

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

REMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR RESÍDUOS SÓLIDOS  
ESTUDO DO CASO DA CIDADE DE AMERICANA

MARIA GERALDINA SALGADO

Orientador: LUIZ MÁRIO QUEIROZ LIMA

Peço que este documento  
seja enviado ao orientador  
para discussão.

451 13/7/93

REMEDIACÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR RESÍDUOS SÓLIDOS  
ESTUDO DO CASO DA CIDADE DE AMERICANA

MARIA GERALDINA SALGADO

Orientador: LUIZ MÁRIO QUEIROZ LIMA *ok*

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Engenharia Civil, da  
Universidade Estadual de  
Campinas, para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Civil,  
área de concentração, Recursos  
Hídricos e Saneamento.

Campinas  
Estado de São Paulo  
Maio, 1993

MEIO AMBIENTE:

O IDEAL É NÃO DEGRADAR,

MAS, SE JÁ DEGRADOU....

A SOLUÇÃO É REMEDIAR.

## SUMÁRIO

ÍTEM	PÁGINA
DEDICATÓRIA	1
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
RELAÇÃO DE TABELAS	v
RELAÇÃO DE FIGURAS	vii
RELAÇÃO DE SÍMBOLOS E SIGLAS	x
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	3
3 - REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1-Origem e formação dos resíduos sólidos	4
3.1.1-Fatores que influenciam a geração de resíduos	8
3.1.2-Caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos	11
3.2-Lixo e poluição: impactos ambientais	18
3.2.1-Migração de chorume	19
3.2.2-Emissões aéreas	21
3.3-Remediação de áreas	25
3.3.1-Levantamentos preliminares	25
3.3.1.1-A situação na Europa	26
3.3.1.2-A situação nos Estados Unidos	33
3.3.1.2.1-Retrospectiva histórica	33
3.3.1.2.2-A situação atual	36
3.3.1.3-A situação no Brasil	39
3.3.1.3.1-Retrospectiva histórica	40

3.3.1.3.2-A situação atual	42
<b>3.3.2-Técnicas de remediação</b>	<b>47</b>
3.3.2.1-Processos térmicos	49
3.3.2.1.1-Combustão	53
3.3.2.1.2-Incineradores a plasma	62
3.3.2.1.3-Desorção térmica	63
3.3.2.1.4-Vitrificação "in situ"	64
3.3.2.2-Processos físico-químicos	65
3.3.2.2.1-Estabilização e solidificação	66
3.3.2.2.2-Extração a vácuo	67
3.3.2.2.3-Lavagem de solo	68
3.3.2.2.4-Remoção de halogêneos	69
3.3.2.2.5-Extração química	69
3.3.2.3-Processos biológicos	70
3.3.2.3.1-Bio-remediação	71
3.3.2.4-Sistemas integrados	75
3.3.2.4.1-SIGRS nos EUA	76
3.3.2.4.2-SIGRS na Itália	78
3.3.2.4.3-SIGRS na Dinamarca	82
3.3.2.4.4-SIGRS no Brasil	83
<b>3.3.3-Metodologia de remediação</b>	<b>89</b>
3.3.3.1-Sistema de avaliação e classificação de riscos	91
3.3.3.2-Fases da remediação de áreas	97
3.3.3.2.1-Fase de pré-remediação	97
3.3.3.2.2-Fase de remediação	99
3.3.3.3-Outros métodos usados	100
<b>3.3.4-Considerações a respeito dos dados da revisão de literatura</b>	<b>102</b>
3.3.4.1-Origem e formação dos resíduos sólidos	102
3.3.4.2-Caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos	104
3.3.4.3-Lixo e poluição: impactos ambientais	107
3.3.4.4-Remediação de áreas	109

<b>4 - DADOS BÁSICOS</b>	<b>113</b>
4.1-Dados preliminares do município e do sistema implantado	113
4.1.1-A cidade de Americana	115
4.1.2-Aspectos gerais da área contaminada	117
4.1.3-Estudo do sistema de bio-remediação adotado	117
4.1.4-Sistema geral de remediação	125
4.1.5-Estudo da etapa A do sistema de bio-remediação	126
4.2-Dados para cálculo da eficiência do processo	130
4.2.1-Eficiência de redução mássica	130
4.2.2-Eficiência de remoção de DQO e atenuação de metais pesados dissolvidos no chorume	131
<b>5 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE BIO-REMEDIACÃO</b>	<b>136</b>
5.1-Eficiência de redução mássica	138
5.2-Eficiência de remoção de DQO e atenuação de metais pesados dissolvidos no chorume	146
<b>6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>148</b>
6.1-Eficiência de redução mássica	148
6.2-Eficiência de remoção de DQO e de atenuação de metais pesados	148
6.3-Discussão dos dados básicos, metodologia e resultados	149
6.3.1-Dados de população	149
6.3.2-Dados de coleta de resíduos	150
6.3.3-Metodologia de avaliação da eficiência de redução mássica	151
6.3.4-Metodologia de avaliação da eficiência de remoção de DQO e atenuação de metais pesados	152
6.3.5-Eficiência de redução mássica	153
6.3.6-Eficiência de remoção de DQO e de atenuação de metais pesados	155
<b>7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>157</b>
<b>8 - BIBLIOGRAFIA</b>	<b>159</b>

*Dedico este trabalho a meus pais, pelo embasamento inicial, e ao meu filho, pelo carinho constante.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Mário Queiroz Lima, pela orientação e pelo material bibliográfico cedido.

Ao Prof. Dr. Laércio Vendite, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Aquiles I. Piedrabuena, pela contribuição, em termos de experiência e conhecimentos.

À Prof. Dra. Eglé N. Teixeira, pela revisão deste trabalho.

Aos Professores Drs. Roberto F. Feijó e Rubem Bresaola Jr., pelas sugestões dadas, no exame de qualificação.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, pela simpatia sempre encontrada.

Aos colegas Geraldo, Sheilla e Leda, pelas sugestões oferecidas.

À SPA, Sistemas de Proteção Ambiental Ltda., pelos dados fornecidos e discussões técnicas oportunas.

À Prefeitura Municipal de Americana, através dos diretores da DILPA, Reinaldo e Mirandola, e operadores do aterro, pela colaboração no encaminhamento deste trabalho.

À CAPES e UNICAMP, pelo apoio financeiro.

## RESUMO

A degradação do meio ambiente vem se constituindo, atualmente, um dos problemas mais preocupantes para a vida no planeta, sendo a disposição de resíduos sólidos um dos principais fatores que contribuem para este processo.

Este trabalho aborda a questão da problemática das áreas degradadas, desde o processo de geração dos resíduos, passando pelas interações que ocorrem a nível de solo, ar e água, descrevendo, sucintamente, processos de remediação de áreas e, por fim, procedendo ao estudo de um caso, o qual empregou a tecnologia de aceleração da decomposição anaeróbia de resíduos sólidos.

A metodologia adotada consiste na avaliação da eficiência de redução mássica e eficiência de remoção de DQO e atenuação de metais pesados do chorume.

Os dados utilizados consistem na estimativa da quantidade de resíduos dispostos na área, determinações físicas do resíduo disposto e do material retirado da célula e determinações analíticas de parâmetros do chorume.

O resultado relativo à eficiência de redução mássica foi superior ao pressuposto pelos implantadores do processo. A análise da eficiência de remoção de DQO do chorume foi possível, uma vez que este parâmetro foi monitorado durante 8 anos. Entretanto, o acompanhamento da eficiência de atenuação de metais pesados dissolvidos no chorume foi prejudicado pelo seu não monitoramento, a partir da implantação, mas foram possíveis algumas considerações a respeito das concentrações finais de metais pesados dissolvidos no chorume e na água da lagoa adjacente.

## ABSTRACT

Environmental degradation is becoming a worrisome problem for the life on the planet, actually, being incorrect disposal of solid waste one of the principal factors that contributes for this process.

This work approaches the question of the degraded sites, since waste generation process, through the relations that affect the soil, air and water, briefly describing site remediation processes and, finally, doing a research about a case, which has used the solid waste anaerobic decomposition acceleration technology.

Used methodology consists in evaluating massic reduction and leachate COD removing efficiencies and heavy metals attenuation.

Used data consist in the evaluation of the waste amount disposed on the site, physical determinations of the disposed waste and of the removed material from the cell and, finally, analytical determinations of leachate parameters.

The result, concerning to massic reduction efficiency, was superior than the one supposed by the process introducers. The analysis of leachate COD removing efficiency was possible, since that this parameter was monitored for eight years. However, the follow-up of leachate solved heavy metals attenuation efficiency was prejudiced by their not monitoring, since the process implantation, but it was possible some considerations about final concentrations of heavy metals solved in the leachate and in the neighbouring lagoon water.

## RELAÇÃO DE TABELAS

NÚMERO	DESCRÍÇÃO	PÁGINA
Tab. 3.1	Geração anual de resíduos sólidos em alguns países	13
Tab. 3.2	Composição física do lixo em algumas cidades	14
Tab. 3.3-A	Composição do lixo na cidade de Americana	15
Tab. 3.3-B	Outras características do lixo de Americana	15
Tab. 3.4	Proposta de padrões para descarga de COV em aterros	24
Tab. 3.5	Levantamento do número de áreas contaminadas na Europa	27
Tab. 3.6	Processos de tratamento adotados em alguns países	28
Tab. 3.7	Eficácia de tratamento para solos contaminados	51
Tab. 3.8	Processos de remediação de áreas degradadas - Registros EPA - 1989	52
Tab. 3.9	Proposições EPA para revisão do sistema de classificação de riscos	95
Tab. 4.1	Evolução da população e estimativa de resíduos dispostos no aterro de Americana	132

Tab. 4.2	Composição física do resíduo de origem doméstica disposto na célula A e do material retirado da mesma	133
Tab. 4.3	Outras características do resíduo de origem doméstica disposto na célula A e do material retirado da mesma	133
Tab. 4.4	Análises de DQO do chorume (mg/l)	134
Tab. 4.5	Dados finais de monitoramento de metais pesados do aterro sanitário de Americana comparados com os do aterro experimental nº 2 de São Carlos.	135

## RELAÇÃO DE FIGURAS

NÚMERO	DESCRICAÇÃO	PÁGINA
Fig. 3.1	Evolução da população mundial 1918/1987	9
Fig. 3.2	Evolução da produção industrial 1975/1985	10
Fig. 3.3	Diagrama de fluxo da geração de resíduos sólidos urbanos	12
Fig. 3.4	Aumento do efeito estufa- Contribuição dos compostos gasosos	22
Fig. 3.5	Trituração de troncos e raízes/ Planta de compostagem- Norderstedth, Hamburgo	30
Fig. 3.6	Planta de recepção e triagem de res. perigosos- Norderstedth, Hamburgo	32
Fig. 3.7	Incinerador móvel - Bolzano, Itália	48
Fig. 3.8	Ações de remediação: Resumo das tecnologias de tratamento selecionadas pela EPA - 1982/1990	50
Fig. 3.9	Sistema de incineração em fornos rotativos	57
Fig. 3.10	Incineradores de leito circulante fluidizado - Fluxograma esquemático	59
Fig. 3.11	Barreiras técnicas - Cetrel, Bahia	73
Fig. 3.12	Sistema integrado de gerenciamento de resíduos na Itália	79

