times 03 \text{ câmaras de decomposição} \\ = 7.200 \text{ m}^3/\text{a} > 6.976 \text{ m}^3/\text{a}$$

Maturação dos restos de fermentação e a formação do composto final

Após a realização das 4 fases de decomposição dos restos de fermentação, troca dos microorganismos anaeróbicos por aeróbicos e início de oxigenação do processo, compostagem aeróbica, higienização e desumidificação, ou seja, um ciclo completo de processamento, este deve ser conduzido a uma área coberta para a fase final, conhecida como fase de maturação.

Cálculo do volume de material a ser maturado.

Na câmara de decomposição, por especificações do fabricante, ocorre uma perda de massa de aproximadamente 20 a 25% e assim temos:

- Volume na câmara de decomposição:	6.976 m ³ /a;
- Perda de massa adotada:	25 %;
- Restos de fermentação drenados:	3.423 Mg/a;
- Material estrutural:	342 Mg/a;

Massa total do sistema:

$$(3.423 \text{ Mg/a}) + (342 \text{ Mg/a}) = 3.765 \text{ Mg/a}$$

$$(3.765 \text{ Mg/a}) \times 0,75 = 2.824 \text{ Mg/a}$$

Pré-composto:

$$(2.824 \text{ Mg/a}) \times 0.90 = 2.542 \text{ Mg/a};$$

Material estrutural:

$$(2.824 \text{ Mg/a}) \times 0.10 = 282 \text{ Mg/a}$$

A duração da fase de maturação é de cerca de 3 semanas, quando o pré-composto está com grau de decomposição II ou III, necessitando assim durante o ano de:

Peso específico da mistura: $0,55 \text{ Mg/m}^3$ (medido na usina de Karlsruhe)

$$(2.824 \text{ Mg/a}) / (0,55 \text{ Mg/m}^3) = 5.135 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$(5.135 \text{ m}^3/\text{a}) \times (52 \text{ sem} / 3) = 296 \text{ m}^3$$

Dimensionamento da área necessária para a fase de maturação

O composto pode ser colocado em leiras de 6m de base x 3m de altura tendo assim volume de :

$$\text{Volume: } (6 \times 3) / 2 = 9 \text{ m}^3/\text{m}$$

Adotando um galpão de 10 mts de comprimento temos:

$$(9 \text{ m}^3/\text{m}) \times (10) = 90 \text{ m}^3 \text{ e com isto:}$$

$$(296 \text{ m}^3) / (90 \text{ m}^3) = 3,29 \text{ ou seja 4 áreas cobertas,}$$

ou seja um galpão com 400 m^2 .

Cálculo do biogás produzido

Do Capítulo 3, tem, como via de regra, que a produção de biogás é de $100 \text{ Nm}^3/\text{Mg}$ em relação ao material de entrada, com um possível ganho de energia de até 6 kWh/m^3 de biogás.

A partir dos valores coletados na usina de Karlsruhe temos uma produção média de biogás de $99,37 \text{ Nm}^3/\text{Mg}$ em relação aos resíduos orgânicos totais e $116,09 \text{ Nm}^3/\text{Mg}$ em relação aos resíduos orgânicos livres de substâncias perturbadoras.

Como os valores da usina de Karlsruhe estão bem coerentes, quando comparados com outras usinas e desta forma adotaremos como uma produção média $90 \text{ Nm}^3/\text{Mg}$ em relação aos resíduos orgânicos livres de substâncias perturbadoras.

Assim temos:

Resíduos orgânicos separados de materiais 7.000 Mg/a

perturbadores:

Produção de biogás: 90 Nm³/Mg

Produção total de biogás:

$(7.000 \text{ Mg/a}) \times (90 \text{ Nm}^3/\text{Mg}) = 630.000 \text{ Nm}^3/\text{a}$ ou ca. de 70 m³/h

Aproveitamento da energia elétrica

Na Tabela 56, é mostrada uma forma de aproveitamento da produção de biogás através de um sistema de produção de energia elétrica e térmica para a produção de energia elétrica em relação ao consumo de energia da usina de Karlsruhe. Este sistema de aproveitamento, como mostrado no Capítulo 4, é um dos sistemas mais eficientes de aproveitamento de energia elétrica.

Como pode ser visto o balanço de energia em uma usina de compostagem por fermentação, no Capítulo 3, é sempre positivo podendo inclusive ter parte da energia vendida ou aproveitada de outra forma.

TABELA 56 – Balanço da produção de biogás e energia elétrica.

Resíduos orgânicos totais: 9.000 Mg/a	
Resíduos orgânicos: 7.000 Mg/a	
Produção de biogás: 90 m³/Mg resíduos orgânicos	
Ganho de energia: 6 kWh/Nm³ com um biogás de 65% de CH₄	
Consumo de energia elétrica da usina compostagem de Karlsruhe: 97,19 kWh/Mg	
Ganho de energia	
Produção estimada de biogás	630.000 Nm ³ /a
Produção total de energia	3.780.000 kWh/a
Balanço de energia	
Produção estimada de energia elétrica (33%) 1.247.400 kWh/a	Consumo de energia utilizada para o tratamento : 874.710 kWh/a
Energia excedente: 372.690 kWh (30 %)	
Valor de venda: R\$ 0,15/kWh	
Valor total arrecadado: R\$ 55.903,00	

Cálculo da área estimada da usina

A área necessária de uma usina de compostagem é determinada pelo tipo de instalação de compostagem, o grau de mecanização do tratamento, o pós-tratamento e o período necessário a maturação.

O cálculo da área estimada para a construção da usina de compostagem por fermentação será feito com referência ao Capítulo 3.

A oscilação entre determinadas regiões deve-se em parte não a procedimentos específicos, contudo à avaliação de características de concepção.

Em geral, em todos os métodos empregados existe a possibilidade de aumento da capacidade de tratamento sem a necessidade de grande aumento de área, na realidade ocorre diminuição da relação m^2 de superfície/tonelada de entrada.

Normalmente este fato se deve à possibilidade da utilização de várias áreas em comum e a conseqüente redução desta, como alguns exemplos podem citar as áreas de entrada da instalação, da pesagem e áreas de trânsito, que independem da quantidade do material de entrada.

Isto é válido tanto para uma usina de compostagem por fermentação como para uma instalação aeróbica inclusive com a área de maturação.

Os valores específicos médios de necessidade de área, inclusive para a preparação do material de entrada, oscilam de acordo com quantidade anual de material de entrada de acordo valores mostrados na Tabela 57, incluindo o encerramento do processo com a compostagem aeróbica.

TABELA 57 - Relação da capacidade de tratamento de usina pela área necessária a sua construção (m^2)

Capacidade de tratamento (Mg/a)	m^2 /Mg de material de entrada
5.000	0,59
10.000	0,45
20.000	0,35

Através da regressão quadrática temos que para uma usina de compostagem por fermentação com capacidade de tratamento de 9.000 Mg/a de material de entrada a necessidade de 0,4732 m^2 /Mg e assim.

$$(0,4732 \text{ m}^2/\text{Mg}) \times (9.000\text{Mg/a}) = 4.260 \text{ m}^2$$

aproximadamente um terreno de 100 x 45m.

Resultados finais da usina de compostagem anaeróbica para Guaratinguetá.

Na Tabela 58, é feita a quantificação final da usina de compostagem por fermentação anaeróbica para a cidade de Guaratinguetá.

TABELA 58 – Valores finais do projeto da usina de fermentação anaeróbica de Guaratinguetá

USINA DE COMPOSTAGEM POR FERMENTAÇÃO - GUARATINGUETÁ	
Tipo de material a ser tratado:	Resíduos orgânicos
Processo biológico:	Anaeróbico Temperatura: mesofílico Tratamento: via úmida Etapas de fermentação: uma fase
Forma de operação:	Quase contínuo
Capacidade de entrada de material:	9.000 Mg/a (com 30% materiais perturbadores)
Capacidade de tratamento por fermentação:	7.000 Mg/a resíduos orgânicos
Característica especial:	Separação automática de materiais perturbadores
Capacidade de separação de materiais perturbadores:	2000 Mg/a 1.500 Mg/a materiais perturbadores leves 500 Mg/a matérias perturbadores pesados
Teor de resíduos secos nos resíduos orgânicos:	25 %
Teor de substâncias orgânicas nos resíduos secos	70 %
Produção de restos de fermentação:	3.423 Mg/a
Necessidade de material estrutural:	342 Mg/a
Produção de pré-composto após a compostagem aeróbica:	2542 Mg/a
Produção de biogás:	630.000 Nm ³ /a
Excedente de água:	2.749 m ³ /a
Necessidade de água a ser substituída (consumo):	3.719 m ³ /a
Esgoto total a ser tratado:	6.468 m ³ /a
Total de dias trabalhados:	250 dias/a
Área construída inclusive compostagem aeróbica:	100 x 45m

6.6.2. Estimativa de custos da usina projetada

Os custos totais de um projeto são compostos dos custos de investimentos e dos custos operacionais, sendo estes um importante critério de decisão para a construção ou não de uma nova instalação.

No Brasil as várias instalações de compostagem existentes estão fora de operação ou operando precariamente. De todas as instalações, somente duas, que operam através do sistema DANO, possuem um custo operacional estimado, ano base 1992 (Wehenpohl & Pfaff-Simoneit, 1993), a de Belo Horizonte/Minas Gerais com R\$ 60,00/Mg de material de entrada e de Brasília/Distrito Federal com R\$ 98,00/Mg de material de entrada. Sendo assim, pela falta de experiência ou experiências mal sucedidas na área de compostagem os custos de investimento e de operação foram calculados com bases em dados de literatura alemã e com uma correção a custos brasileiros.

6.6.3. Custos de investimentos

No Capítulo 3, existe uma referência aos custos específicos de investimentos baseados em diferentes instalações padrão conforme pesquisa feita entre os construtores de usinas de fermentação.

Custos adicionais, para compra de área, infraestrutura, planejamento e juros de construção não foram considerados. Uma comparação dos custos singulares de investimentos são mostrados de maneira simples, evitando-se condições de contorno muito diferentes entre as instalações.

Na Tabela 59, são mostrados os custos específicos de investimentos para uma usina de compostagem (inclusive com o encerramento com uma compostagem aeróbica do composto) em dependência da capacidade de tratamento da usina.

TABELA 59 - Custos específicos de investimentos de uma usina de fermentação anaeróbica.

Capacidade da usina (ton/a)	Custos de investimentos (R\$/ton)	Valor médio (R\$/ton)
5.000	900 a 1.800	1.250
10.000	650 a 1.250	1.010
20.000	495 a 1.100	800

A partir da Tabela 59, adotaremos para a usina de compostagem por fermentação projetada, com uma capacidade de tratamento de 9.000 Mg/a de material de entrada, um custo médio de investimentos por tonelada de material de entrada no valor de R\$1.100/Mg.

Estes valores, no Brasil, devido aos aspectos construtivos como, por exemplo, sistema de isolamento, custo de mão de obra e material, pode ser corrigido em até um fator de 0,60.

Com estes valores será feita uma estimativa de custos de investimentos por habitante e por imóvel para a cidade de Guaratinguetá :

- Capacidade da usina:	9.000 Mg/a;
- População da cidade:	98.000 habitantes;
- Número de imóveis:	27.500 imóveis.