Fig. 3.13	Sistema de tratamento de resíduos perigosos - Bolzano, Itália	81
Fig. 3.14	Fluxograma do sistema integrado de remediação de áreas degradadas	84
Fig. 3.15	Esquema do reator biológico	86
Fig. 3.16	Cinzas do reator térmico	88
Fig. 3.17	Área de disposição de resíduos perigosos - Cetrel/BA	90
Fig. 3.18	Foto mostrando parte de planta de compostagem e área degradada	91
Fig. 4.1	Lixão da cidade de Americana antes da implantação do sistema integrado	118
Fig. 4.2	Sistema integrado de recomposição ambiental e tratamento de lixo de Americana - Layout	119
Fig. 4.3	Ações de remediação- Fase I- Estudos preliminares	121
Fig. 4.4	Ações de remediação-Fase II-Tratamento Primário	122
Fig. 4.5	Ações de remediação - Fase III - Tratamento secundário	123
Fig. 4.6	Ações de remediação-Fase IV-Tratamento terciário	124
Fig. 4.7-A		
Fig. 4.7-B	Instalação de drenos	128
Fig. 4.7-C		
Fig. 4.8	Reabertura da célula A	129
Fig. 5.1	Metodologia de avaliação da etapa de aceleração da decomposição anaeróbia do processo de bio-remediação	137

Fig. 5.2	Eficiência de redução mássica do processo - Fluxograma básico	139
Fig. 5.3	Evolução da população de Americana	141
Fig. 5.4	Estimativa da disposição de resíduos no período 1974/1988	144
Fig. 5.5	Análises de DQO do chorume - Bio - remediação de Americana	146
Fig. 5.6	Fluxograma da eficiência de remoção de DQO e atenuação de metais pesados no chorume	147

## RELAÇÃO DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental  
CAA - Clean Air Act  
CDR - Combustível Derivado de Resíduo  
CERCLA - Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CFC's - Compostos flúor-clorados  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono  
COV - Compostos Orgânicos Voláteis  
DDPC - Dibenzodioxina Policlorada  
DFPC - Dibenzofuranos Policlorados  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
DQO<sub>I</sub> - Demanda Química de Oxigênio inicial  
DQO<sub>F</sub> - Demanda Química de Oxigênio final  
EDTA - Ácido acético tetra-diamina-etileno  
 $E_h$  - Potencial de Oxi-redução  
EIA - Estudos de Impacto Ambiental  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPA - Environmental Protection Agency  
EUA - Estados Unidos da América  
HELP - Hydrologic Evaluation of Landfill Performance  
 $\eta_M$  - Eficiência de redução mássica  
 $\eta_S$  - Eficiência de remoção de DQO  
HRS - Hazardous Ranking System  
HSWA - Hazardous and Solid Waste Amendments  
IAC - Instituto Agronômico de Campinas  
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAC - Instituto Agronômico de Campinas  
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico  
 $M_E$  - Percentual de sólidos voláteis do material colocado na célula A  
MRD - Massa de resíduos domésticos dispostos na célula A de 1980 a 1988  
MRI - Massa de resíduo industrial colocado na célula A de 1980 a 1986  
 $M_s$  - Percentual de sólidos voláteis do material retirado da célula A.  
NPL - National Priorities List  
PCB - Policloreto de bifenila  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
P - População de Americana, no ano de 1991  
 $P_t$  - Estimativa de população anual da cidade de Americana  
 $P_0$  - População analisada no instante inicial  
 $P_\infty$  - População analisada no instante infinito  
 $\lambda$  - Coeficiente da variável independente t.  
PRODAM - Progresso e Desenvolvimento de Americana S.A.  
P(t) - População analisada num instante t, qualquer.  
Q - Quantidade de resíduo doméstico coletado na cidade, diariamente, "per capita"  
 $Q_i$  - Quantidade de resíduo disposto anualmente "per capita", no aterro de Americana  
RAPS - Remedial Action Priority System  
RCRA - Resource Conservation and Recovery Act  
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
RSM - Resíduo Sólido Municipal  
SARA - Superfund Amendments and Reauthorization Act  
SIGRS - Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos

Sólidos

SMA/SP - Secretaria de Meio Ambiente/São Paulo

SPA - Sistemas de Proteção Ambiental, Ltda

%SVRD - Percentual de sólidos voláteis do resíduo de origem doméstica disposto na célula A

%SVRI - Percentual de sólidos voláteis do resíduo de origem industrial disposto na célula A

SVT - Sólidos Voláteis Totais

SWAT - Solid Wastes Assessment Tests

W - Trabalho realizado

## 1 - INTRODUÇÃO

Considerando que a Remediação de áreas degradadas é um assunto ainda pouco estudado, cabe aqui estabelecer uma breve revisão conceitual, iniciando pelas definições básicas, transcritas de FERREIRA (52):

- REMEDIAR : Atenuar com remédio o mal ou a dor; reparar, emendar ou corrigir; minorar, atenuar, diminuir.
- RECUPERAR: Recobrar (o perdido); adquirir novamente; reabilitar.

Enquanto que a definição do primeiro termo tem origem em procedimentos da área médica, consistindo numa percepção técnica do assunto, a referente ao segundo contempla um significado linguístico, portanto, mais abrangente, carecendo de direcionamento específico para determinada área do conhecimento científico.

Na falta de um termo específico voltado para a área de Engenharia Sanitária, especialização que constitui o palco de atuação desta tecnologia, adotou-se, neste trabalho, o termo remediar, cujas origens estão relacionadas a uma abordagem técnica que, embora pertencendo a outro ramo do conhecimento humano, guarda estreitas relações com a Biologia, área fundamental nesta pesquisa.

Consequentemente, tem-se a seguinte definição:

-REMEDIACÃO DE ÁREAS: LIMA (72): É o ato ou a ação de minimizar os impactos ambientais causados pelo lançamento ou disposição indiscriminada de resíduos no solo, ar e recursos hídricos.

A remediação de áreas contempla muitos argumentos que a tornam indispensável na melhoria das condições ambientais e na qualidade de vida dos conglomerados urbanos e vem sendo utilizada com sucesso em alguns países, destacando-se, entre eles, Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos da América (EUA).

No Brasil, há poucas áreas em processo de remediação e raras pesquisas sobre o assunto, constituindo, este trabalho, não só uma oportunidade de aprofundar o estudo do tema, como também uma referência aos técnicos da área com relação a processos promissores e ainda praticamente desconhecidos, no país, no que se refere ao tratamento e disposição final de resíduos sólidos. Esta pesquisa consiste na descrição do estado da arte de remediação de áreas, e no estudo do caso de Americana, cidade onde foi implantado o terceiro sistema integrado de remediação do Brasil.

Não constitui escopo deste trabalho, a análise da recuperação de áreas erodidas, nem daquelas impactadas por operações puramente mecânicas de mineração ou de atividades relacionadas à implantação de obras de Engenharia Civil. Não será, também, aprofundada a análise dos impactos ambientais causados pelas áreas degradadas. Interessa aqui a sua identificação, a descrição do comportamento de alguns poluentes e a abordagem de problemas deles decorrentes. Além disto, também não fará parte desta dissertação, no ítem referente ao estudo do caso, a análise de outros processos utilizados, além da aceleração da decomposição anaeróbia. Não será contemplada, também, a atenuação dos impactos ambientais relacionada à implantação do projeto, nem será feita qualquer análise econômico-financeira.

## 2 - OBJETIVO

O objetivo da presente pesquisa é avaliar a eficiência de remediação da etapa de aceleração da decomposição anaeróbia, através da estimativa de redução mássica e do monitoramento da demanda química de oxigênio (DQO) e dos metais pesados dissolvidos no chorume.

### 3 - REVISÃO DA LITERATURA

A tecnologia de remediação de áreas degradadas será melhor compreendida e justificada a partir de uma visão geral do processo de geração dos resíduos, bem como dos impactos ambientais que ocasiona.

A fim de facilitar esta visão geral, pretende-se abordar os seguintes tópicos:

- Origem e formação dos resíduos sólidos;
- Lixo e poluição: impactos ambientais;
- Remediação de áreas;

#### 3.1 - ORIGEM E FORMAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A origem dos resíduos sólidos encontra-se fundamentada na própria existência do homem. A partir do momento que começa a existir, o ser vivo já começa a gerar resíduos, portanto a relação homem x lixo é inquestionável.

Segundo LIMA (71), alguns conceitos fundamentais determinam a origem e formação dos resíduos sólidos:

#### A) HETEROGENEIDADE E ANISOTROPIA DO LIXO:

Os resíduos sólidos são formados por materiais heterogêneos e anisotrópicos. A heterogeneidade é devida ao fato de serem provenientes de diferentes origens, cada uma das quais lhes confere características específicas, tornando-os anisotrópicos. O termo anisotropia provém dos radicais gregos "anis" e "tropos", que significam desigual e transformação ou evolução, respectivamente. FERREIRA (52), define anisotropia como a característica de uma substância que apresenta propriedades físicas desiguais, conforme a direção.

LIMA (71), coloca que, da associação dessas características decorre a grande dificuldade encontrada em seu manuseio: os resíduos sólidos não obedecem às leis da dinâmica dos fluidos, ou seja, não escoam por uma tubulação como os líquidos, não percolam segundo as leis da hidráulica, não são passíveis de lançamento num sistema de coordenadas cartesianas para estudo e, por estes motivos, foram abandonados durante anos, fato que, conduz a um grau de incerteza em torno de 30% a qualquer trabalho hoje realizado nessa área.

#### B) IRREVERSIBILIDADE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS:

Considerada sob o ponto de vista físico, a origem dos resíduos sólidos tem sua explicação na segunda lei da termodinâmica, representada na equação 3.1.

$$W = E_H - E_L, \text{ onde:} \quad (3.1)$$

$W$  = Trabalho realizado (ergs);

$E_H$  = Quantidade de energia armazenada no sistema (calorias);

$E_L$  = Perdas ocorridas na realização do trabalho (calorias).

Segundo esta lei, a capacidade de realização de um trabalho por um sistema é igual a quantidade de energia por ele armazenada deduzidas as perdas que ocorrem no processo. A lei postula ainda que, enquanto que a energia total envolvida num processo é sempre constante, a quantidade de energia útil vai diminuindo, dissipando-se em calor, fricção, etc., não podendo ser completamente recuperada.

Como os resíduos sólidos constituem uma fração da energia que se perde no ambiente, LIMA (71) conclui que a possibilidade de recuperação da sua energia total é impossível, conduzindo a um rendimento sempre inferior a 100%, o que comprova a tese da irreversibilidade da geração de resíduos.

#### C) A ENTROPIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS:

Segundo CAPRA (24), a entropia, conceito introduzido por Classius, no século XIX, é definida como a quantidade de energia necessária para trazer um sistema do estado energético desordenado, em que se encontra, até o estado de equilíbrio. Assim, a entropia seria um parâmetro para medir o grau de evolução de um sistema físico. Quanto mais desordenado estiver o sistema, maior a sua entropia, ou seja, maior a quantidade de energia necessária para trazê-lo até o estado de equilíbrio.

O mesmo autor coloca que, de acordo com a física clássica, o universo está caminhando como um todo para um

estado de máxima entropia, no qual irão declinando gradualmente os processos espontâneos de troca energética até que finalmente cessem, ficando o material uniformemente distribuído à mesma temperatura, caracterizando o estado de "morte térmica".

Observa-se que essa imagem da evolução cósmica, entretanto, está em nítido contraste com a idéia evolucionista sustentada pelos biólogos os quais colocam que o universo vivo evolui da desordem para a ordem, caracterizada por estados de complexidade sempre crescentes, defendendo, ainda que a concepção mecanicista do universo, como um sistema em constante movimento randômico, é simplista demais para explicar vários fenômenos.

CAPRA (24), citando Boltzmann, mostrou, que o comportamento dos processos físicos deve ser descrito com o auxílio da estatística. A transformação da energia mecânica em térmica, por exemplo, processo básico na questão do aumento da entropia de um sistema, não é impossível, mas apenas extremamente improvável. Boltzmann demonstrou que, nos sistemas macroscópicos, a probabilidade de aumento da desorganização global do sistema torna-se virtualmente certa, confirmando os princípios gerais da segunda lei da termodinâmica, mas em sistemas microscópicos, que consistem apenas de algumas moléculas, a citada lei é violada regularmente.

#### DO A MULTIDISCIPLINARIDADE DOS RESÍDUOS

Segundo CAPRA (24), a visão do mundo que está surgindo a partir da física moderna, com as descobertas de Einstein e de outros cientistas, exige profundas mudanças

nos conceitos de espaço, tempo, matéria, causa e efeito, podendo caracterizar-se como orgânica, holística e ecológica, ou, melhor dizendo, sistemática. Isto significa que o universo deixa de ser visto como uma máquina, composta de uma infinidade de objetos, para ser descrito como um todo dinâmico, indivisível, cujas partes são essencialmente inter-relacionadas e o comportamento de qualquer uma delas é determinado por suas conexões com o todo. Como não são conhecidas precisamente essas conexões, tem-se que substituir a estreita noção de causa e efeito por um conceito mais amplo de causalidade estatística.

CAPRA (24) coloca, ainda, que toda teoria científica é uma aproximação da verdadeira natureza da realidade e é válida com relação a uma certa gama de fenômenos, mas, com relação a outros, ela deixa de oferecer uma descrição satisfatória. Cada ciência tem que descobrir as aplicabilidades e limitações de determinada teoria no respectivo contexto.

### 3.1.1 - FATORES QUE INFLUENCIAM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O'LEARY and WALSH (97), LIMA (76), e outros colocam que a produção de resíduos está associada, basicamente, a dois fatores: aumento da população e grau de industrialização, conforme mostram os gráficos das Figuras 3.1 e 3.2.

Outros fatores que influenciam na formação dos resíduos sólidos, excluindo os de origem industrial, são, segundo LIMA (76), os seguintes: condições sócio-econômicas, área relativa de produção, hábitos e

# FIG. 3.1- EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO MUNDIAL

1910/1987

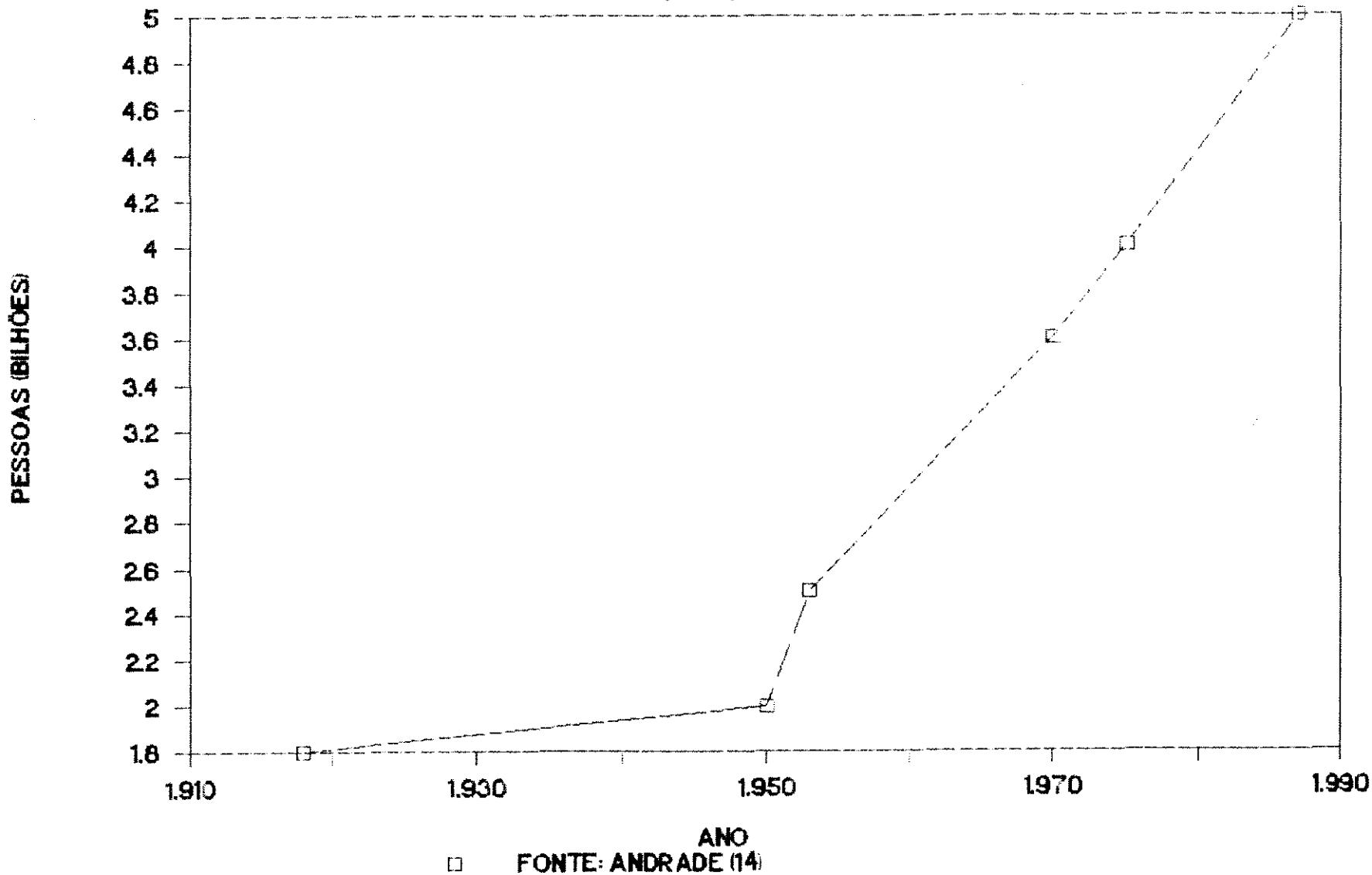
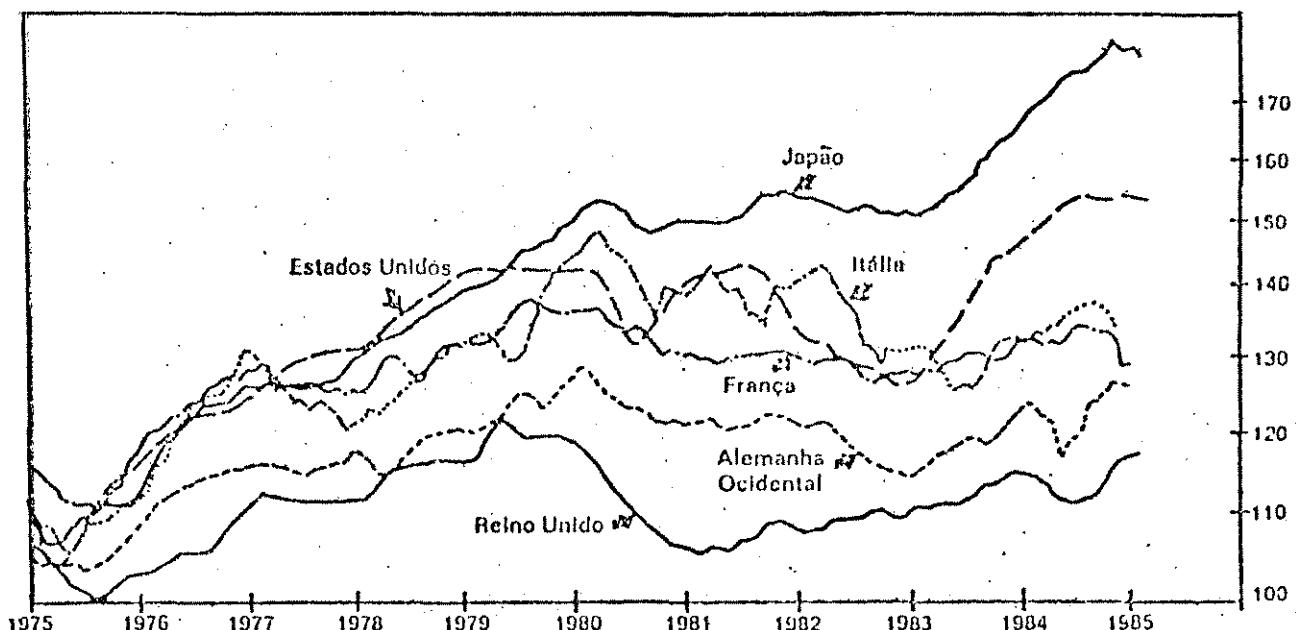


FIGURA 3.2 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL - 1975/1985



FONTE: LIPIEZ (79)

costumes da população, nível educacional, poder aquisitivo, condições climáticas, variações sazonais, atividades de coleta e leis e regulamentações específicas.

Segundo O'LEARY e WALSH (97), variações quantitativas e qualitativas dos diversos componentes dos resíduos ocorrem de uma sociedade para outra e, dentro da mesma sociedade, de acordo com a variação dos fatores que influenciam no processo. Conforme os mesmos autores, a

identificação destes fatores é uma tarefa complexa e somente um estudo ao longo dos anos poderia revelar informações mais precisas no que se refere à origem e formação dos resíduos de determinada comunidade.

### 3.1.2 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Por caracterização dos resíduos sólidos, entende-se o seu levantamento quali-quantitativo; enquanto que a sua classificação, considerando o critério de origem, segundo LIMA (73), é mostrada no diagrama na Fig. 3.3.

O'LEARY and WALSH (97), citam alguns fatores que justificam a necessidade de caracterização dos resíduos:

- a) A comparação e análise de dados cronológicos indicam a mudança na composição e densidade dos resíduos no decorrer dos anos;
- b) É um dado a ser considerado no dimensionamento da vida útil da área, no caso de o processo de remediação adotado contemplar a disposição simultânea de novos resíduos gerados;
- c) O tipo de tratamento e os equipamentos necessários podem ser especificados adequadamente;
- d) Dados de peso e volume são importantes no projeto de instalações de estocagem e dos equipamentos de compactação;
- e) Os veículos para coleta adequada de resíduos\* podem ser

projetados e/ou especificados.

As TABELAS 3.1 a 3.3, oferecem alguns dados relativos, basicamente, aos resíduos de origem doméstica e correlatos, os quais serão discutidos no ítem 3.3.4.