Custos de investimentos na Alemanha:

- Custo médio:	R\$ 1.100,00/Mg
- Custo total :	R\$ 9.900.000/a
- Custo por habitante:	R\$ 101,02/hab x a
- Custo por imóvel :	R\$ 360,00/imóvel x a
- Custo mensal por imóvel:	R\$ 30,00/imóvel x mês

Custos de investimentos corrigidos para o Brasil:

- Custo médio corrigido:	R\$ 660,00/Mg
- Custo total :	R\$ 5.940.000/a
- Custo por habitante:	R\$ 60,61/hab x a
- Custo por imóvel :	R\$ 216,00/imóvel x a
- Custo mensal por imóvel:	R\$ 18,00/imóvel x mês

Custos operacionais:

Nos custos operacionais devem ser estimados anualmente todos os valores que foram necessários para o funcionamento da instalação especialmente:

- Custos de pessoal;
- Manutenção e reparos da instalação e equipamentos;
- Seguros;
- Custos diretos de energia, água, assim como a coleta, afastamento e tratamento do chorume e outros resíduos;

Adicionalmente a estes custos devem ser considerados os custos de depreciação anual do sistema e os juros do capital investido.

Para uma comparação monetária dos valores de uma usina de compostagem devem ser tomados em consideração também o tempo de amortização do financiamento. A variação destes valores em relação ao tempo de amortização situa-se de acordo com dados dos fabricantes para a parte civil em um período de 10 a 25 anos (em média 21 anos) e a parte de máquinas e equipamentos entre 7 a 15 anos (em média 11 anos).

Na Tabela 60 são mostrados os custos específicos de operação em relação à capacidade de tratamento da instalação de acordo com uma pesquisa feita entre os fabricantes. Aqui pode se considerar que os dados se referem a uma instalação padrão e dados para condições específicas de operação podem divergir destes valores.

Os custos específicos de operação diminuem com o aumento da capacidade de tratamento da instalação, isto porque os componentes periféricos como região de acesso, balança, sistema de preparação, técnicas de direcionamento e centrifugação podem ser mais bem utilizadas.

TABELA 60 - Custos específicos operacionais de uma usina de fermentação anaeróbica.

Capacidade da usina (ton/a)	Custos operacionais (RS/ton)	Valor médio (RS/ton)
5.000	180 a 270	220
10.000	150 a 250	180
20.000	100 a 200	140

A partir da Tabela 60 adotaremos para a usina de compostagem por fermentação projetada, com capacidade de tratamento de 9.000 Mg/a de material de entrada, um

custo médio operacional por tonelada de material de entrada no valor de R\$ 190,00/Mg .

Estes valores, no Brasil, devido a aspectos sociais e econômicos, como por exemplo custos de tratamento de água, tratamento de esgotos e custos de energia elétrica, podem ser corrigidos em até um fator de 0,5.

Com estes valores será feita uma estimativa de custos operacionais por habitante e por imóvel para a cidade de Guaratinguetá :

Custos operacionais na Alemanha:

- Custo médio:	R\$ 190,00/Mg;
- Custo total :	R\$ 1.710.000/a;
- Custo por habitante:	R\$ 17,45/hab x a;
- Custo por imóvel :	R\$ 62,18/imóvel x a;
- Custo mensal por imóvel:	R\$ 5,18/imóvel x mês.

Custos operacionais corrigidos para o Brasil:

- Custo médio corrigido:	R\$ 95,00/Mg;
- Custo total:	R\$ 855.000/a;
- Custo por habitante:	R\$ 8.72/hab x a
- Custo por imóvel :	R\$ 31,10/imóvel x a
- Custo mensal por imóvel:	R\$ 2,59/imóvel x mês

Na Tabela 61, é mostrado um resumo dos custos operacionais e dos custos de investimentos, estes calculados por um período de 1 ano. Os custos de coleta tem como referência dados levantados em 1992 para a cidade de Guaratinguetá (Wehenpohl & Pfaff-Simoneit, 1993).



TABELA 61 - Custos de investimentos e operacionais para coleta e tratamento de resíduos orgânicos em uma usina de fermentação anaeróbica na cidade de Guaratinguetá.

Custos estimativos médios mensais por imóvel para coleta e compostagem dos resíduos orgânicos na cidade de Guaratinguetá	
Custos de investimentos:	Custos operacionais:
na Alemanha: R\$ 30,00/imóvel x mês	na Alemanha: R\$ 5,18/imóvel x mês
no Brasil: R\$ 18,00/imóvel x mês	no Brasil: R\$ 2,59/imóvel x mês
	Coleta em Guaratinguetá: R\$ 0,99/imóvel x mês

6.6.4. Estimativa de aproveitamento do produto final e mercado

Como foi descrito no Capítulo 3, existem inúmeras aplicações do composto, ainda mais no Brasil, um país tradicionalmente agrícola e com grandes áreas agriculturáveis.

A cidade de Guaratinguetá com área de 825 km², tem uma imensa área de aplicação destes compostos orgânicos, especialmente devido ao fato de predominar no município a atividade agropecuária.

A principal utilização do composto, desde que o mesmo atinja um bom padrão de qualidade, seria nas grandes fazendas tanto em plantações e em pastos com também em horticulturas.

Outras áreas de utilização do composto no Brasil:

- Recuperação de margens de rios e lagos devastadas;
- Recuperação da mata ciliar;
- Recuperação de áreas erosivas;
- Recuperação e reflorestamento de “Lixões Desativados”;
- Recuperação e construção de áreas verdes;
- Utilização na construção de áreas de lazer e campos de futebol;
- Utilização na manutenção de áreas verdes, áreas de lazer e de campos de futebol existentes;
- Utilização para plantações em taludes em áreas de riscos;
- Utilização doméstica em jardins e pequenas áreas privadas, etc.

Custos e utilização do produto

A análise do composto será feita baseada nos valores de venda de compostos da cidade de Karlsruhe, mas que ao mesmo tempo, está compatível com níveis do Brasil.

O composto pode ser vendido de 03 formas básicas:

- Composto puro;
- Composto misturado com solo natural na proporção de 1:1 (recomendado especialmente para plantas);
- Composto misturado com areia na proporção de 1:1 (recomendado principalmente para gramados)

Na Tabela 62, são mostrados os valores praticados em Karlsruhe na venda de compostos orgânicos; os três tipos de compostos têm o mesmo preço de venda, existindo uma variação de preços de acordo com o volume comprado, como também é feita uma estimativa destes valores no Brasil.

TABELA 62 - Valores de venda de compostos orgânicos da cidade de Karlsruhe e a estimativa para a venda de compostos no Brasil.

Quantidade	Preço de venda Karlsruhe	Preço de venda Guaratinguetá
menores do que 1 m ³	sem custo	R\$ 5,00
entre 1m ³ e 2m ³	R\$ 20,00	R\$ 10,00
maiores do que 2 m ³	R\$ 40,00/m ³	R\$ 20,00

O importante aqui, não é a exploração comercial da venda do composto, mas os fatos correlatos a isto, que devem ser considerados e poderíamos citar duas principais consequências deste aproveitamento dos resíduos orgânicos como:

- A valorização e reutilização dos resíduos orgânicos e a não contaminação do meio ambiente;
- A não disposição no aterro sanitário.

7. CONCLUSÕES

É impossível continuar no Brasil a coleta e disposição dos resíduos sólidos de forma inadequada comprometendo a saúde pública e o meio ambiente. Medidas urgentes devem ser tomadas, antes que o comprometimento do meio ambiente se torne irreversível. Assim, os municípios brasileiros devem revisar urgentemente o seu sistema atual em relação aos resíduos sólidos.

Desta forma a implantação da coleta seletiva, o reaproveitamento dos materiais recicláveis e uma compostagem orgânica representam para os municípios brasileiros a estratégia mais correta de reaproveitamento dos resíduos sólidos. Este trabalho, procura apresentar um método inovativo e seguro para o tratamento dos resíduos sólidos.

O método aeróbico de tratamento de resíduos sólidos tem maior experiência de procedimentos e serviços do que para o método anaeróbico.

Isto se deve principalmente devido ao número de instalações existentes e o próprio tempo de funcionamentos destas. O processo de fermentação anaeróbico é muito utilizado em estações de tratamento de esgotos para a fermentação de lodo de esgotos.

Usinas de fermentação anaeróbica tem a grande vantagem de estarem aptas a receberem os mais variados espectros de materiais de entrada, com exceção de resíduos orgânicos ricos em lignina.

Este tipo de instalação tem grande afinidade com resíduos orgânicos de áreas comerciais e industriais como restaurantes e indústrias de produtos alimentícios; sua importância está exatamente no fato que estes tipos de resíduos são considerados problemáticos para um tratamento aeróbico.

A duração do processo de fermentação anaeróbico, estando inclusive a compostagem aeróbica final, é, ainda assim, somente a metade do tempo necessário para o tratamento completo dos resíduos orgânicos somente pelo método aeróbico.

A decomposição das substâncias orgânicas através da fermentação é em torno de 40 a 60 % e pode, em alguns casos, chegar a 70%. Normalmente através de compostagem a aeróbica decomposição da matéria orgânica atinge no máximo 50%.

Uma importante observação a ser feita é que, após a conclusão das obras de uma usina de fermentação anaeróbica, são necessários ainda aproximadamente seis meses para o completo funcionamento da mesma, devido a todo o processo bacteriológico compreendido; em uma instalação de compostagem aeróbica, o funcionamento pode ser iniciado de imediato, após sua conclusão.

A quantidade de composto produzido pelo processo de fermentação anaeróbico é um pouco menor quando comparado ao método de compostagem aeróbica. Isto pode ser uma vantagem ou uma desvantagem que deve ser analisada de acordo com cada região.

Em relação ao aspecto de qualidade do composto ambos os métodos devem ter os mesmos princípios.

Os estudos mostrados nos capítulos anteriores sobre os sub-produtos gerados pela usina de fermentação anaeróbica ainda não são conclusivos, devido aos poucos valores documentados até o momento; mas mesmo assim servem como uma primeira referência para estudos futuros.

Pelo processo de fermentação anaeróbica é produzido o biogás, resultante da decomposição dos materiais de entrada, o qual pode ser transformado em energia elétrica ou energia térmica conforme a necessidade.

Normalmente retirando-se a parte necessária à usina de fermentação anaeróbica ainda se obtém um excedente de energia. Este balanço positivo de energia é um fator importante sob o ponto de vista ecológico, principalmente pela possibilidade de substituição de combustíveis fósseis.

A necessidade de área para uma usina de fermentação anaeróbica é cerca de 30 a 50% da área necessária para uma instalação de compostagem aeróbica; isto normalmente se deve aos métodos compactos de construção. Dependendo do local e da região a ser instalada este fator representa uma grande vantagem.

Nos últimos anos, os custos, devido a maiores exigências de qualidade e segurança nos processos aeróbicos e anaeróbicos cresceram muito, principalmente devido à complexidade cada vez maior para o atendimento das normas. Um exemplo é a necessidade de um maior tratamento dos gases de escape, exigindo conseqüentemente maior encapsulamento das usinas.

Sendo assim, os custos operacionais específicos de tratamento de resíduos orgânicos por compostagem anaeróbica eram, em 1991, de R\$ 100/ton de material de entrada; em 1995 estes mesmos custos atingiam a cifra R\$ 200/ton de material de entrada. Estes patamares de valores se mantêm até os dias atuais devido à concorrência entre as firmas existentes.