**FIGURA 3.3 - DIAGRAMA DE FLUXO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

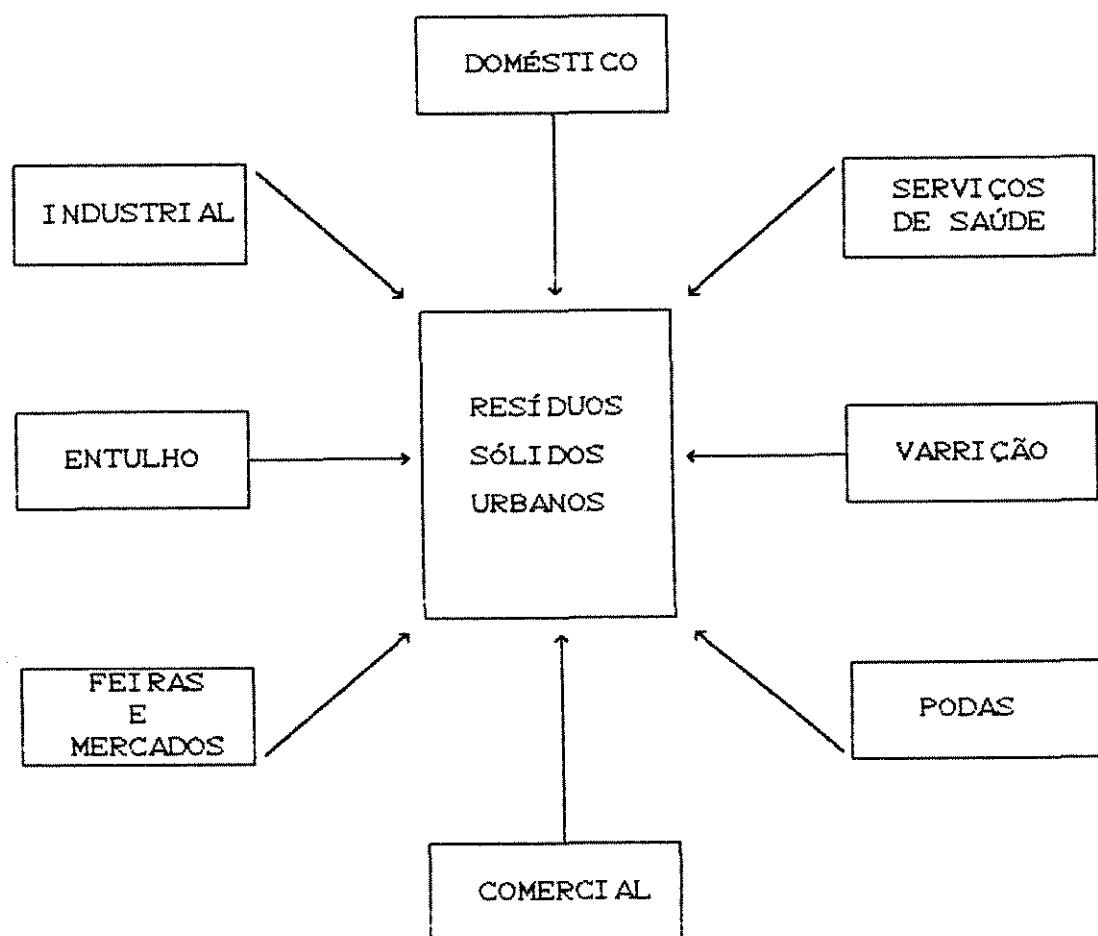


TABELA 3.1 - GERAÇÃO ANUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUNS PAÍSES

PAÍS	ANO	QUANT. GERADA ( $10^6$ t/ano)			FON- TE	OBSERVAÇÕES
		Municipal	Indust.	Total		
Áustria	1990	1,7	-	-	25	*
Áfr. do Sul	1990	12	-	-	"	
Alemanha	1985	24	12 <sup>(*)</sup>		"	Parte Ocid.
Brasil	1984	-	34 <sup>(**)</sup>		80	
	1990	-	50 <sup>(**)</sup>	-	80	res. tóxico
	1991	87	-	-	99	
Canadá	1990	-	-	25	25	
Dinamarca	1990	1,3	-	-	"	Doméstico
EUA	1990	3,4	-	-	"	" +Comerc.
	1988	180	-	-	97	
Finlândia	1990	270	-	$10 \times 10^3$	57	(****)
	1990	2	-	-	25	Doméstico
França	1990	3	-	-	"	" +Comerc.
	1990	17,8	150	-	"	
Holanda	1990	49,8	-	-	"	(*****)
	1990	8,5	-	-	"	(*****)
Itália	1990	17,3	-	-	"	
Japão	1990	41	-	-	"	
Portugal	1987	-	1,05	-	103	Res. Perig.
Reino Unido	1990	18	-	-	25	
Suécia	1990	2,5	-	-	"	
Suíça	1990	6,3	-	-	"	
União Sov.	1989	57	-	-	18	URSS

\* - Dado relativo a resíduos industriais, em geral, 1985.

\*\* - Trata-se de estimativas grosseiramente realizadas.

\*\*\* - Os dados totais incluem todos os tipos de resíduos, inclusive os de construção, demolição, mineração, etc.

\*\*\*\* - Domésticos + industriais similares aos domésticos. Não inclui resíduos orgânicos.

\*\*\*\*\* - Doméstico mais limpeza de ruas e comercial.

TABELA 3.2 - COMPOSIÇÃO FÍSICA DO LIXO EM ALGUMAS CIDADES

ITEM	CIDADE BELO H <sup>TE</sup> (BRASIL) (*)	VILLEPARISIS (FRANÇA) (**)	SABA (CARIBE) (***)	MINSK (URSS) (****)
Papel	13	33	25	22
Papelão	6		25	-
Madeira	1	6	-	2
Têxteis	2	2	-	3
Plástico	10	12	11	6
Matéria orgânica	52	10	5	40
Metais	6	6	10	4
Vidro	7	11	10	7
Podas de árvores e jardins	-	-	5	-
Móveis/eletrodom.	-	-	5	-
Outros	3	20	4	16

## FONTES:

(\*) Relatório Mensal de Estatística e Custo 05/89

Associação Brasileira de Limpeza Pública

(\*\*) ATTAL (15)

(\*\*\* ) HULS (62)

(\*\*\*\*) BLATTERT (18).

TABELA 3.3-A - COMPOSIÇÃO FÍSICA DO LIXO DA CIDADE DE AMERICANA

COMPONENTE	% PESO (BASE ÚMIDA)	
	1986(*)	1988(**)
Matéria orgânica (1)	45	64
Papel e papelão	13	15
Plástico fino e grosso	12	8
Trapo, couro e borracha	20	5
Metais	6	5
Madeira	2	1
Vidro, terra e pedra	1	2
Outros	1	-
TOTAL	100	100

(1)-Refere-se à matéria orgânica facilmente degradável.

TABELA 3.3-B - OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO LIXO DE AMERICANA  
(\*\*)

Umidade do lixo	52%
Umidade da Matéria Orgânica	53%
Resíduos secos	48%
Sólidos voláteis	55%
Sólidos fixos	45%
pH	5,11

FONTES: \* - LIMA e AKUTSU (78)

\*\* - ALVIM (13)

Serão, aqui, referenciados, brevemente, os resíduos de origem industrial e dos serviços de saúde, que, muitas vezes, determinam as características de periculosidade das áreas degradadas, conforme normalizado pela NBR-10004 (89), exigindo técnicas de remediação diferenciadas. Segundo LUZ (80), as nações desenvolvidas produzem cerca de 90% de todos os rejeitos Classe I do globo, embora os 10% dos demais países signifiquem, aproximadamente, cinco milhões de toneladas anuais de lixo tóxico. O autor coloca que, dos países em desenvolvimento, o Brasil é o que mais produz resíduos sólidos industriais e este quadro tende a piorar já que a produção industrial está cada vez mais se ampliando, o que significa uma geração igualmente maior de rejeitos.

Leonard, "apud" LUZ (80), avalia em aproximadamente 34 milhões de toneladas, a quantidade de resíduo industrial produzida apenas no Brasil e Magalhães (81), coloca que, com o objetivo de simplificar as soluções, na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), procura-se observar o tipo de resíduo gerado em cada uma das atividades industriais e agrupam-se as empresas de acordo com a semelhança e/ou tipo de tratamento e disposição exigida. Dessa maneira, foram constituídos os seguintes grupos:

- GRUPO 1 - Produtos farmacêuticos, perfumaria, adubos e corretivos agrícolas; café solúvel, torrefação e moagem; trigo, milho e soja; massas alimentícias, biscoitos, laticínios e derivados; bebidas, carnes e derivados; azeites e óleos alimentícios, produtos congelados e açúcar;
- GRUPO 2 - Material de segurança, vidros, óptica, refratários, cerâmicas, construção civil, pneumáticos e artefatos de borracha; fiação e tecelagem, papel, papelão celulose, têxteis, confecções, calçados, curtimento, couro

- GRUPO 3 - Resíduos sintéticos, material plástico, tintas e vernizes;
- GRUPO 4 - Produtos químicos;
- GRUPO 5 - Tratores, automóveis, caminhões e similares, componentes para veículos automotores, material e equipamento rodoviário e ferroviário;
- GRUPO 6 - Fundição, trefilaria e laminação, forjaria, ferros e metais;
- GRUPO 7 - Mineração, fumo, brinquedos, relojoaria, abrasivos, máquinas, aparelhos elétricos e eletrônicos, condutores elétricos;
- GRUPO 8 - Estamparia de materiais, funilaria, tratamentos superficiais, artefatos de metais, não ferrosos;

PEREIRA NETO, (99), estima que a média de produção de resíduos dos serviços de saúde, no Brasil, é de, aproximadamente, 6kg/leito/dia, para os hospitais em geral, e 3 kg/leito/dia para os hospitais especializados. O autor relaciona alguns aspectos da grave situação em que se encontra o gerenciamento dos resíduos dos serviços de saúde, no Brasil, conforme explicitado a seguir:

- a) O pessoal designado para manusear o lixo patogênico não possui a mínima formação ou qualificação para a tarefa que exerce;
- b) A coleta interna, geralmente, não é diferenciada;
- c) O acondicionamento tem sido feito de maneira incorreta, em sacos de lixo comuns e o transporte interno realizado sem o auxílio de carrinhos coletores apropriados;
- d) O projeto arquitetônico dos hospitais, de maneira geral, não permite que o lixo patogênico tenha circulação própria;
- e) O lixo patogênico, em geral, não é tratado antes de ser

descartado, ficando estocado em locais impróprios dentro das unidades de saúde, ou mesmo nas calçadas aguardando a coleta municipal comum;

f) A forma de destino final tem sido, geralmente, o despejo a céu aberto, juntamente com o lixo domiciliar urbano.

### **3.2 - LIXO E POLUIÇÃO: IMPACTOS AMBIENTAIS**

Impactos ambientais são, segundo ODUM (95), alterações sofridas pelo ambiente em tal profundidade que desenvolvam forças e/ou momentos que impeçam o seu retorno às condições de equilíbrio. O mesmo autor cita que, em 1973, Holling desenvolveu uma teoria largamente aceita de que as populações e, por inferência, os ecossistemas, possuem mais de um estado de equilíbrio e voltam frequentemente a um estado diferente depois de uma perturbação, o que não caracteriza, pois, um impacto ambiental, uma vez que foi atingido o equilíbrio, embora em outro nível energético.

Ainda segundo ODUM (95), os ecossistemas são ricos em informações que compreendem fluxos de comunicação físicos e químicos, interligando todas as partes e governando ou regulando o sistema como um todo, mas, embora a natureza possua todos esses mecanismos de defesa, situações existem em que o equilíbrio é rompido. É o que acontece, por exemplo, nos casos de contaminação proveniente de disposição inadequada de resíduos sólidos.

Os impactos ambientais causados pelas áreas contaminadas se manifestam no solo, ar e água, exibindo, cada um desses meios, particularidades próprias de degradação, que serão analisadas, sucintamente, nos ítems 3.2.1 e 3.2.2.

### 3.2.1 - MIGRAÇÃO DE CHORUME

Segundo CANZANI and COSSU (23), a principal fonte de impacto ambiental devido à disposição inadequada de resíduos sólidos é, sem sombra de dúvidas, a migração de chorume na água superficial e subterrânea, o que pode levar ao seu comprometimento através da contaminação por compostos orgânicos e íons metálicos.

No caso de aterros, segundo os mesmos autores, os principais fatores que determinam a formação de chorume são os seguintes:

- a) Disponibilidade de água: chuvas, presença de água superficial, umidade das lamas encaminhadas à área de disposição, recirculação do chorume ou irrigação da cobertura final do aterro;
- b) Características da cobertura final: tipo de solo e vegetação, presença de material de cobertura impermeável, declividade e outras características topográficas;
- c) Características do resíduo aterrado: composição, densidade, método de aterramento e umidade do resíduo por ocasião do aterramento;
- d) Método de impermeabilização da área de aterramento e/ou características do solo.

Considerando os aterros sanitários típicos que recebem resíduos municipais e comerciais, excluindo uma parcela significativa de resíduos industriais específicos, conforme CHRISTENSEN et alii (35), os agentes poluentes do chorume podem ser classificados em quatro categorias:

- a) Cátion e ânions inorgânicos:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ;
- b) Metais pesados:  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Co}^{2+}$ ;
- c) Matéria orgânica expressa em termos de Demanda Química de Oxigênio, incluindo os ácidos voláteis, em particular na

fase ácida da degradação dos resíduos;

d) Compostos orgânicos específicos, originados de produtos químicos industriais ou domésticos, presentes em baixa concentração no chorume. Estes compostos incluem uma variedade de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e alifáticos clorados.

Outros compostos, citados pelos autores, podem ser encontrados no chorume: boratos, sulfetos, arsenatos, selenatos, mercúrio, bário e compostos oleosos, mas, em geral, são de importância secundária.

Segundo CHRISTENSEN et alii (35), uma vez na água subterrânea, o chorume produz várias zonas de potencial redox ( $E_h$ ), cujas formas das plumas dependem, em grande parte, das condições hidrogeológicas locais:

a) Próximo ao ponto de descarga, desenvolve-se uma zona fortemente anaeróbia, com potencial redox apropriado à geração de metano e, surgirão, a seguir, outros processos de oxi-redução viáveis em altos níveis de  $E_h$ ;

b) Imediatamente após esta zona, aumentando ainda mais o  $E_h$ , desenvolve-se um sistema de tamponamento, formado por pares redox inorgânicos, criando uma zona anóxica, caracterizada pela presença de nitratos, manganatos, compostos férricos e sulfatos. Nesta zona não há formação de metano e encontra-se ausente o oxigênio livre;

c) Finalmente, o chorume diluído e atenuado tem acesso à zona aeróbia, onde se encontra oxigênio, embora em pequenas quantidades.

Com relação ao item "a", não foi informado, pelo autor, o valor do  $E_h$  do chorume no ponto de descarga, entretanto LIMA (69), apresenta a faixa de variação do  $E_h$  do lixo, em fase de decomposição, nos aterros sanitários, no intervalo compreendido entre -600 e +200mV, os valores superiores referentes a condições aeróbias, passando pelos valores intermediários referentes à fase anaeróbia ácida e metânica instável, atingindo a fase metânica estável

próximo ao limite inferior da faixa.

Conforme JESSBERGER (65), atualmente, estão aumentando as exigências para padronização dos parâmetros geotécnicos das áreas de disposição de resíduos, uma vez que a segurança da instalação depende das propriedades do subsolo, a denominada barreira geológica e, posteriormente, do sistema de vedação usado no fundo e no topo. Embora tais elementos, por si só, não resolvam a problemática da migração de chorume, não podem ser descuidados, no controle da contaminação do solo e recursos hídricos.

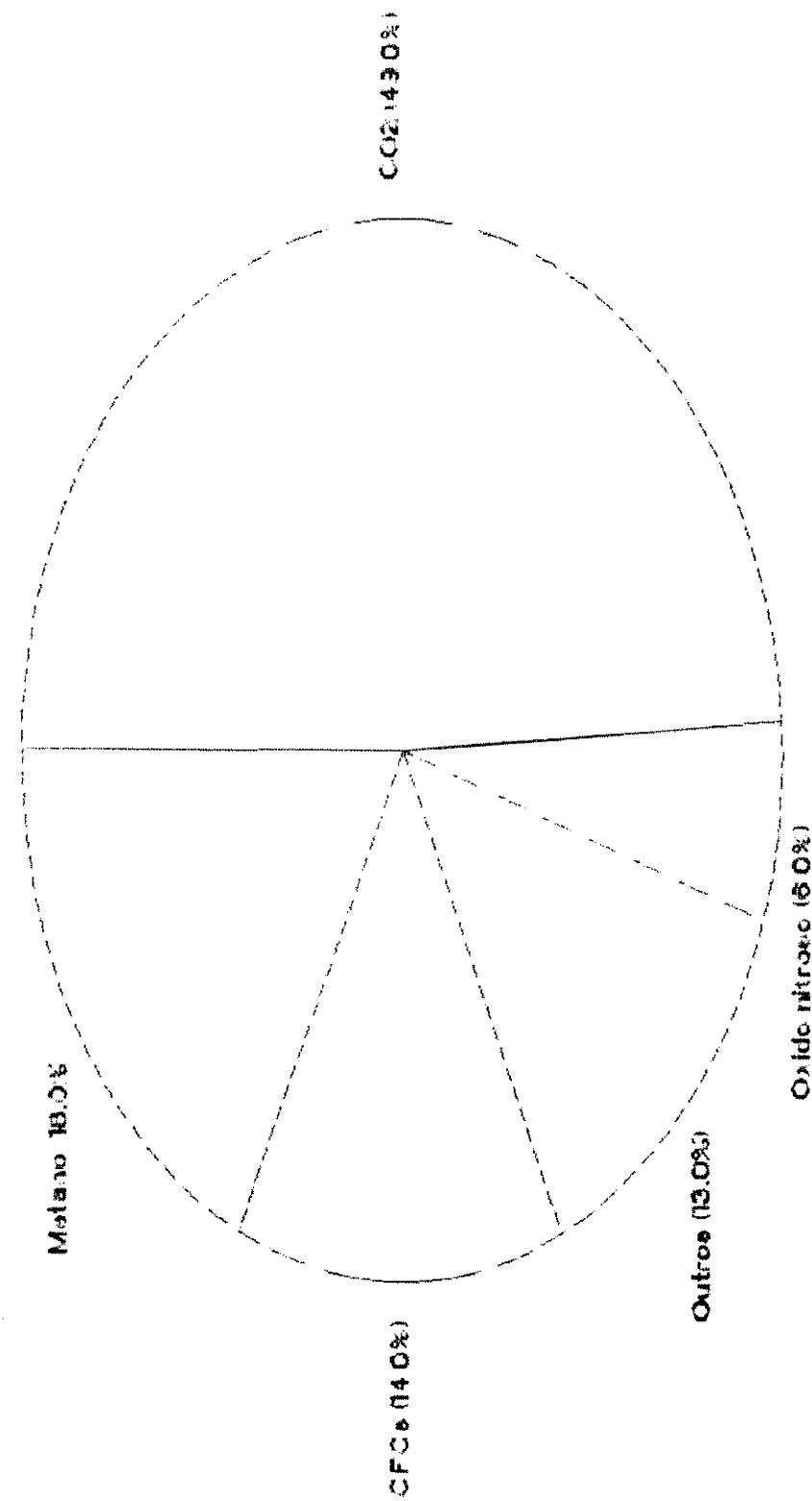
### 3.2.2 - EMISSÕES AÉREAS

Embora a migração aérea mais facilmente detetável, proveniente das áreas degradadas, encontre-se restrita a um perímetro de algumas centenas de metros da área contaminada, estudos apresentados por THORNELONE, (121), em 1991, identificam o metano proveniente das áreas de disposição de resíduos sólidos, como o segundo elemento causador do efeito estufa, na atmosfera, conforme visualizado no gráfico da Fig. 3.4.

Conforme CHOW and DIMMICK (33), a Environmental Protection Agency (EPA) dos EUA está propondo revisão do Clean Air Act (CAA) para aterros municipais, consistindo, basicamente, de exigência de instalação de sistemas de coleta e combustão de gases de aterro, enquanto que, na Europa, um dos avanços obtidos pelo Mercado Comum Europeu foi a unificação dos padrões para controle da poluição aérea, nos países membros, que se encontram defasados em relação à Alemanha Ocidental, Suécia e Áustria.

Estudos conduzidos por RETTENBERGER and STEGMANN (105), concluíram que a composição média dos principais gases de aterro é a seguinte: 55 a 65% de metano, 40 a 45%

FIG.3.4 - AUMENTO DI EFFETTO ESTUFA  
CONTRIBUTO SCSCD COMPOSTI GAZZERI



FONTE: THORNELONE (12).

de dióxido de carbono e elementos-traço, formados por compostos oxigenados, sulfurosos e hidrocarbonetos, cuja concentração depende da composição do resíduo. Destes, segundo os autores, o metano é o componente mais problemático, devido ao fato de sua concentração ser em torno de  $3 \times 10^5$  vezes maior que a encontrada na atmosfera, exigindo técnicas apropriadas de controle.

Segundo RETTENBERG E R and STEGMANN (105), as emissões sulfurosas, a degradação dos compostos oxigenados e dos hidrocarbonetos contribuem para as precipitações ácidas durante a fase intermediária de formação do ácido carbônico. Os autores colocam que estes compostos causam dois importantes efeitos no ambiente: a destruição da camada de ozônio e alterações climáticas devido à absorção dos raios infra-vermelhos (efeito estufa).

Com relação aos impactos ambientais dos hidrocarbonetos clorados na atmosfera, RETTENBERGER and STEGMANN (105) concluíram que os átomos de hidrogênio do composto são rapidamente oxidados pelo ar; entretanto, os átomos de flúor, comumente integrando os compostos denominados "freons", não são destruídos pelos processos fotolíticos, permanecendo no ambiente, às vezes, por período superior a 10.000 anos, como é o caso do tetrafluormetano.

Conforme GENON (56), a avaliação da dispersão de compostos orgânicos voláteis (COV) na vizinhança das áreas de disposição é muito complexa e depende das condições locais. O autor propõe padrões para descarga destes poluentes em aterros, conforme Tab. 3.4, uma vez que os mesmos não se encontram, ainda, estabelecidos.

Pesquisas conduzidas por CAMPBELL (19), estabeleceram que as consequências mais comuns da migração de gases dos resíduos sólidos, no solo, referem-se à morte e efeitos fitotóxicos na vegetação da área de disposição e adjacências, devido à depleção do oxigênio na zona radicular das plantas.