Em relação aos custos operacionais de uma usina de fermentação anaeróbica existe ainda variação muito grande, devido exatamente ao pequeno número de usinas em funcionamento. Devido à grande concorrência existente entre os fornecedores, espera-se que os custos permaneçam em padrões razoáveis.

Assim, as técnicas de tratamento de resíduos orgânicos por fermentação aeróbica estão ainda em fase de evolução e desenvolvimento e suas grandes vantagens, quando comparado com o processo aeróbico de tratamento são:

- Espectro maior em relação aos diferentes materiais de entrada;
- Balanço positivo de energia;
- Necessidade reduzida de área;
- Minimização das emissões;
- Boa qualidade do composto;
- Produção de menores volumes de composto;
- Menor tempo de processamento;
- Melhor layout possível da instalação;
- Segurança no trabalho e técnicas de proteção.

A escolha do local para uma usina de fermentação anaeróbica deve ter a aprovação da população. Ao contrário de uma instalação aeróbica em uma usina anaeróbica a carga de germes e gases com substâncias tóxicas é bem menor.

Tem-se ainda que devido ao encapsulamento que ocorre no processo de fermentação, o volume de gases de escape é muito reduzido.

Para a escolha do local de instalação da usina, os seguintes pontos devem ser considerados:

- Infraestrutura, interligação com as vias de acesso, redes de gás natural, se houver uma possibilidade no futuro do abastecimento do biogás nesta rede, redes de água e esgoto e redes de energia elétrica;

- Tipo ocupacional da região (industrial, comercial ou residencial);
- Dados climáticos (direção principal do vento, situação atual de substâncias nocivas já existentes na região);
- Distância com relação ao produtor comercial de resíduos, quando se objetiva um melhor material de entrada.

Por causa da viabilidade de comercialização do biogás deve-se pensar na melhor forma de fazer a mesma produção de energia elétrica ou térmica e condições de mercado existentes na região.

É interessante na escolha do local, planejar para num futuro próximo a instalação da chamada “Instalação Combinada”, tendo assim a possibilidade de se ter na mesma instalação o tratamento dos resíduos pelo processo aeróbico como também pelo processo anaeróbico. Deve-se pensar também, para a escolha do local, na proximidade de alguma instalação, já existentes, como estação de tratamento de esgotos, aterro sanitário, etc.

Finalmente, deve-se procurar trabalhar em cooperação com o corpo existente na região como indústrias e comércios, buscando assim trabalhos em conjuntos para a redução de custos.

Os motivos pré-supostos para o planejamento de uma usina de fermentação anaeróbica para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos devem estar fundamentados em uma análise atual como futura da real produção de resíduos orgânicos do município. Os princípios básicos a serem observados são:

- Análise dos resíduos sólidos domiciliares (kg/habitante);
- Cadastro dos resíduos industriais e comerciais;
- Viabilidade econômica;
- Prognose do desenvolvimento da população.

Estes são dados preliminares para uma estimativa de custos, mas que podem definir a continuidade ou não do projeto e inclusive a definição da melhor forma de tratamento e processo a ser dados aos resíduos.

Sempre se pode verificar a hipótese de conglomerar municípios de menor porte da região e construir apenas uma usina atendendo vários municípios, desde que seja

verificada a viabilidade deste empreendimento, em especial com relação a aspectos econômicos e políticos.

O funcionamento de uma usina de fermentação anaeróbica pode ser feita de várias maneiras:

- Administração pública do serviço;
- Terceirização dos serviços, através da contratação de empresas privadas

Mesmo existindo várias possibilidades, todas estas devem obedecer aos critérios definidos pela administração pública e atendendo sempre às normas técnicas de operação, segurança e qualidade.

Dados exatos para um correto planejamento devem levantados e verificados “*in loco*”. Para o cálculo dos custos devem ser observados fatores locais, às vezes presentes somente em algumas regiões, como por exemplo, áreas desvalorizadas, etc.

O tratamento de resíduos sólidos orgânicos somente tem êxito, se o composto produzido puder ser comercializado. Isto só é possível se o produto atender às exigências legais e do mercado, em termos principalmente de qualidade.

A divulgação do composto deve ser baseada na sua aceitação incondicional pelo solo, por ser um produto natural e de qualidade.

Tendo estas condições atendidas, a fermentação anaeróbica mostra uma boa perspectiva no futuro.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT, Das Integrierte abfallwirtschaftliche Konzept der Stadt Karlsruhe, Karlsruhe, 1987.

AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT, Mülldeponie Karlsruhe-Ost, Karlsruhe, 1995.

AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT, Mülldeponie Karlsruhe-West, Karlsruhe, 1995.

AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT, Vergärungsanlage für Bioabfälle der Stadt Karlsruhe, Karlsruhe, 1996.

ANS, ArbeitsKreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen.V., Heft 30, Anaerobe Bioabfallbehandlung in der Praxis, Mettmann, 1995.

ARBEITSGEMEINSCHAFT ARBI - PROBAG , Vergärung biogener Abfälle aus Haushalt, Industrie und Landschaftspflege. Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Nr. 47, Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, Bern, 1991.

BIALA J., GOTTSCHALL R., VOGTMANN H., Kompostierung und landwirtschaftliche Verwertung von BTA - Hydrolyseresten aus Bioabfall, Grundlagen und Verfahren der Anaerobtechnik, K. Wiemer, M. Kern, M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 1994.

BIDLINGMEIER W., Anlageinput und erzeugte Kompostqualität, Biologische Abfallbehandlung II, K. Wiemer, M. Kern, M.I.C. Baeza - Verlag, Witzenhausen, 1995.

BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN, Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern, Bern, 1993.

BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN, Biogas aus festen Abfällen und Industrieabwässern, Bern, 1996.



BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, fortwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 65, Bonn, 28.09.1998.

CERAJEWSKI J., Biogasaufbereitung und Nutzung, Biologische Abfallbehandlung, Karl Joachim Thomé Kozmiensky, EF Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin, 1995.

CETESB, Análise do composto produzido na usina de compostagem de São José dos Campos, S. P., 1977.

CETESB, Apostilas Ambientais, Caracterização de resíduos, São Paulo, 1997.

CORD-LANDWEHR, K., Einführung in die Abfallwirtschaft, B.G., Teubner, Stuttgart, 1994

DASCHNER F., Bewertung der hygienischen Situation von Abfallwirtschaftsanlagen in Hinblick auf luftgetragene Keime, ENTSORGA - Schriften 15, Köln, 1995.

DAS UMWELT LEXIKON, Herausgeben von Katalyse e.V., Institut für angewandte Umweltforschung, by Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln, 1993.

DATEN UND FAKTEN, Statistik und Stadtforschung von der Karlsruhe, Amt für Stadtentwicklung, , Karlsruhe, 1999.

DEUTSCHE FORCHUNGSGEMEINSCHAFT : MAK- und BAT- Werte -Liste, VCH - Verlagsgesellschaft Weinheim, 1995.

EDELMANN W., Integration der Anaerobtechnik in Gesamtkonzepte der biologische Abfallbehandlung, Biologische Abfallbehandlung II, K. Wiemer, M Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza - Verlag, Witzenhausen, 1995.

EGGER M., PFIRTER A., SCHÖTTL H., Stand und Perspektiven der Bioabfallvergärung, Biologische Abfallbehandlung II, K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza -Verlag, Witzenhausen, 1995.



FISCHER P., SCHMITZ, H. -J., POPP L., Es grünt so kühn, Entsorga - Magazin, S. 14-19, 07/1996.

FLORIAN S., WINKLER, G., Biologische Abfallentsorgung wohin? - Moderne Abfallwirtschaft oder Belastung unserer Böden? ,Handbuch zur VI Fachtagung, München, 1998.

FOLHA DE SÃO PAULO, Alemanha, Caderno especial, 11/1996.

FRANK N.N., SCAUM W.E., Organizationsformen für Public - Private - Partnership - Modelle - Die Gegebenheiten nutzen. Entsorga - Magazin, S.46, 11/1995.

GENEHMINUNGSPLANUNG, Erläuterungsbericht-Bioabfallvergärungsanlage auf der Deponie Karlsruhe-Ost, Wasser- und Abfalltechnik Ingenieurgesellschaft MBH, Karlsruhe, 09/1994.

GERALDO, V., Aterro Sanitário, seminário sobre aterro sanitário, CETESB, São Paulo, 1981.

GESETZESVERORDNUNG - IndVO - GBI, Nr.: 9, 181, 19.04.1999.

GOSCH A., Grundlagen und Anwendungsbereiche der Anaerobtechnik, Biologische Abfallbehandlung, K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), Baeza - Verlag, Witzenhausen, 1993.

GOTTSCHALL R., BIALA J., VOGTMANN H., Gartenbauliche Verwertung von kompostieren Hydrolyserest aus Bioabfall, Müll & Abfall, 12/1995.

HEIN H., SCHWEDT G., Richt- und Grenzwerte, Wasser- Boden - Abfall - Gefahrstoffe - Luft, 4. Auflage, Arbeitsmittel des Umweltmagazins, Vogel-Verlag, Würzburg, 1995.

HEINTZ A., REINHARDT, G., Chemie und Umwelt, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 1990.



HERSTELLERANGABEN, Bericht, Karlsruhe, 1996.

HOPPENHEIDT, K., MÜCKE, W., Gemeinsame Behandlung von Bioabfällen und organischen Gewerbeabfällen durch Co-Vergärung, BifA GmbH, Bayerisches Institut für Abfallforschung, BifA - Texte Nr. 11, 1999.

HÖSEL G., H.LINDNER K., Technische Vorschriften für die Abfallbeseitigung, Band 1+ 2, lose Blattsammlung, Erisch-Schmidt-Verlag, Berlin, 1995.

JAGER E., ZESCHMAR - LAHL B., RÜDEN H., Mikrobielle Belastung der Luft an verschiedenen Arbeitsbereichen in Wertstoffsartieranlagen, Müll & Abfall, 03/1995.

KAUSCH U., Leitfaden zur Einführung der Getrenntsammlung von Bioabfällen, IRC Berlin, 1990.

KAUTZ O., NELLES M., Behandlung von Überschußwasser aus der Naßfermentation von Bioabfällen, K. Thomé-Kozmiansky, Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft, EF- Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1995.

KEHRES B., Kompost und Stoffkreislauf, Verwertungspotential und Verwertung organischer Rückstände in der Landwirtschaft, Bodenschutz und Kompost. Bodenökologische Arbeitsgemeinschaft Bremen e.V. (Hrsg.), Bremen, 1994.

KERN M., MÜLLER C., WIEMER K., Vergleichende Darstellung und Bewertung von Vergärungsverfahren, Grundlagen und Verfahren der Anaerobtechnik. Abfallwirtschaft - Neues aus Forschung und Praxis K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C., Baeza Verlag, Witzenhausen, 1994.

KERN M., SPRICK W., Neure Ergebnisse zur aeroben Abfallbehandlung, Verwertung biologische Abfälle, K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza - Verlag, Witzenhausen, 1994.



KIEHL E. J., Metodologia da compostagem e ação fertilizante do composto de resíduos domiciliares, ESALQ-USP, Piracicaba, 1979.

KIEHL E.J., Matéria orgânica na agricultura, ESALQ-USP, Piracicaba, 1979.

KIEHL E.J., Análise de lixo e composto, ESALQ-USP, Piracicaba, 1980.