TABELA 3.4 - PROPOSTA DE PADRÕES P/ DESCARGA DE COV EM ATERROS

RESÍDUO	mg/kg
Pentaclorofenol	25,00
Fenol	25,00
2,4-Dimetilfenol	25,00
Cianetos	2,50
Monoclorobenzeno	250,00
Tetracloroetileno	250,00
Triclorometano	2,50
Benzeno	2,50
Xileno	250,00
Aminas alifáticas	10,00
Formaldeído	10,00

FONTE: GENON, (56).

Segundo O'LEARY e WALSH (97), a concentração de metano superior a 5% é explosiva; nos ambientes fechados, como este gás é mais leve que o ar, acumula-se no teto e, quando não confinado, observa-se distância de migração de até 1.500m. Os modelos de Farquhar e Metcalf, criados em 1982, podem predizer, aproximadamente, os padrões de migração de metano a partir de aterros existentes, conforme citação dos autores.

O'LEARY e WALSH (97), alertam que, além de problemas ambientais e da ocorrência de doenças relacionadas a compostos específicos integrantes do gás de aterro e de outras áreas degradadas, explosões e ocorrência de fogo em poços, tubulações e fundações, na área de disposição e adjacências, são relatados, em alguns casos, com vítimas fatais.

### 3.3 - REMEDIACÃO DE ÁREAS

Conforme LIMA (72), a remediação de áreas degradadas é consubstancial a um amplo conjunto de disciplinas interligadas por um objetivo comum: a preservação da biosfera e a melhoria da qualidade de vida dos seres que nela habitam. Este objetivo torna-se viável adotando-se sistemas que atuem de forma integrada sobre os principais elementos da natureza: o solo, o ar, a água e os seres vivos. Segundo este autor, adotando-se tecnologias variadas que vão desde a aceleração da decomposição dos resíduos até a sua imobilização, torna-se possível recuperar áreas já esgotadas pela utilização de métodos de aterramento convencionais, hoje considerados obsoletos; pela disposição de resíduos em "lixões"; ou mesmo, por derramamentos acidentais.

A técnica de remediação de áreas objetiva, segundo o mesmo autor, além da solução de problemas emergentes, a perenização das áreas de disposição de resíduos sólidos, com vistas a eliminar do estado da arte o conceito equivocado de aterro finito, ou seja, as áreas de disposição de resíduos sólidos podem e devem passar por um processo de remediação e reciclagem de maneira a permitir não só a sua recuperação como também a sua reutilização.

#### 3.3.1 - LEVANTAMENTOS PRELIMINARES

Neste item, será oferecida uma visão sucinta não só dos programas de remediação em andamento em alguns países, como também dos esforços encaminhados neste sentido através de pesquisas, programas experimentais, etc. Além disto, será feito um levantamento preliminar da situação

brasileira, por se constituir este país o alvo prioritário deste trabalho.

### 3.3.1.1 - A SITUAÇÃO NA EUROPA

Conforme KOVALICK (67), em geral, os europeus possuem mais áreas degradadas do que fundos especialmente voltados à sua remediação. Segundo o autor, em meados de 1990, a Áustria tinha mais de 4000 áreas abandonadas, enquanto a Alemanha teria 100.000 áreas degradadas e a Holanda 6000 áreas prioritárias. MORSELLI et alii (86), apresentam dados inferiores aos de KOVALICK (67), com relação à Alemanha, como pode ser visto na Tab. 3.5, mas que, entretanto, lhes dão respaldo, uma vez que referem-se a levantamentos realizados em data anterior.

Segundo KOVALICK (67), para encaminhar a solução deste problema, os austriacos adaptaram o "Okofund" (Fundo de recursos do governo destinado à área ambiental) a este objetivo. Os alemães, através do "German Council of Environmental Advisors", consideram que o alto custo do programa de remediação, em seu país, tornar-se-á aceitável adotando-se uma política de remediação gradual; os holandeses estimam em U\$ 2,5 bilhões o custo referente às áreas prioritárias e o Reino Unido destinou £ 33 milhões ao programa inicial de remediação de 1000 aterros antigos.

Segundo MORSELLI et alii (86), a lei italiana estabelece que a responsabilidade de fiscalização das áreas degradadas compete aos governos regionais, tendo o Ministério do Meio Ambiente da Itália destinado ao programa de remediação de áreas um fundo de, aproximadamente, US 120 milhões, durante os anos de 1988 e 1989.

Como se pode verificar através dos dados da Tab. 3.6, os países europeus não apresentam uniformidade no

TABELA 3.5 - LEVANTAMENTO DO NÚMERO DE ÁREAS CONTAMINADAS  
NA EUROPA

PAÍS	ANO	Nº DE ÁREAS CONTAMINADAS	TIPO
Alemanha	1988	48100	Lixão em + área indust. atividade aband. ou em atividade
Dinamarca	1988	5000	" "
França	1985	453	" "
Holanda	1988	6060	" "
Inglaterra	1984	10000ha	Lixão abandonado
Catalônia		1015	Área industrial aban- donada ou em atividade
Itália	1986	4575	"
CEE		120-160x10 <sup>3</sup>	"

FONTE: MORSELLI (86).

TABELA 3.6 - PROCESSOS DE TRATAMENTO ADOTADOS EM ALGUNS PAÍSES

PAÍS	PROCESSO (%)			
	ATERRO	INCINERAÇÃO	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM
Afr. do Sul <sup>1</sup>	69,2	20,8	3,1	3,8
Alemanha	74	24	-	2
Áustria <sup>2</sup>	64	20	-	16
Canadá	95	4	1	-
Dinamarca	31	50	18	1
EUA	83	6	11	-
Finlândia	95	2	3	-
França	47,9	41,9	0,6	8,7
Holanda	51	34	15	-
Itália	83,2	13,9	0,6	2,3
Japão <sup>2</sup>	29,6	67,6	-	2,8
Polônia	99,9 <sup>3</sup>	-	-	-
Reino Unido	88	11	1 <sup>4</sup>	-
Suécia	35	60	5 <sup>5</sup>	-
Suíça	20	80	-	-

<sup>1</sup> 225 dos 564 aterros não são controlados.

<sup>2</sup> O quadro não leva em conta a reciclagem.

<sup>3</sup> Inclui resíduos dispostos em aterros controlados e não controlados. Menos de 1% dos aterros são, verdadeiramente, aterros sanitários.

<sup>4</sup> A maioria se constitui em plantas de CDR (Combustível Derivado de Resíduos).

<sup>5</sup> Plantas de triagem / compostagem.

manejo de resíduos sólidos, mas, não só na Europa, como em todo o mundo, a tendência atual é o aproveitamento energético. Esta política encontra no gerenciamento de resíduos sólidos um largo campo de atuação, que, em muitos casos, se traduz pelo incentivo à reciclagem, compostagem da fração não contaminada (ver foto da Fig. 3.5, onde são triturados troncos de árvores, para, em seguida, serem encaminhados às pilhas de compostagem) e, por último, incineração dos resíduos não passíveis de aproveitamento.

O Reino Unido é o país da Europa Ocidental que apresenta o mais alto índice de aterramento, com 88% de seu resíduo sólido disposto em aterros. Segundo CARRA and COSSU (25), neste país, a política de recuperação de energia é dirigida, exclusivamente, para os processos de CDR. Segundo os autores, reconhecendo que os perigos, problemas e soluções de cada área contaminada são diferentes e que as tecnologias usadas são específicas, o governo criou um comitê inter-departamental para recuperação das áreas degradadas, formado pelo Departamento Ambiental, Departamento de Previdência Social e Saúde, Conselho Britânico e Escocês, e outros órgãos do governo.

Este comitê produziu o seu primeiro documento em 1979 e, em 1983, publicou as normas para avaliação e recuperação de áreas contaminadas, encontrando-se em andamento, atualmente, a implantação dos padrões para identificação e investigação destas áreas.

Segundo CHRISTENSEN (34), na Dinamarca, existem muitos casos de contaminação da água subterrânea por aterros antigos, mas recursos substanciais estão sendo, agora, investidos na remediação destas áreas. Pesquisas iniciadas sobre o assunto podem gerar importantes informações relativas aos riscos ambientais dos aterros modernos, a longo prazo. O autor coloca que, na Dinamarca, o chorume é visto como um importante fator para a estabilização dos resíduos. A integração do aterro ao ambiente vizinho deve constituir a meta final a ser

FIGURA 3.5 - TRITURAÇÃO DE TRONCOS E RAÍZES  
PLANTA DE COMPOSTAGEM - NORDERSTEDTH, HAMBURGO.



perseguida. Segundo ele, as emissões aéreas não são objeto de estudo, na Dinamarca, no momento, e não são consideradas um problema ambiental significativo, no país.

Segundo STEGMAN (118), na Alemanha, encontra-se em discussão o conceito de proteções múltiplas de aterros sanitários, com os seguintes enfoques: o resíduo, o sistema de revestimento, o aterro propriamente dito, o sistema de cobertura dos aterros, o monitoramento e controle do aterro ao longo da vida útil e após o fechamento, bem como o uso controlado da área. De acordo com o mesmo autor, para efeito de planejamento, distinguem-se três tipos de aterros:

- Aterros de inertes para resíduos cujos contaminantes foram submetidos a processo de extração ou imobilização, de maneira que seja mínima a possibilidade de lixiviação;
- Aterros-reactores, para resíduos constituidos de compostos orgânicos degradáveis, que possam ser mineralizados em curto período de tempo;
- Aterros subterrâneos, para resíduos perigosos. No futuro, pré-tratamento será exigido com o objetivo de reduzir a liberação de contaminantes. A possibilidade de estocagem de resíduos inorgânicos, contendo altas concentrações de sais, em minas de sal abandonadas, está sendo ativamente discutida. Tais áreas seriam operadas de maneira a não possibilitar contato com a água (sistema de revestimento de fundo e cobertura acima do solo).

Segundo NILSSON (94), em 1984, um inventário nacional de aterros antigos foi realizado na Suécia, com o objetivo de levantar dados para locação de novas áreas de disposição, identificação de resíduos, etc. Pelos resultados do inventário, apenas 20 dos 4000 aterros analisados necessitavam de ações de recuperação imediatas e outros 500 de avaliações posteriores. Encontra-se em discussão como cobrir os custos de recuperação destas áreas.

McILVANE (84), cita que a Suécia tem uma instalação centralizada de tratamento de resíduos perigosos, que recebe resíduos de centros regionais, processando 60.000t/ano, correspondentes a 10% dos resíduos perigosos do país. Um incinerador rotativo é usado para queimar pesticidas, resíduos de pintura, solventes e resíduos oleosos, os quais são, primeiramente, segregados em uma planta de recepção e triagem conforme pode ser visto na Fig. 3.6, onde são separadas embalagens de óleo. (A foto

FIGURA 3.6 - PLANTA DE RECEPÇÃO E TRIAGEM DE RESÍDUOS PERIGOSOS - NORDERSTEDTH, HAMBURGO



foi tomada numa planta de recepção e triagem de resíduos perigosos na Alemanha, similar às existentes na Suécia e Dinamarca). Nos três países, Suécia, Dinamarca e Alemanha, o gás gerado é usado para aquecimento.

### 3.3.1.2 - A SITUAÇÃO NOS ESTADOS UNIDOS

Para melhor descrever o assunto, neste país, será feita uma breve retrospectiva histórica dos fatos que deram origem às preocupações relativas à questão das áreas degradadas, culminando com a criação do programa conhecido como "Superfundo".