KOCH T.C., SEEBERGER J., PETRIK H., Ökologische Müllverwertung, 2, Auflage Müller C. F. Verlag, Karlsruhe, 1988.

KÖHLER H., Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Textausgabe mit Erläuterungen, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, 1995.

KURRLE H., Vergärung von Abfall, Studienreihe Abfall, Stuttgart, 11/1991.

LÄNDERAUSSCHUSS FÜR ARBEITSSCHUTZ UND SICHERHEITSTECHNIK, Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsörtieranlagen, Wiesbaden, 07/1995.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, Vergärung und Kompostierung von Bioabfällen - Methodenvergleich, Karlsruhe, 1994.

LEIJENDECKERS P.H.H., Vorstellung der BHKW-Richtlinie 3985 Grundsätze der Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplung mit Verbrennungskraftmaschinen. VDI-Berichte Nr. 1195, VDI-Verlag, S.85-92, 1995.

LIMA L.M.Q., Análise do lixo em Manaus, Empresa de Urbanização, URBAM, 1979.

LIMA L.M.Q., O tratamento de lixo no Brasil, 1º Simpósio paranaense sobre destinação final de resíduos sólidos urbanos, Curitiba, 1983.

LIMA, L.M.Q., Lixo - Tratamento e Biorremediação, 3º Edição Revista e Ampliada, São Paulo, 1995.



LUZ, F.X.R., Aterro Sanitário, características, limitações, tecnologia para a implantação e operação, CETESB, São Paulo, 1981.

MARQUES, A.L.P., Estudo da produção de resíduos sólidos nos bairros de Guaratinguetá, Relatório Interno, SAAEG, 1991.

MENIG H., Abgas entschwefelung und - Entstickung, Deutscher Fachschriftenverlag, Wiesbaden, 1987.

MITTEILUNGEN DER LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT LAGA, Merkblatt M10 über Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, 1995.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND MINISTERIUM FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALORDNUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, Hinweise für Arbeits- und Umweltschutz bei Abfall-/ Wertstoffsortieranlagen und Kompostierungsanlagen, Ausgabe April, Stuttgart, 1996.

MÜLLER N., Einspeisevergütung nach der neuen Verbändevereinbarung, VDI-Bereiche Nr. 1195, VDI-Verlag, S, 133-155, 1995.

NASCIMENTO, N., MARQUES, A.L.P., Análise dos Resíduos Sólidos em Guaratinguetá, Report 05/99, DME/FEG/UNESP, 11/99.

NEUMANN U., Regenerative Rauchentschwefelung nach dem Wellman-Lord-Verfahren, Chemie Technik 7, 1983.

OEHMICHEN J., Untersuchung über die Verwendung von Biokompost als Kreislaufdünger im Landbau, Müll & Abfall, 02/1995.

OETJEN-DEHNE R., KALVELAGE M., Emissionsfragen bei Vergärungsanlagen, Rhino-FachKongreß Bioabfallmanagement, Köln, 1993.

OETJEN-DEHNE R., RIES G., Behandlung und Verwertung von Anaerobkomposten, Rhino-FachKongreß Bioabfallmanagement, Köln, 1996.



O PERFIL DA ALEMANHA, Verlag, Frankfurt, 1996

PFEFFER, J.J., Anaerobic digestion, Applied Science Publishers, Londres, 1980.

PFIRTER A., SCHÖTTL H., EGGER M., Energiennutzung bei Anaerobanlagen-
Techik, Leistungsfähigkeit, Klimarelevanz, Biologische Abfallbehandlung III, K.
Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1996.

RWTÜV, Geruchsgutachten für die Biomüllvergärungsanlage auf Zentraldeponie
Münster-Coerde, 01/1995.

SCHAAF H., Düngen mit Kompost im integrierten Pflanzenbau, Ein Kosten-Nutzen-
Vergleich, Kompost für die Landwirtschaft, Rhino-Fachtagung, 1995.

SCHERER P., Verfahren der Vergärung, Biologische Abfallbehandlung, Karl
Joachim Thomé-Kozmiensky, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik,
Berlin, 1995.

SCHLEGEL H.G., Allgemeine Mikrobiologie, Thieme Verlag, Stuttgart, 1995.

STATISTISCHES JAHRBUCH DER STADT KARLSRUHE, Herausgeben vom Amt
für Stadtentwicklung, Statistik und Stadtforschung, 52.Jahrgang.1997,
Karlsruhe, 1997.

THOMÉ-KOZMIENSKY K., Qualitätsmanagement und Kompostvermarktung,
Biologische Abfallbehandlung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik,
Berlin, 1995.

TRÖSCH W., SCHMID-STAIGER U., Mechanismus des Feststoffabbaus unter
aeroben Bedingungen, Biologische Abfallbehandlung II, K. Wiemer, M. Kern
(Hrsg.), M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1995.

UMWELTBUNDESAMT, Was sie schon immer über Abfallwissen wollten ?, Auflage
Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1984.



UMWELTMINISTERIUM BADEN - WÜRTTEMBERG, Siedlungabfallaufkommen, Stuttgart, 1994.

UMWELTMINISTERIUM BADEN - WÜRTTEMBERG, Leitfaden Bioabfallkompostierung, Heft 25, Stuttgart, 1994.

UMWELTSCHUTZTECHNIK, Förstner, Hamburg, 1991.

VERANO, R., Cidade Limpa, Revista Veja, Brasil, 11/1999 edição 1622, p. 44.

VERORDNUNG DES UMWELTMINISTERIUMS, Abfallbilanz der Stadt Karlsruhe, Gemäss 7, Karlsruhe, 1998.

VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., Anlagen und Komponenten zur anaeroben Abfallbehandlung, Einheitsblatt Nr. 24435, Beuth-Verlag, Berlin, 06/1995.

VOTGMANN, H., Leistungsfähigkeit der Getrenntsammlung und Kompostierung von Bioabfällen in Abfallverminderung, S.225-269, 1992.

WEHENPOHL, GÜNTHER, PFAFF-SIMONEIT, WOLFGANG, Conceito Integrado de Resíduos Sólidos para a Região de Guaratinguetá, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Guaratinguetá, 1993.

WEISS W., Integration der Bioabfallvergärung in Energiekonzepte, Biologische Abfallbehandlung, K. Thomé- Kozmiensky, EF-Verlag, Berlin, 1995.

WIEMER, O., Stand und Perspektiven der Bioabfallkompostierung in der Bundesrepublik Deutschland, Abfall - Wirtschaft 9 - Gütesicherung und Vermarktung von Bioabfall, Witzenhausen, S.33- 51, 1992.

WIEMER K., KERN M., Status und Perspektiven der Bioabfallkompostierung, Kreislaufwirtschaft, Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag, Berlin, 1994.



WIEMER K., KERN M., Kompostatlas 1996/97 - Referenzhandbuch für Kompostierungsanlagen. Anaerobanlagen, Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen sowie Aggregate, K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 1996.

ZACHÄUS D., Grundlagen der Vergärung, Biologische Abfallbehandlung, Karl Joachim Thomé-Kozmiensky, EF-Verlag für Energie-und Umwelttechnik, Berlin, 1995.

ZACHARIAS F., Informationsbroschüre von MWM Diesel und Gastechnik GmbH, Mannheim, 03/1993.

ZELLER, K., Abfallwirtschaft in Brasilien, Müll und Abfall, München, 1993



ANEXO A

1. Tipos de análises físico-químicas dos resíduos sólidos

É muito importante conhecer as características físico-químicas dos resíduos, assim como suas tendências futuras, pois tais parâmetros possibilitam o dimensionamento da capacidade e o tipo dos equipamentos de coleta a serem utilizados, a melhor forma de valorização, tratamento adequado e do aterro sanitário.

Propriedades como o volume, determinam as dimensões dos locais de descarga ou estações de transbordo, além do tamanho do aterro em relação à vida útil requerida, a sua composição serve para mostrar as potencialidades econômicas dos resíduos sólidos, subsidiando informações para a escolha do melhor e mais adequado sistema de tratamento e disposição final.

Pode-se dizer que as eficiências dos sistemas de coleta, valorização e disposição final estão fundamentadas numa análise criteriosa das características físico-químicas dos resíduos, isto vem ainda mais realçar a importância de uma redefinição nos tipos de resíduos sólidos.

Em decorrência da variação da composição dos materiais examinados, as amostras isoladas fornecem resultados instantâneos. Quando se pretende uma amostragem contínua, o momento de coleta deve ser escalonado de tal forma que, após um certo período de tempo tenham-se cobertas todas as possíveis variações tendo-se assim valores médios de certa utilidade. Uma outra opção seria colher pequenas amostras tiradas em horários regulares que serão devidamente misturadas após o que se fará uma análise nesta nova amostra obtida.

Os exames dos resíduos sólidos e compostos nas estações de tratamento também são muito utilizados e importantes, pois possibilitam o controle do processo de tratamento das instalações e as características dos produtos produzidos e a conseqüente eficiência do tratamento;

A descrição dos exames e análises de resíduos sólidos neste trabalho é feita apenas de forma genérica, dando-se uma maior ênfase às análises realizadas na parte experimental deste trabalho e servem como referência para se ter uma idéia acertada a

respeito destes e maiores ou específicas informações deve-se consultar bibliografias especializadas.

1.1. Metodologia de amostragem

O método mais utilizado para amostragem dos resíduos sólidos (CETESB, 1997) consiste na coleta diária das amostras, escolhendo como local de coleta o próprio destino final, ou seja, as amostras são coletadas após a descarga do veículo coletor, anotando-se a hora, dia, mês e ano, assim como o circuito percorrido pelo veículo, as condições de tempo e temperatura. No final do dia todas as porções coletadas são devidamente misturadas e trituradas. Esta massa triturada deve ser dividida em quatro partes iguais, sendo duas descartadas e as duas restantes mescladas e novamente divididas em quatro partes iguais, sendo novamente duas descartadas e duas mescladas, deve-se repetir esta operação até restarem de 3 a 5 Kg de resíduos. Após todo este processo esta amostra restante deve ser encaminhada ao laboratório para a análise físico-química. No laboratório, esta amostra sofre um processo de triagem e peneiramento, onde os elementos são gradualmente separados, obtendo no final dos ensaios a composição física do resíduo orgânico.

1.2. Definição dos tipos de amostras

A definição dos tipos de amostras é feita a seguir, segundo o critério:

- **Amostra bruta:** É aquela coletada diretamente no local de descarga dos resíduos das usinas de compostagem, incineradores e aterros sanitários. Normalmente a amostra apresenta como uma mistura heterogênea de substâncias orgânicas e inorgânicas. Para poderem ser analisadas estas amostras devem ser trabalhadas, ou seja, um pré-tratamento, pois da forma que estão não oferecem condições de análises.
- **Amostra de laboratório:** É aquela amostra bruta, após sofrer um processo de pré-tratamento, que compreende um processo de separação e triagem manual de componentes metálicos ou muito grosseiros. Quando a amostra bruta tiver um excesso de materiais grosseiros não permitindo uma homogeneização singular, deve, em alguns casos, novamente ser triturada.

1.3 Teor de umidade e resíduo seco

O teor de umidade é um importante fator, pois define a quantidade de água presente na massa dos resíduos sólidos, tendo assim uma profunda influência para a definição do tipo de tratamento e na especificação dos veículos de coleta, em relação aos compostos também tem a sua influência relacionada com a velocidade de decomposição dos materiais biodegradáveis.