#### 3.3.1.2.1 - RETROSPECTIVA HISTÓRICA

Conforme BEAURENGARD (15), as preocupações a respeito de contaminações devidas a resíduos sólidos não são recentes. Os primeiros casos de contaminação da água subterrânea foram documentados em 1932, mas somente nas últimas décadas começaram a ser tomadas algumas providências com relação ao assunto.

Segundo TRAIN (122), alguns fatos precederam a atual tomada de posição:

- Em 23 de março de 1974, EPA decide pela morte de frangos criados em cinco granjas do Mississippi contaminados com Dieldrin;
- Em dezembro de 1974, foram regulamentados os padrões para água potável, cuja revisão ocorrida em 1977, serve como referência genérica até hoje;

- Em outubro de 1976, foi normalizada a remediação de áreas em operação, através do Resource Conservation and Recovery Act (RCRA);
- Em 1980, foi editado o Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) e criado um fundo, administrado pela EPA, com o objetivo de remediar as áreas mais contaminadas dos EUA. A sua criação coincide com notícias veiculadas pela imprensa a respeito de contaminações ocorridas em uma praia do Missouri e no "Love Canal", em Nova York;
- Em dezembro de 1984, em Bopal, na Índia, uma indústria de pesticidas da Union Carbide libera gás, matando, pelo menos, 1600 pessoas e contaminando 50.000.

Em 1984, ROVERS et alii (106), monitoraram a qualidade de água de um rio localizado na área de influência de um aterro submetido a uma técnica de remediação de área que consistia basicamente na implementação de proteção de ordem física para impedir a entrada de água e elementos contaminantes de origem agrícola no aterro, constatando a redução no nível de arsênio, tricloroetano e outros contaminantes. Também foi monitorada a água subterrânea obtendo resultados similares.

Neste mesmo ano, foram implantadas, através do Hazardous and Solid Waste Amendments (HSWA), profundas modificações na maneira como os resíduos perigosos eram gerenciados nos EUA, cujo ponto fundamental foi a exigência de uma permissão legal para liberar qualquer constituinte perigoso para uma área de tratamento ou disposição final, tendo sido o estado da Geórgia o primeiro a implementar as novas medidas, conforme USERY e LANGLEY (123).

Ainda, baseando em TRAIN (122):

- Em 1986, foi normalizada a remediação de áreas inativas, através do Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA), ampliando o fundo de financiamentos para oito e meio bilhões de dólares a ser utilizado num período de

cinco anos.

- Em 1987, o problema da disposição de resíduos sólidos veio repentinamente à tona através do fato ocorrido com um navio carregado de resíduos que saiu de Nova York, pretendendo descarregar na Carolina do Norte, cidade cujo porto se recusou a receber a carga. O navio continuou sua rota para o sul, tentando descarregar o resíduo em vários estados, onde também não conseguiu.

Neste mesmo ano, o diagnóstico e estudo de viabilidade para mais de 300 áreas já se encontrava concluído, outras 60 já estavam sendo descontaminadas e programas de emergência foram iniciados em 400 outras, alguns destes por grupos privados sob a supervisão da EPA, conforme citado nos anais da V Conferência de Resíduos Perigosos, realizada nos EUA, em 1988 (59).

Em 1988, na Conferência sobre Processos de Recuperação de Solos (88), foram discutidos conceitos gerenciais, traçados planos de remediação, analisadas as falhas dos processos existentes e elaborados modelos para os processos de recuperação.

Em 1990, MORELLI (87) publica um trabalho enfocando a otimização do projeto e operação de aterros sanitários considerados como o componente central de sistemas integrados de tratamento de resíduos sólidos municipais e avalia os benefícios da recirculação do chorume sob o ponto de vista da aceleração da decomposição dos resíduos, com consequente prolongamento da vida útil dos aterros.

Em fevereiro de 1990, a relação de instalações enquadradas na National Priorities List (NPL) sobe para 1218. A EPA normaliza padrões para liberação de novos aterros que incluem exigências para locação e proteção de água subterrânea.

### 3.3.1.2.2 - A SITUAÇÃO ATUAL

Atualmente, nos EUA, segundo HOPPER (60), a remediação de áreas degradadas por resíduos perigosos se enquadra em duas grandes categorias, dependendo da autoridade normalizadora à qual a atividade se encontra subordinada. A recuperação de uma área de disposição inativa está submetida à fiscalização da CERCLA, conforme a emenda SARA de 1986, enquanto que a recuperação de uma instalação de tratamento, estocagem e disposição de resíduos perigosos é submetida às normas RCRA ou seu análogo estadual.

Segundo FORD et alii (54), os padrões de remediação são definidos especificamente para cada área e levam em conta os contaminantes presentes, sua toxicidade, a possibilidade de exposição humana, impactos ambientais e os motivos que levaram à contaminação. Muitas vezes, entretanto, são aplicados padrões pré-determinados. HSWA exige que cada gerador de resíduo perigoso certifique, em cada manifesto de transporte, que possui um programa de minimização de resíduos e discrimine as tecnologias adotadas para proteção à saúde humana e ao ambiente.

PATTERSON (98), coloca, ainda, que a meta principal da política de gerenciamento de resíduos sólidos nos EUA não consiste apenas na minimização de resíduos, mas na sua eliminação, consubstanciada na adoção de modelos que, cada vez mais, contemplem esta opção. Evidentemente, que a geração de resíduos sempre existirá, mas a filosofia que permeia esta abordagem é a de que, enquanto a meta de eliminação de resíduos não for atingida, a geração ainda tem que ser minimizada tanto quanto possível. Embora largamente aceitos, ainda permanecem muitos obstáculos à implementação dos princípios e conceitos da eliminação de resíduos, nos quais se inclui a estrutura das leis existentes, falta de incentivos, relutância em abandonar práticas conhecidas, desinteresse em investir capital em

novas instalações para substituir as já implantadas.

Conforme HOLLAND (61), das 1224 áreas que integram a NPL da EPA, apenas 27 foram remediadas e retiradas da lista nos últimos dez anos, embora milhões de dólares tenham sido gastos nos programas do Superfundo.

Particularmente preocupante, segundo TRAIN (122), é o levantamento realizado pela agência, constatando que mais de 425.000 áreas de disposição de resíduos perigosos estão, potencialmente, necessitando de remediação. Dados do Congresso americano, citados pelo autor, atribuem a morosidade à burocracia que permeia o programa: 44% da verba é dirigida à parte administrativa, 16% se encontram alocados em estudos e o restante para financiamento das atividades de remediação.

Conforme CHUDIK (36), nos EUA, desenvolvimento tecnológico, no que se refere aos processos de identificação de contaminantes (tipo e concentração), tem acelerado o processo de avaliação das áreas degradadas:

- Leitura e discussão de parâmetros químicos no local é uma das inovações tecnológicas que está ganhando espaço nos últimos tempos. Dois exemplos de métodos já estabelecidos para análise no local têm grande aplicabilidade na identificação de resíduos nas fases sólida e líquida: cromatografia gasosa de campo e condutância específica. O primeiro pode ser utilizado na determinação de compostos orgânicos voláteis e análises de água superficial e subterrânea. Embora o pequeno tamanho dos instrumentos de campo limite a sua utilização no caso de misturas complexas (orgânicos de alto peso molecular, tipo os hidrocarbonetos polinucleares aromáticos, por exemplo), a maioria dos compostos normalmente pesquisados pode ser analisada através deste método;

- Um equipamento simples para monitoramento no local de contaminantes iônicos é o eletrodo de condutância específica. Devido ao fato de as medições serem realizadas

no local, eliminam-se os problemas de amostragens, apresentando, entretanto, a técnica a desvantagem de falta de especificidade. Embora possam ocorrer interferência de agentes superficiais ativos, o método, entretanto, encontra considerável aplicabilidade na definição genérica da locação de contaminantes e estimativa de sua concentração;

- Fluorescência remota induzida a laser, também referenciada como método de fibra ótica, permite a análise de compostos orgânicos aromáticos e consiste na excitação dos constituintes do resíduo através de uma luz, conduzida por fibra ótica até a solução a ser analisada. A técnica apresenta limitações para o caso de compostos clorados, os quais tem a propriedade de diminuir a fluorescência;

- Fluorescência de raio-X, para análise de inorgânicos (cobre, zinco, arsênio, ouro e chumbo) consiste na excitação da massa de um composto por um raio-X de baixa energia, liberando energia sob a forma de fóton de comprimento de onda de um raio-X;

- Um experimento realizado por SIEGRIST and JENSSSEN, (112), avalia os efeitos da agitação e preservação da amostra, volume livre e integridade do recipiente no monitoramento de COVs em solos. Para os compostos analisados (cloreto de metileno, dicloroetano, tricloroetano, tolueno e clorobenzeno), observou-se serem significativas as interferências. O estudo recomenda pesquisas abordando condições de amostragem específicas e características diversas de solo considerando também outros compostos.

### 3.3.1.3 - A SITUAÇÃO NO BRASIL

Segundo BOTAFOGO (19), ao longo dos anos, no Brasil, os serviços da área de saneamento, muitas vezes, foram realizados por pessoas despreparadas tecnicamente, sem apoio logístico e com recursos financeiros insuficientes. As indústrias lançam seus resíduos onde melhor lhes convém e os órgãos de fiscalização governamentais, algumas vezes são omissos, outras, impotentes para resolver o problema.

Para agravar a situação, segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES (9), os países do Terceiro Mundo, muitas vezes, vistos como uma reserva a ser poluída, não raro, são pressionados para receber os resíduos tóxicos das nações desenvolvidas. As operações de triangulação de resíduos tóxicos são uma prática constante, através da qual toneladas de lixo químico são repassadas aos países da África, Ásia e América Latina. O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA), só permite a importação de resíduos destinados à reciclagem industrial, mas, segundo Restrepo, citado pela ABES (5) , empresas brasileiras têm importado lixo químico, cujo percentual de metal reciclável se situa em torno de 15%, em média, não se sabendo o que é o restante nem qual será o seu tratamento.

Ao lado destes problemas, notícias também veiculadas pela ABES (10), informam que o brasileiro desperdiçou, em 1990, US 41 bilhões de dólares jogando fora alimentos, água, energia elétrica e gás.

### 3.3.1.3.1 - RETROSPECTIVA HISTÓRICA

Conforme PEREIRA NETO (99), a produção média de lixo urbano atingia, na década de setenta, valores em torno de 0,72 kg/hab./dia, entretanto, hoje, algumas cidades brasileiras já registram índices superiores a 1 kg/hab./dia. O autor calcula que, na virada do século, o Brasil terá uma população de 180 milhões de habitantes com uma produção média diária de 0,85 kg de lixo por habitante. PEREIRA NETO (99), estima a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, atualmente, por volta de 90 mil toneladas diárias. Destes, apenas 48% são coletados, permanecendo o restante em terrenos baldios, encostas e cursos de água. Do total coletado, apenas 7,5% seriam tratados em usinas de tratamento e incineradores; 28% são enterrados (o autor não cita o percentual de resíduos sólidos que é tratado nos aterros) e 64,5% são despejados em vazadouros a céu aberto, concluindo que 83% do lixo produzido, no país é disposto a céu aberto.

Respalmando esses dados, notícias veiculadas pela ABES (10), informam que cerca de 90% dos municípios brasileiros utilizam vazadouros a céu aberto para destinar o lixo coletado, incluindo-se os resíduos domésticos, industriais e dos serviços de saúde.