Os processos para a determinação do teor de umidade e o resíduo seco em laboratórios, são descritos na Norma DIN 38414, (parte 2 de novembro de 1995) e mostrada a seguir:

- Separar uma parte da amostra de laboratório e pesá-la, são utilizados para os testes 50 g de material;
- Submeter a parte da amostra separada, em uma estufa, a um processo de secagem a uma temperatura de 105°C.
- O período de secagem é definido como o tempo necessário até que não haja mais variações no peso final da amostra (peso final constante);
- A nova amostra deve ser pesada após a secagem, sendo os valores percentuais do teor de umidade e do resíduo seco calculado pelas fórmulas:

$$\text{Teor de Umidade (TU) \%} = ((P_{IA} - P_{FA}) \times (P_{IA})) \times 100$$

$$\text{Resíduos Secos (RS) \%} = (100 - \text{TU})$$

onde: P_{IA} é o peso inicial da amostra, em gramas e P_{FA} é o peso final da amostra, em gramas.

1.4. Determinação da matéria orgânica e inorgânica dos resíduos sólidos

O teor de matéria orgânica representa a quantidade de matéria orgânica, em peso seco contido nos resíduos sólidos dividida em matéria orgânica não putrescível como papel, papelão, madeira, trapos, etc e matéria orgânica putrescível como restos de alimentos, carnes, verduras, etc.

Para a determinação da matéria orgânica e inorgânica, como estas são mais conhecidas, embora tal denominação não seja muito apropriada pois existem muitas substâncias minerais voláteis, assim o melhor nome adotado é teor de substâncias voláteis e não voláteis, descrita na Norma DIN 19684, (parte 3 de fevereiro de 1997) e mostrada a seguir:



- Realizada com a amostra restante após a determinação do teor de umidade e resíduo seco, podendo ser chamada de resíduo seco;
- Esta amostra deve ser finamente moída e peneirada, não devendo conter materiais maiores do que 0,25 mm;
- Esta nova amostra deve ser pesada e sofrer um processo de calcinação, ou seja, o aquecimento da amostra a uma temperatura de 505°C por um período de 2 horas;
- Após a calcinação a amostra restante (cinzas remanescentes) deve ser pesada, sendo os valores percentuais de sólidos voláteis e sólidos não voláteis calculados pelas fórmulas:

$$\text{Sólidos Voláteis (SV) \%} = ((P_{IA} - P_{FA}) \times (P_{IA})) \times 100$$

$$\text{Sólidos não Voláteis (SnV) \%} = (100 - \text{SV})$$

onde: P_{IA} é o peso inicial da amostra em gramas e P_{FA} é o peso final da amostra em gramas.

O valor de Sólidos Voláteis (SV) é freqüentemente considerado como o valor de matéria orgânica contida no lixo.

1.5. Determinação das partes de pedras e substâncias perturbadoras

Esta determinação é feita comumente para análise da qualidade dos compostos e deve ser feita na amostra após a secagem a 105°C e realizada como descrita a seguir:

- Pesar a amostra após a secagem a 105°C;
- Separar e pesar através de peneiramento as pedras maiores de 5 mm;
- Separar e pesar, através de peneiramento as substâncias perturbadoras, como plástico, vidro e metais maiores que 2 mm;
- A quantificação destes materiais é feita em valor percentual de peso da amostra.

1.6. Peso específico

Os resíduos sólidos são uma substância compreensível, e a melhor forma de medição desta é através do peso específico, que representa a relação entre o peso do material e volume ocupado por este dado normalmente em kgf/m^3 , e tem sua

importância relacionada com o dimensionamento dos sistemas de coleta, tratamento e disposição

1.7. Determinação do pH

É definida como a medida do grau de acidez de uma solução (DasUmwelt Lexikon, 1993 & ABIFOR, 1993) . O valor do pH é dado como o logaritmo do inverso da concentração de íons de hidrogênio em uma solução analítica. A escala que representa esta medição oscila de 0 a 14, sendo a solução definida como neutra com um $\text{pH} = 7$, ácida com valores entre $0 < \text{pH} < 7$, e básica para valores entre $7 < \text{pH} < 14$. Uma observação a ser feita é que devido à escala logarítmica uma solução com $\text{pH} = 6$, é dez vezes mais ácida que uma outra solução com $\text{pH} = 7$.

A determinação do pH, de uma solução, pode ser feito através de dois métodos:

- **Método 1** - Através da medição por eletrodo, resultante da diferença de potencial existente entre uma solução aquosa e uma superfície de vidro quando em contato, ou seja, uma diferença de voltagem;
- **Método 2** - Através da medição por líquidos indicadores, sendo este muito utilizado devido a sua simplicidade e praticidade, sendo recomendado pela Associação Brasileira da Indústria de Fertilizantes Orgânicos - ABIFOR e descrita a seguir:
 - Separar uma medida de uma amostra de laboratório a ser analisada e colocá-la em um bequer ou um copo de vidro, tendo como medida uma xícara de café;
 - Adicionar a este copo três medidas de água destilada;
 - Os componentes devem ser misturados por 5 a 10 minutos ou até se obter uma mistura bem homogênea.
 - Esta solução deve ser filtrada através de um funil com uma mecha de algodão, uma recomendação feita é a não utilização de filtros de papel devido à reação ácida do mesmo podendo interferir nos resultados;
 - Separar três gotas do filtrado e adicionar 1 gota de azul de bromotimol, sendo que a interpretação dos resultados é feita pela coloração obtida desta mistura e caracterizada como mostrada a seguir.

- Amarela:** Indica que a mistura é acida, com um valor de pH inferior a 6,0;
- Verde:** Indica que a mistura é neutra ou levemente alcalina, com um valor de pH entre 6,0 e 7,6;
- Azul:** Indica que a mistura é alcalina ou básica, com um valor de pH superior a 7,6.

1.8. Determinação da salinidade

É muito utilizada para a medição do conteúdo de sais no pré-composto e realizada como descrita a seguir:

- Coletar uma amostra de pré-composto;
- Misturar esta amostra na proporção de 1:10 em volume com água destilada e fazer a medição da condutibilidade;
- O conteúdo de sal é medido no filtrado através do valor da condutibilidade com o cloreto de potássio;
- Os resultados são fornecidos em mg/100 mg de pré-composto.

1.9. Determinação do teor de carbono

A determinação do teor de carbono é fundamentada no princípio em que o carbono é queimado em uma corrente de oxigênio, formando o CO_2 , o qual é absorvido por hidróxido de sódio em amianto e medido gravimetricamente.

O experimento é efetuado com a introdução da amostra de laboratório em um sistema fechado onde são realizadas as seguintes operações:

- Pesagem da amostra inicial;
- Pré-pesagem do absorvedor de carbono;
- Oxidação da amostra;
- Purificação e absorção dos gases.

Sendo o cálculo do teor de carbono feito pela seguinte fórmula:

$$\text{Teor de carbono (C) \%} = ((\text{PAC}_{\text{DO}} - \text{PAC}_{\text{AO}}) \times 27,29) / \text{P}_{\text{IA}}$$

Onde: P_{IA} , é o peso inicial da amostra em gramas, PAC_{DO} é o peso do absorvedor depois da oxidação e PAC_{AO} é o peso do absorvedor antes da oxidação.



1.10. Determinação do teor de nitrogênio (Kjeldahl)

A determinação do teor de carbono e nitrogênio tem importância fundamental, principalmente em relação à compostagem, pois a relação carbono e nitrogênio, C/N, indica a capacidade dos resíduos em decomposição se constituírem em compostos orgânicos bioestabilizados, sendo este amplamente discutido no Capítulo 3.

O percentual de nitrogênio existente é definido como o nitrogênio presente em forma de amônia NH_4 e o que pode ser cataliticamente reduzido à amônia em solução concentrada de ácido sulfúrico e sulfato de potássio usando o óxido de mercúrio como catalisador.

O experimento para a determinação do nitrogênio é descrito como:

- Pesar a amostra de laboratório;
- Misturar a amostra com a solução concentrada de ácido sulfúrico e sulfato de potássio e óxido de mercúrio;
- Aqueça a mistura brandamente no início e depois fortemente até que toda a matéria orgânica seja mineralizada;
- Deixe esfriar, adicione zinco granulado para evitar a projeção da amostra e adicione solução de hidróxido de sódio com tiosulfato em excesso para garantir um meio alcalino;
- Transfira imediatamente a mistura para o destilador Kjeldahl e coloque o destilado em solução de ácido sulfúrico;
- Destile exatamente 200 ml da amostra e em seguida titule o ácido destilado em solução padronizada de hidróxido de sódio usando o indicador como ponto final, 200 mg de vermelho de metila.

Os cálculos são efetuados pela fórmula:

$$\text{Teor de Nitrogênio-Kjeldahl (} N_K \text{)} = ((S - L) \times 70,035) / P_1A \text{ (} \pm 0,05 \text{)}$$

Onde: P_1A , é o peso inicial da amostra em gramas, S é o equivalente de ácido sulfúrico (0,05 N) no receptor e L é o equivalente de hidróxido de sódio (0,05 N) usado na titulação.

1.11. Determinação dos teores de cálcio, sódio e potássio

O conteúdo de cálcio, sódio e potássio são definidos como a concentração em % de metal correspondente na amostra, utilizada principalmente na qualificação do



composto, sendo a sua determinação feita por espectrofotometria e sua quantificação é descrita a seguir:

- Separar e pesar uma amostra do pré-composto;
- Fazer a espectrofotometria e quantificar conforme a fórmula abaixo:

Concentração do metal (cálcio ou sódio ou potássio) ppm = $(S / P_1A) \times 100$

Onde: S concentração de cálcio ou sódio ou potássio na amostra em mg/l e P_1A é o peso inicial da amostra em gramas.

1.12. Determinação da demanda química de oxigênio

A melhor maneira para quantificar em conjunto os poluentes orgânicos de um resíduo líquido, ou a água do processo de tratamento de resíduos sólidos, é através do oxigênio requerido para sua oxidação e um dos métodos para isto é a demanda química de oxigênio (DQO).

A demanda química de oxigênio é determinada por meio de uma reação com oxidantes energéticos. Até hoje se emprega com maior frequência o permanganato de potássio ($KMnO_4$) em solução ácida, pois o método é rápido e fácil de ser executado, entretanto o permanganato de potássio oxida a matéria apenas em parte.

O melhor método, pelo qual consegue-se oxidar mais completamente as substâncias orgânicas é através do uso do bicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em solução acidulada com ácido sulfúrico e desta forma é possível relacionar a demanda química de oxigênio com a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação total da matéria carbonácea. A descrição do teste é feita a seguir:

- Coletar a amostra a ser examinada;
- Pipetar a amostra coletada no frasco com bicromato de potássio em solução acidulada com ácido sulfúrico e movimentar levemente para misturar as substâncias;
- A mistura deve ser fervida por 2 horas (120 min) a uma temperatura de $148^\circ C$;
- Deixar o frasco esfriar naturalmente até a temperatura ambiente, limpá-lo com papel toalha e fazer a leitura com um medidor específico;
- Uma observação a ser feita e que se deve segurar sempre o frasco com o oxidante pela tampa.

1.13. Grau de decomposição (Amt für Abfallwirtschaft, 1999)

O valor do grau de decomposição fornece a informação, em função de faixas de temperatura, de como continua a digestão das substâncias orgânicas ainda presentes no composto pelos microorganismos. Ele mostra o estado atual da decomposição e é representada pela escala mostrada na Figura 45. Desta forma podem estes valores ser comparados com outros.

Temperatura em °C

70°C	70°C – 60°C	60°C – 50°C	50°C – 40°C	40°C – 30°C	30°C – 20°C
------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Grau de decomposição

I	II	III	IV	V
---	----	-----	----	---

Composto Fresco

Composto pronto / Composto Especial

FIGURA 45 - Representação dos níveis do grau de decomposição.

Como pode ser visto pela escala:

- Grau de decomposição I pré-composto
- Grau de decomposição II - III composto fresco
- Grau de decomposição IV - V composto maturado ou pronto

- Significado

Quanto menor o valor do grau de decomposição em um composto, maior o número de substâncias orgânicas a serem decompostas. Conseqüentemente maior a temperatura interna de trabalho.

- Experiência para a determinação do grau de decomposição

Este experimento é utilizado para a medição do valor do grau de decomposição através do desenvolvimento da temperatura interior do composto e utilizado como medida do grau de decomposição das substâncias orgânicas pelos microorganismos.

- Equipamento necessário ao experimento

Os equipamentos necessários para a determinação do grau de decomposição são: cilindro isolado termicamente com volume interno de 1,5 litros e diâmetro interno de 100 mm, mostrado na Figura 4, termômetro de bastão, estufa e balança.

- Etapas na determinação do grau de decomposição

A amostra coletada do composto deve ser passada por uma peneira de 10 mm. A amostra peneirada será utilizada para determinação do grau de decomposição.

Esta amostra deve conter uma umidade de 35% para início dos testes, isto é, para a valorização correta de diferentes tipos de compostos e possível comparação entre eles, é necessário um acerto no teor da amostra antes de se iniciar o experimento.

Os seguintes procedimentos são necessários para a determinação do grau de decomposição:

- Retirar 50g da amostra principal e colocar em uma estufa a 105 °C para a determinação do teor de umidade da amostra.
- O restante da amostra principal deve ser colocado para secar em temperaturas variando de 40 a 50 °C por um período de 24 horas para a redução do valor de umidade.
- Normalmente, após a secagem da amostra principal, é necessário fornecer uma certa quantidade de água para se obter o teor de umidade de 35% desejado.
- O fornecimento do teor de umidade desejado deve ser feito através do equacionamento:

$$c_1 \times m_1 + c_2 \times m_2 = c_3 \times (m_1 + m_2)$$

c_1 = Teor de umidade restante após a secagem da amostra principal a 40°C ou 50 °C em %

m_1 = Massa da amostra principal após a secagem a 40 ou 50 °C em g

c_2 = 100% água

c_3 = Teor de umidade desejado em % (35%)

m_2 = Valor de água a ser acrescentada para se ter o teor de umidade desejado.

- Após esta etapa deixar a amostra, agora com 35% de teor de umidade, descoberta por um período de 24 horas a temperatura ambiente, neste período para uma melhor homogeneização a mesma deve ser revolvida algumas vezes.
- Finalmente, após este período a amostra está pronta para o início dos testes e para isto deve ser colocada no cilindro de medição, conforme mostrado na Figura 46, normalmente são utilizados de 500 a 1000 g de composto.
- Durante a colocação do composto no cilindro de medição, este deve sofrer algumas pequenas compressões para uma homogeneização do material (eliminação de vazios).
- No centro do cilindro de medição deve ser colocado um termômetro a 1/3 do fundo para as medições de temperatura.
- O experimento deve ficar sem tampa e à temperatura ambiente.
- A leitura da evolução da temperatura deve ser feita 3 vezes ao dia com intervalos de no mínimo 4 horas, e o período máximo de medição é de 10 dias.
- Sempre que possível repetir três vezes a experiência para a confirmação do resultado.

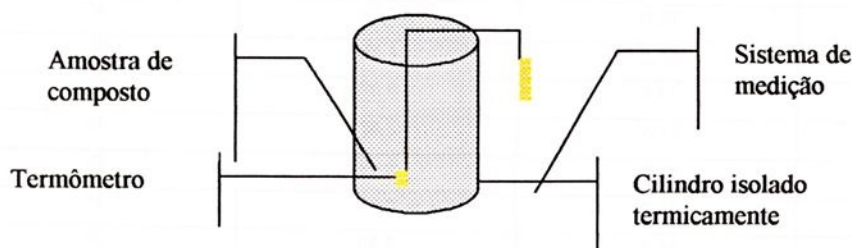


FIGURA 46 - Esquema de montagem para a determinação do grau de decomposição de um composto orgânico

- Determinação gráfica do grau de decomposição

Normalmente um composto "*in natura*" tem temperatura interna máxima de 70°C. Para determinação do grau de decomposição, pode-se acompanhar graficamente a evolução da temperatura e o valor deste é definido como o valor máximo da temperatura atingido durante o experimento.

Um composto, quando atinge a máxima decomposição possível tem temperatura um pouco acima da ambiente.

Pode-se determinar também através da curva obtida pelo experimento as maiores áreas de decomposição, e as maiores variações de temperatura que podem ser utilizados quando a comparação com outros compostos analisados.

TABELA 63 - Exemplificação de teste realizado em um composto com intervalos de leitura de 4 horas.

Intervalo de medições (h)	Temperatura (°C)	Variação de temperatura no tempo (°C / h) $S_x = (T_{(x+1)} - T_x) / (Z_{(x+1)} - Z_x)$	Soma das áreas (°C / h) $F_{(x+1)} = ((T_x + T_{(x+1)}) / 2) \times (Z_{(x+1)} - Z_x) + F_x$
$Z_1 = 0$	$T_1 = 22,0$	$S_1 = 0,75$	0,00
$Z_2 = 4$	$T_2 = 25,0$	$S_2 = 1,63$	$F_1 = 94$
$Z_3 = 8$	$T_3 = 31,5$	$S_3 = 2,50$	$F_2 = 207$
12	41,5	2,25	353
16	50,5	2,63	537
20	61,0	1,38	760
24	66,5	-0,13	1015
28	66,0	0,00	1280
32	66,0	0,25	1544
36	67,0	0,38	1810
40	68,5	0,38	2081
44	70,0	0,13	2358
48	70,5	-0,13	2639
52	70,0	-0,13	2920
56	69,5	-0,25	3199
60	68,5	-0,38	3475
64	67,0	-0,38	3746
68	65,5	-0,25	4011
72	64,5		4271

- Resultados

Temperatura máxima: $T_{\text{máx}} = 70,50^\circ\text{C}$

Máxima variação: $S_{\text{máx}} = 2,63^\circ\text{C/h}$

Área: $F_{72} = 4271^\circ\text{C} \times \text{h}$

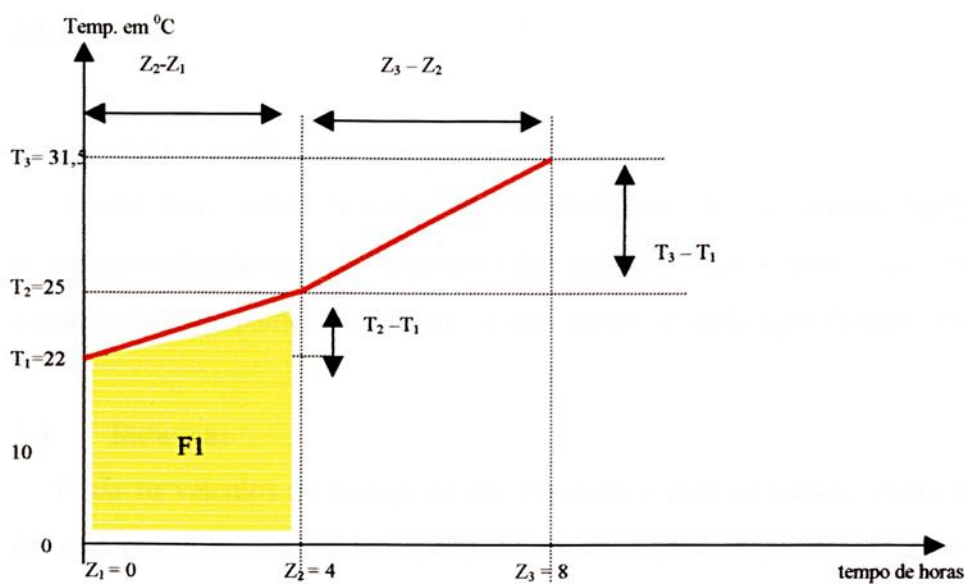


FIGURA 47 - Gráfico das variações de temperatura em função do tempo.

ANEXO B

1. Descrição e análise dos equipamentos

Neste item serão descritas as características dos principais equipamentos e processos utilizados para o tratamento dos resíduos orgânicos na usina, como também a análise dos equipamentos durante os oito meses de realização da parte experimental

1.1. Balança:

Pesar os veículos de transporte dos resíduos orgânicos para o controle do volume do material a ser trabalhado, utilizado também para a quantificação dos materiais perturbadores presentes no processo.

- Características da balança:

Capacidade máxima:	22.500 kg;
Capacidade mínima:	200 kg;
Divisão:	10 kg

Existem dois sistemas de controle de pesagem na usina, um feito diretamente através do computador e outros através de um sistema digital da própria balança.

O sistema de coleta de dados pelo computador apresenta muitas falhas, principalmente devido ao sistema de instalação do mesmo, onde inicialmente cada veículo foi pesado e estes dados lançados no computador; desta forma cada vez que um veículo é pesado ele faz a subtração do valor armazenado na memória. Isto apresenta dois problemas, o primeiro é operacional, que ocorre com este tipo de resíduos, pode ocorrer uma acomodação destes já durante a própria coleta e transporte ocasionando assim um erro de cálculo, devido a não ocorrer todo o descarregamento dos resíduos no silo. O outro problema é que todos os valores fornecidos estão pré-fixados e enumerados, não possibilitando a alteração destes e nem a entrada de novos veículos de transporte.

Este sistema é de fácil correção, já que se trata de problemas computacionais, mas, de qualquer forma, o ideal é que o veículo seja pesado antes e após a descarga e que a entrada de dados seja feita no momento da descarga.

O sistema digital, é de mais simples operação, apesar de os cálculos terem que ser feitos de maneira manual e sujeitos também a erros; além disso, da mesma forma que o sistema automatizado, existe aqui também a necessidade de uma pesagem do veículo de coleta antes e após a descarga.

1.2. Silo de recepção

Os resíduos orgânicos totais, após a sua pesagem, são descarregados diretamente em um silo de recepção de materiais, estes providos de uma esteira dosadora que inicia a alimentação do processo.

- Características do silo de recepção:

Capacidade de armazenamento: 120 m³

- Características da esteira dosadora:

Vazão de alimentação: 35 m³/h;

Sistema de acionamento: Hidráulico;

Motor de alimentação: 22 kW.

Problema: A vazão de alimentação está super dimensionada, pois a vazão máxima de trabalho por dia é de 46 m³/dia, o que ocasionaria um esvaziamento do silo em no máximo duas horas, isto está em desacordo com a velocidade de processamento, pois quem limita o processo é o reservatório de dissolução que trabalha em média com uma vazão máxima de 10 m³/h; assim, o ideal seria uma velocidade máxima de 25 m³/h.

A capacidade de armazenamento está dimensionada para no máximo 2 dias de reservação, pois observou-se que acima deste prazo, os resíduos orgânicos sofrem uma perda de água e conseqüentemente uma acomodação, dificultando o transporte dos resíduos pela esteira dosadora.

Apesar deste volume dimensionado para dois dias de reservação, o ideal é que os resíduos sejam trabalhados no mesmo dia, e que todos os resíduos sejam processados até sexta feira, evitando-se assim que estes fiquem armazenados durante os fins de semana, e se houver necessidade para se evitar isto, deve-se prolongar a jornada de trabalho.

É necessário a instalação de um sistema para a retirada do acúmulo de água no fundo do silo por gravidade ou através por bombeamento. Uma importante observação a ser feita é a necessidade de limpeza semanal dos equipamentos feita principalmente nos fins de semana.

1.3. Esteiras transportadoras 01 e 02

São duas esteiras transportadoras, em série, que dão sequência ao processo transportando os resíduos do silo até o moinho triturador.

- Características da esteira transportadora 01:

Tipo:	Caneco;
Comprimento:	5.800 mm;
Largura:	600 mm;
Elevação:	2.500 mm;
Inclinação:	45°;
Potência:	1,5 kW.

- Características da esteira transportadora 02:

Tipo:	Cinta deslizante;
Comprimento:	18.500 mm;
Largura:	600 mm;
Elevação:	3.000 mm;
Inclinação:	15°;
Potência:	1,5 kW.

Problema: A esteira transportadora 01, tipo caneco, apresenta problemas nas dimensões do caneco, pois estes são muito estreitos, ficando difícil o transporte dos resíduos ensacados e de maior porte; isto também se deve ao lay-out, pois há necessidade de uma inclinação muito grande para se conseguir a elevação desejada.

A esteira transportadora 02, apesar de fazer uma elevação ainda maior dos resíduos orgânicos, não apresenta muito problemas devido a seu comprimento e conseqüentemente uma menor inclinação.



Pode-se observar que o lay-out da fase de pré-preparação foi executado buscando-se um maior aproveitamento de área, mas infelizmente, o material a ser tratado não possui nenhuma pré-condição definida e é constantemente variável, principalmente nesta fase anterior ao moinho. Deve-se assim evitar longos percursos de transporte, inclinações elevadas das correias e curvas no percurso de transporte.

Na fase de preparação dos resíduos orgânicos deve-se ter como objetivo um transporte baseado na menor inclinação e menor distância até o moinho triturador; e conseqüentemente com o material triturado fica muito mais fácil de ser transportado.

1.4. Moinho de trituração

Este tem a função abrir sacos e embalagens e de tritar os resíduos orgânicos, na fase de pré-preparação, dando assim origem a um material mais apto a ser dissolvido e separado na fase seqüencial do processo.

- Características do moinho triturador:

Capacidade:	0 a 30 m ³ / h;
Tipo:	Moinho de roscas;
Volume da tremonha:	ca. 2,5 m ³ ;
Comprimento:	3.500 mm;
Largura:	2.400 mm;
Potência:	37 kW

O moinho de trituração tem grande capacidade de trituração, e principalmente devido à presença, nos resíduos orgânicos, dos mais variados tipos de resíduos que vão desde pedaços de madeira até pedaços de ferro e aço, tem o seu funcionamento bastante comprometido, necessitando constantemente de trabalhos de manutenção.

O principal problema do moinho foi a desativação do detector de metais, devido às constantes interrupções do processo. O ideal é empregar um sistema de seleção eletromagnética por eletroímã (por exemplo, tipo "over-band"), sendo esta separação fundamental a todo o processo, pois além da possibilidade do aproveitamento dos detritos metálicos, o prosseguimento deste material não só degrada o moinho como também o mecanismo de dissolução do reservatório de dissolução e ainda pode

chegar a comprometer a qualidade do composto com referência à concentração de metais pesados.

Outro tipo de triagem, possível de utilização apesar de trabalhosa, é a triagem manual, principalmente dos materiais de grande porte, mas isto não é necessário devido à grande capacidade de separação destes materiais perturbadores no sistema de dissolução e separação.

1.5. Esteira transportadora 03

Esta esteira tem a função de transportar os resíduos orgânicos triturados pelo moinho até o silo de acumulação para a etapa seguinte de dissolução.

- Características da esteira transportadora 02:

Tipo:	Cinta deslizante;
Capacidade de transporte:	25 m ³ / h;
Comprimento:	16.500 mm;
Largura:	600 mm;
Elevação:	4.000 mm;
Inclinação:	15°;
Potência:	2,2 kW.

Esta esteira transportadora não apresenta nenhum problema operacional, principalmente por transportar os resíduos já triturados.

1.6. Silo de acumulação.

A função do silo de acumulação é de armazenar os resíduos triturados até que se tenha quantidade suficiente para a realização de um ciclo de dissolução, além disso possui um sistema de transporte da carga de acordo com o volume desta.

- Características do silo de acumulação:

Capacidade de transporte:	100 m ³ /h;
Volume de acumulação:	20 m ³ ;
Comprimento:	10.800 mm;
Largura:	2.000 mm;
Altura:	1000 mm;

Inclinação:	15°;
Potência:	2,2 kW

O silo opera com uma reservação de aproximadamente 10 m³ de resíduos orgânicos totais, e com um peso específico de 0,7 Mg/m³, ou seja, aproximadamente 6,4 Mg de material para a realização de um ciclo.

O silo de acumulação trabalha com menos da metade de sua capacidade de reservação, isto devido à forma de acumulação no mesmo e principalmente ao menor peso específico devido a presença maior de resíduos verdes, que são dispostos conjuntamente com os resíduos orgânicos provenientes de restos de alimentação que faz que o peso específico diminua para valores entre 0,5 Mg/m³ e 0,6 Mg/m³.

Uma consequência direta disto é a realização de maior número de dissoluções no reservatório de dissolução, ou seja, maior que o necessário para a dissolução dos resíduos orgânicos, comprometendo todo o processo pelo aumento do volume da suspensão formada e pela diminuição no tempo de permanência desta no reator. Outras consequências diretas são a menor degradação das substâncias orgânicas e a menor produção de gás.

As possíveis soluções para este problema são: aumento da capacidade de volume do silo, um sistema de pesagem que definiria o exato momento que o silo está com a carga necessária para a realização do ciclo de dissolução ou ainda alteração no programa com a criação da possibilidade do ciclo em duas etapas de enchimento e dissolução.

1.7. Sistema de dissolução e separação de materiais perturbadores

Este sistema é composto por um reservatório de dissolução e um agitador mecânico (motor elétrico e pás) que tem como função transformar os resíduos orgânicos em uma suspensão capaz de ser bombeada e ainda separar através de um dispositivo de pesca os materiais perturbadores leves e por succionamento os materiais perturbadores pesados.

- Características do reservatório de dissolução:

Revestimento interno:	Teflon;
Volume útil:	20 m ³ ;

Diâmetro:	3.500 mm;
Altura:	3.000 mm.

- **Características do dispositivo de dissolução:**

Hélice:	Imersa no reservatório;
Rotações por minuto:	70 - 250 rpm;
Acionamento variável em:	Frequência e potência;
Potência:	200kW;
Duração de um ciclo completo:	60 - 75 min.

- **Características do dispositivo de separação de materiais perturbadores leves e pesados**

Materiais perturbadores leves:

Procedimento de retirada por gradeamento:	Tipo pesca;
Potência:	15 kW.

Materiais perturbadores pesados:

Procedimento de retirada por comporta:	Diferença de pressão;
Peneira de separação com diâmetro máximo de:	Passagem de 8 mm.

Este sistema inovativo tem uma grande capacidade de separação dos materiais perturbadores leves e pesados que prejudicam, não só o processo como principalmente a qualidade final do composto. Além disso, a importância deste também está na possibilidade de se trabalhar diferentes tipos de resíduos com diferentes teores de umidade e conseguindo sua dissolução e homogeneização, obtendo assim suspensão apta a ser bombeada.

Problema: Existe a necessidade de acompanhamento rigoroso do procedimento e o estabelecimento de normas operacionais, pois devido às constantes variações do teor de umidade e teor de resíduos secos, o volume de água a ser adicionado para a formação da suspensão deve ser bem controlado para se obter uma suspensão com o teor de resíduos secos desejado. Na usina de Karlsruhe a falha do procedimento está

em que, apesar do sistema automatizado, existem dados que devem e podem ser alterados pelo operador, possibilitando assim que cada operador trabalhe a sua maneira e que alterações sejam facilmente executadas, o que se tem na realidade é o descontrole do processo, assim como já foi dito o ideal é estabelecer normas de trabalho e valores padrões.

Além disso existe a necessidade de treinamento específico tanto sobre o funcionamento da usina como do processo de fermentação e formação do composto.

1.8. Sistema de separação de areia

Este sistema tem a função de retirar da suspensão formada pela dissolução dos resíduos orgânicos, através de um hidrociclone, as substâncias de granulometria semelhante a da areia (areia, vidros, etc), melhorando assim ainda mais o material a ser fermentado, ou seja, o futuro composto.

- Características do reservatório de separação de areia:

Função em relação a suspensão:	Armazenamento;
Volume útil:	20 m ³ ;
Diâmetro:	3.000 mm;
Altura:	3.000 mm;
Altura total:	6.000 mm.

- Características do hidrociclone:

Função:	Separação dos materiais de granulometria da areia;
Capacidade:	120 m ³ /h.

- Características das bombas do sistema de separação de areia:

Bomba de abastecimento de suspensão do reservatório:

Tipo de bomba:	Rotor tubular;
Vazão:	120 m ³ / h;

Altura:	06 mca;
Potência:	4,0 kW.

Bomba de recirculação entre o hidrociclone e o reservatório:

Tipo de bomba centrífuga:	Rotor tubular;
Vazão:	120 m ³ /h;
Altura:	10 mca;
Potência:	7,5 kW.

O sistema de separação de areia funciona dentro do planejado com uma boa eficiência, como pode ser visto pelas análises de laboratório do composto final, que apresentam uma pequena quantidade de materiais estranhos como: vidro, areia, pedra, etc. Uma ressalva deve ser feita em relação à limpeza do hidrociclone: o ideal é que esta seja feita sempre com água limpa e não com água processual, pois quando esta é utilizada provoca um entupimento no equipamento.

1.9. Reator de metano

Este tem a função de decomposição dos resíduos orgânicos através de fermentação anaeróbica e a conseqüente formação do pré-composto e biogás.

- Características do reator de metano:

Função:	decomposição dos resíduos orgânicos;
Tipo:	Mistura total;
Temperatura do processo:	35 – 37°C;
Teor de resíduos secos na suspensão:	5 - 8%;
Período de permanência :	16 dias;
Volume de reservação da suspensão:	1.150 m ³ ;
Volume de reservação do biogás:	200 m ³ ;
Volume total:	1.350 m ³ ;
Diâmetro:	12.000 mm;
Altura:	12.000 mm;

Altura total:	13.050 mm;
Isolamento:	80 mm de lã mineral;
Material:	aço tipo R - st 37;
Pressão máxima de operação:	20 - 25 mbar.

- **Características das bombas do reator de metano**

Bomba de abastecimento de suspensão ao reator:

Tipo de bomba:	Rotor tubular;
Vazão:	120 m ³ /h;
Altura:	16 mca;
Potência:	11,0 kW.

Bomba de recirculação da suspensão dentro do reator:

Tipo de bomba:	Excêntrica helicoidal;
Vazão:	3 - 15 m ³ /h;
Altura:	20 mca;
Potência:	2,6 kW.

- **Características do trocador de calor:**

Função do trocador de calor na entrada do reator e internamente na suspensão:	Aquecer a suspensão e manter a temperatura da constante em 35°C;
Tipo:	Carcça dupla;
Comprimento:	3.500 mm;
Altura:	2.600 mm;
Largura:	650 mm;
Necessidade de aquecimento na entrada do reator:	51 kWh;
Necessidade de reaquecimento da suspensão:	15 kWh;
Necessidade total:	71 kWh.

- **Características do dispositivo de mistura:**

Função do dispositivo de mistura dentro do reator:	Mistura total;
Tipo:	Insuflador de biogás;
Potência:	16 - 24 kW.

O reator de metano tem seu perfeito funcionamento monitorado através de um sistema computadorizado, sendo que se consegue manter a temperatura da suspensão constante através do seu aquecimento na entrada e reaquecimento. Com o dispositivo de mistura consegue-se melhor controle desta temperatura, controle do pH ideal para o processo de fermentação e também o controle da formação de espuma.

Atualmente, devido ao pequeno período de permanência da suspensão no interior do reator de metano, ocorre pouca degradação dos resíduos orgânicos, sendo que isto ocorre não devido a problemas de dimensionamento deste, mas sim devido a problemas operacionais do silo de acumulação e tanque de dissolução..

1.10. Sistema de centrifugação

Este sistema tem a função da centrifugação da suspensão fermentada no interior do reator de metano para redução do teor de umidade em níveis de 60 a 65 %, ou seja, com um teor de resíduos secos de 30 a 35% possibilitando assim a sequência do processo.

- **Características da centrífuga:**

Tipo de centrífuga:	de carcaça fechada e rosca transportadora;
Capacidade:	15 m ³ / h;
Teor de resíduos secos nos restos de fermentação centrifugado:	30 a 35%;
Teor de resíduos secos no líquido centrifugado:	0,15 %;
Potência:	11,0 kW.

- **Características das bombas do sistema de centrifugação**

Bomba de abastecimento da centrífuga pela suspensão proveniente do reator de metano:

Tipo de bomba:	Excêntrica helicoidal;
Vazão:	3 - 15 m ³ /h;
Altura:	20 mca;
Rotação:	200 - 300 U/min;
Potência:	3,0 kW.

Bomba de envio do líquido centrifugado ao reservatório de água do processo:

Tipo de bomba:	Centrífuga;
Vazão:	12 m ³ /h;
Altura:	8 mca;
Potência:	1,1 kW.

- **Características da esteira transportadora:**

Tipo:	Rosca transportadora;
Capacidade de transporte:	2 m ³ /h;
Comprimento:	4.500 mm;
Largura:	500 mm;
Elevação:	4.000 mm;
Inclinação:	15°;
Potência:	2,2 kW.

Este sistema de centrifugação funciona como planejado, produzindo um material com teor de resíduos secos de 30 a 35%; uma melhora necessária no sistema seria a adaptação de um sistema de pesagem destes restos de fermentação para melhor valorização e controle do processo, que inclusive facilitaria a mistura deste com material estrutural para a fase sequencial de degradação do pré-composto.

Uma solução simples e menos dispendiosa é a disposição destes em containeres que poderiam ser posteriormente pesados na balança de entrada da usina, não gerando assim despesas adicionais.

1.11 Sistema de funcionamento da câmara de decomposição de resíduos orgânicos

Este tem a função principal de decomposição de resíduos orgânicos, embora na usina de Karlsruhe, a principal função deste é a higienização dos restos de fermentação centrifugados, assim como a secagem destes para produzir um material mais apto para a próxima etapa do processo de maturação, uma exigência devido à portaria federal de outubro de 1998.

- Características da câmara de decomposição:

Tipo de câmara:	fechada;
Números de unidades:	02;
Material a ser tratado:	Resíduos orgânicos ou uma mistura de restos de fermentação e material estrutural;
Volume total:	60 m ³ /unidade;
Tempo médio de operação:	3 dias;
Teor de umidade alcançável:	50 %;
Material de fabricação:	Metal e concreto;
Forma de entrada e saída de material:	Pá carregadeira;

- Características dos biofiltros:

Função:	Filtração do ar a ser lançado à atmosfera;
Tipo:	Biofiltros;
Material filtrante:	Material estrutural;
Número de unidades:	04;
Volume:	600 litros/unidade.

A câmara de decomposição é um sistema utilizado normalmente como sistema completo de compostagem aeróbica, ou seja, os resíduos verdes após trituração são dispostos por um período de duas semanas a um intenso processo de decomposição e então a uma fase de maturação.

Através do processo de compostagem aeróbica ocorre a decomposição dos resíduos orgânicos e a formação de CO_2 e H_2O .

No sistema desenvolvido para a usina de Kalrsruhe, as principais funções da câmara de decomposição são:

- Aeração do pré-composto;
- Higienização do pré-composto;
- Secagem e redução da umidade.

A câmara de decomposição é um sistema de funcionamento bem estruturado com perfeito controle das suas condições internas em relação ao fluxo de entrada e saída de ar, umidade, medição de CO_2 e temperatura, vitais para o composto a ser formado. Este possui inclusive um sistema de filtração de ar chamado biofiltros que tem a função de limpeza do ar utilizado nas fases de funcionamento da câmara de decomposição antes do seu lançamento na atmosfera.

Um melhor controle a ser executado é em relação à quantidade de material estrutural a ser misturado com os restos de fermentação para a formação da mistura a ser decomposta. Isto se deve porque o material estrutural normalmente já tem um grau de decomposição III, IV ou V e o excesso deste na mistura pode comprometer a temperatura desejada para higienização.

A realização da mistura além da quantidade recomendada de 5 a 10 % em peso em relação aos restos de fermentação deve ser muito bem feita, pois o principal objetivo desta é a criação de vazios, com isso o aumento da área oxigenada e melhor aeração da mistura.

O preenchimento da câmara de decomposição com a mistura também deve ser feito com cuidado e por igual, evitando-se a criação de espaços mortos que podem fazer um direcionamento do fluxo de ar e atrapalhando assim o processo de aeração. Nesta fase também se deve fazer uma camada inferior ao material a ser agregado,

composto somente de material estrutural que possibilitará maior aeração e o não entupimento dos canais de fluxo de ar.

Um complemento adicional câmara de decomposição, utilizado normalmente para a decomposição aeróbica de resíduos verdes, é o trocador de calor para o aquecimento do ar de entrada ou de recirculação. Este poderia ser utilizado na usina de Karlsruhe, nos casos em que o grau de decomposição dos restos de fermentação do material proveniente do reator de metano estiverem acima do nível I, ou seja, nível II ou III, que impossibilitaria o aquecimento adicional à temperatura de 60°C, necessária na fase de higienização.

Uma possibilidade de utilização interessante da câmara de decomposição, que é objeto de nosso estudo neste trabalho é a sua utilização para o aceleração do processo de decomposição dos resíduos orgânicos, agora restos de fermentação através de compostagem aeróbica, que com isto melhoraria a eficiência do processo como um todo em relação ao tempo total desde da entrada dos resíduos orgânicos na usina até a produção de um composto orgânico pronto para o uso. Isto possibilitaria inclusive o aumento da capacidade de tratamento de resíduos orgânicos da usina de Karlsruhe.

1.12. Reservatório de água do processo

Este tem a função do armazenamento de água para ser utilizada principalmente pelo sistema de dissolução e separação de materiais perturbadores, para este é encaminhada praticamente toda a água dos mais variados processos como o líquido separado no sistema de centrifugação, do silo de acumulação, da limpeza da usina, de todas as etapas tanto de pré-preparação como de pós-tratamento dos resíduos orgânicos, inclusive a água da chuva.

- Características do reservatório de água do processo:

Volume de útil:	110 m ³ ;
Diâmetro:	5.000 mm;
Altura:	5.000 mm.

Características das bombas do reservatório de água do processo:**Bomba de água do reservatório de dissolução:**

Vazão:	120 m ³ /h;
Altura:	10 mca;
Potência:	5,5 kW.

Bomba do próprio reservatório de água do processo:

Vazão:	5 m ³ /h;
Altura:	9 mca;
Potência:	2,2 kW.

Bomba do excedente de água do processo a estação de tratamento de chorume:

Vazão:	20 m ³ /h;
Altura:	20 mca;
Potência:	5,5 kW.

O reservatório possui controle automático de nível, que foi projetado com o objetivo de integração deste sistema com a estação de tratamento de chorume, sendo assim todo o excedente de água do processo deveria ser enviado a esta para ser tratado.

Esta água processual, trata-se de um malte e tem sua importância fundamentada na dissolução dos resíduos orgânicos como também na alimentação da nova suspensão com uma pré-carga de bactérias.

Problema: A necessidade de substituição de água processual por água limpa é de 20 até 40%, mas na usina estes valores estão entre 10 e 15 %, ou seja, bem abaixo da necessidade. Isto causa algumas consequências, como acúmulo na concentração do teor de resíduos secos, que não possibilita o tratamento do excedente de água na estação de tratamento de chorume, aumento da carga de substâncias nocivas da água processual, que possuem metais pesados que podem comprometer o processo em relação a qualidade final do composto.

Este excedente de água processual é enviado diretamente, sem tratamento, à rede de esgotos sanitários, este lançamento não traz consequências maiores devido à proporção volumétrica em relação aos esgotos domésticos ser muito pequena.

O tratamento do excedente na usina é possível desde que se faça a substituição necessária da água processual, que permitiria o seu tratamento e a reutilização da mesma no processo.

O melhor, é que faça um controle semanal das condições físico-químicas da água processual, e que sejam estabelecidos limites máximos de concentrações e assim efetue-se a substituição da mesma.

1.13. Sistema de limpeza do ar da estação

Este sistema tem a função de coleta de ar interno da usina carregado bactérias e microorganismos e promover a limpeza do mesmo antes do seu lançamento na atmosfera.

- Características do sistema de limpeza do ar da estação:

Tipo:	Lavagem dos gases e filtração através de material estrutural;
Capacidade de coleta e limpeza:	10.000 m ³ /h.

Este sistema já é bem conhecido e funciona a contento não apresentando qualquer problema operacional.

1.14. Reservatório intermediário de coleta de água dos processos

Este reservatório tem a função de coletar todas as águas secundárias do processo tanto da etapa de preparação (do silo de recepção, esteiras transportadoras, da prensagem dos materiais perturbadores leves e pesados) como também da limpeza geral da estação (ralos e torneiras de lavagem).

- Características do reservatório:

Capacidade:	4 m ³ ;
Vazão da bomba de descarga:	5 m ³ /h;

Altura manométrica:	9 mca;
Potência:	2,2 kW.

Toda água acumulada neste reservatório secundário de acumulação é enviada diretamente ao reservatório principal de água do processo que será utilizada na etapa de dissolução dos resíduos orgânicos.

Após uma análise desta água, o ideal seria a sua não utilização ou pelo menos a separação da água proveniente dos processos de limpeza, devido ao fato desta conter alta concentração de substâncias prejudiciais.

Poderia se fazer um lançamento direto desta água na rede coletora de esgotos, embora antes disto, seja necessário o gradeamento ou filtração da água para a eliminação dos elementos perturbadores.