Um levantamento dos planos de ação de cientistas, órgãos oficiais e instituições, na área de resíduos sólidos, no Brasil, a partir de 1977, foi apresentado por CAMPOS (22), no Painel de Resíduos Sólidos do último congresso da ABES, consistindo nos seguintes dados:

- 1977: Estudo do Problema dos Resíduos Sólidos no Brasil, realizado pelo Instituto de Planejamento Econômico e Social, Comissão Nacional de Regiões Metropolitanas, CETESB

e órgãos da Secretaria de Planejamento da Presidência, abrangendo 134 cidades, onde residiam 54% da população urbana do país. Não foram citados os resultados obtidos;

- 1982: Diretrizes Nacionais de Limpeza Urbana, abrangendo 318 cidades onde residem 69% da população. Os levantamentos efetuados concluíram que 57% do lixo se constituía de despejo a céu aberto; 14%, aterro controlado; 18%, aterro sanitário; 1%, incinerador; 8%, outros e 2% não informaram. A autora faz as seguintes considerações sobre este estudo: a existência de informações incorretas e conflitantes prestadas pelos órgãos de Limpeza Urbana; o despreparo de alguns dos responsáveis pelos serviços de gerenciamento do lixo; a existência de desperdícios na aplicação de recursos financeiros, mão-de-obra e equipamentos e o desconhecimento técnico dos responsáveis pelos serviços. Os órgãos envolvidos no estudo foram a Secretaria Especial do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Desenvolvimento Urbano, órgãos do Ministério do Interior e Associação Brasileira de Engenharia Sanitária;

- 1987: Estudo sobre a coleta e tratamento de lixo no país, o qual analisou as 180 maiores cidades brasileiras, concluindo que 59% do lixo era disposto a céu aberto ou nos corpos receptores; 32%, era destinado aos aterros sanitários ou controlados e que 9% se constituiam de vazadouro/aterramento. Também foi citada a existência de 12 municípios, com tratamento de lixo através de usinas de compostagem. A partir deste estudo, foi criado um plano de financiamento para a implantação de usinas simplificadas de reciclagem e compostagem, num programa de âmbito nacional, que ampliou o número de usinas implantadas para 50, muitas das quais hoje apresentam problemas operacionais;

- 1990: Programa Nacional de Limpeza Urbana, o qual constitui um recente plano do Governo Federal que prevê o atendimento a cerca de 318 municípios, atingindo cerca de

60% da população urbana do país. Entretanto, os recursos destinados ao programa, até meados de 1992, data em que foi terminada esta revisão bibliográfica, não permitiram grandes avanços na questão dos resíduos sólidos.

### 3.3.1.3.2 - A SITUAÇÃO ATUAL

Segundo PEREIRA NETO (99), a legislação existente a nível federal, estadual e municipal, a respeito de resíduos sólidos, é, muitas vezes, conflitante, enquanto CAMPOS (22), coloca que, a nível federal, nenhum plano ou programa se encontra, hoje, implantado, podendo-se constatar que não existe uma política nacional para o setor de resíduos sólidos, no Brasil, ficando sem nenhum controle os 4.000 lixões que se encontram espalhados pelo país.

Conforme PEREIRA NETO (99), estados de grande importância para o país ainda enfrentam problemas com relação aos resíduos produzidos. No Estado de São Paulo, em 1983, existiam 29 lixões, considerando apenas a grande São Paulo e, em 1990, a cidade já contava com 43 áreas de disposição irregulares. O último levantamento realizado em Minas Gerais constatou que, em 270 municípios, cerca de 4% realizavam o aterramento do lixo urbano, menos de 1% tratavam-no através de compostagem e a grande maioria, 95%, dispunha-o lixo incorretamente.

De certa maneira preocupante, foi a decisão do ex-Secretário de Meio Ambiente, em 1991, de suspender os financiamentos a municípios que quisessem implantar incineradores de resíduos de serviços de saúde, conforme

noticiado pela ABES (4). Apesar de arbitrária, a medida teve o mérito de levantar a discussão sobre o assunto, desencadeando a criação da Portaria CONAMA nº 006/91, a qual se encontra, atualmente, em processo de regulamentação.

Algumas iniciativas, entretanto, têm contribuído para que a questão de remediação das áreas degradadas no país comece a ser colocada. Entre elas citam-se:

- Conforme noticiado pela ABES (8), o grau de contaminação da população brasileira por dioxinas começaria a ser medido pela primeira vez no país a partir de agosto/91;
- A mesma fonte informa que a contaminação dos lençóis subterrâneos e dos cursos d'água pelos agrotóxicos será estudada pela primeira vez, no Brasil, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através de um projeto-piloto a ser desenvolvido no estado de Minas Gerais ABES (3);
- Segundo matéria veiculada pela ABES (6), a utilização de papel reciclado em toda a Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro e a obrigatoriedade de auditorias anuais nas grandes empresas poluidoras do Estado foram alguns dos projetos aprovados em 1991.
- O estabelecimento de critérios pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP), em julho de 1990, referentes à necessidade de estudos de impacto ambiental para sistemas de disposição de resíduos sólidos domiciliares, industriais e de serviços de saúde. Segundo MAIA (80), os critérios são, basicamente, os seguintes:
  - . Exigência de Estudos de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para municípios com produção de lixo superior a 100 t/dia, exigência de deliberação da SMA para municípios com produção de lixo compreendida entre 50 e 100 ton/dia e dispensa do estudo para municípios com

produção inferior a 25 ton/dia, considerando-se a produção de resíduos de 0,5 kg/hab.dia;

. Todos os emprendimentos situados dentro de áreas de interesse ambiental ou em suas imediações são obrigados a apresentar o relatório;

. No caso das usinas de compostagem as exigências são similares às dos aterros para resíduos sólidos domésticos;

. Os aterros industriais, processos de disposição no solo e incineradores não integrados às unidades dos complexos industriais devem apresentar o EIA/RIMA e, para os integrados às unidades industriais, exige-se a deliberação da SMA sobre o assunto.

Embora não exista nenhum fundo de verbas alocado no orçamento da União ou dos Estados para atender à questão de remediação de áreas degradadas, constituindo-se as áreas em processo de remediação existentes, um esforço integrado de algumas prefeituras e técnicos do país, conforme SOARES (7), a nova edição do Plano Nacional de Limpeza Urbana prevê a aplicação de U\$ 1 bilhão, em cinco anos, em reciclagem de lixo, pesquisa, tratamento dos lixões e gastos com pessoal, só podendo se candidatar a esses recursos as prefeituras que recuperarem as suas áreas degradadas.

Entre os municípios que possuem algum programa de remediação de áreas degradadas, além da cidade de Americana/SP, objeto deste estudo, citam-se os seguintes :

- PROJETO DE REMEDIACÃO DOS LIXÕES DE PORTO ALEGRE/RS

(descontaminação de 130 ha.), etc.

Segundo ESCOSTEGUY (43), a concepção tecnológica do projeto baseia-se na bio-remediação da área e prevê a

co-disposição dos resíduos coletados com aqueles já aterrados. Segundo o autor, a proposta utilizada neste projeto possibilita a ampliação da vida útil e recomposição ambiental da área, bem como o aproveitamento da fração orgânica, estabilizada via digestão anaeróbia.

A proposta tecnológica de recuperação do "lixão" consiste em otimização do sistema viário na área do aterro, triagem dos resíduos com controle quali-quantitativo das cargas, isolamento da área, drenagem de águas pluviais, percolado e gases, tratamento do chorume, através de filtros anaeróbios e sua recirculação. Conforme ESCOSTEGUY, (43), está prevista uma unidade para tratamento do efluente final, denominada sistema de polimento, constando de uma bacia de equalização e sistema físico-químico de tratamento, utilizando as técnicas de coagulação e flocação.

Integra o sistema, ainda, um galpão reciclador, programa de monitoramento do chorume, gases, água superficial e subterrânea e sistema de reaproveitamento energético dos resíduos.

- PROJETO DE REMEDIADAÇÃO DO VAZADOURO DE SÃO GIÁCOMO em  
CAXIAS DO SUL/RS.

Conforme MANDELLI et alii (83), o sistema proposto visa atender à heterogeneidade dos resíduos e constitui-se das seguintes unidades: unidade de reciclagem, aterramento celular, unidade de segregação, tratamento térmico e aterro de inertes.

Segundo AKUTSU (12), o projeto visa alcançar os seguintes objetivos: minimização do volume de líquidos percolados através da impermeabilização de fundo e da camada superficial, implantação de drenagem de líquidos e

peços profundos de captação; redução da carga orgânica dos líquidos percolados através da aceleração do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos; eliminação da propagação de vetores através de cobertura contínua dos resíduos; eliminação da prática de queima de resíduos através do isolamento da área; compatibilização da qualidade do efluente final com os padrões estabelecidos através da implantação de sistema de tratamento terciário de resíduos; minimização da poluição atmosférica por meio da implantação de sistema de drenagem, captação e tratamento dos gases; otimização da vida útil do aterro com a utilização de técnicas apropriadas de compactação; implantação do plano de monitoramento, visando efetuar acompanhamento sistemático do projeto.

#### - PROJETO DE REMEDIACÃO DO LIXÃO DE IPATINGA/MG

Segundo CAMPOS (22), partindo de uma concepção integrada de gerenciamento de resíduos sólidos, o projeto atua a partir da coleta seletiva dos resíduos de origem domiciliar, comercial e unidades de saúde. Como destino final do lixo, optou-se pela execução de um aterro sanitário, principalmente com o objetivo de recuperar uma área degradada situada no município vizinho.

O projeto prevê drenagem de gases, drenagem e tratamento do chorume através de um reator anaeróbico, seguido de uma lagoa de estabilização e aerador de cascata, sendo o efluente lançado em um pequeno córrego, afluente do Rio Doce.

Segundo a mesma autora, na área interna do aterro foi prevista uma sequência de trincheiras para disposição de animais mortos e, provisoriamente, do lixo produzido nas unidades de saúde. A área é isolada com cercas e portão com controle de entrada e saída.

Segundo LIMA (71), outros projetos de remediação de áreas com concepção similar às descritas são:

- Projeto de Remediação do Lixão de Limeira/SP (paralizado);
- Projeto de Remediação do Lixão de Piracicaba/SP (descontaminação de 19 ha.);
- Projeto de Recuperação e Ampliação da Vida Útil do Aterro Santa Bárbara em Campinas/SP (em fase de encerramento);
- Projeto de Recuperação e Ampliação da Vida Útil do Aterro Sanitário de Rio Claro/SP (paralizado);
- Projeto de Remediação do Lixão de Piracaia/SP, - Projeto de Remediação do Lixão de Praia Grande/SP, totalizando 10ha., em áreas de mangue.
- Projeto de Remediação do Lixão de Canabrava, em Salvador/BA, totalizando 33ha, em área urbana.

Além destes, no caso de resíduos sólidos industriais, tem-se notícia da descontaminação de uma área de 2100 m<sup>2</sup>, às margens do Rio Perequê, em Cubatão, contaminada pela Rhodia do Brasil, com hexaclorobenzeno. Segundo MAGALHÃES (81), a técnica empregada pela empresa é a remoção e incineração, utilizando um incinerador com capacidade de 50 t/dia.

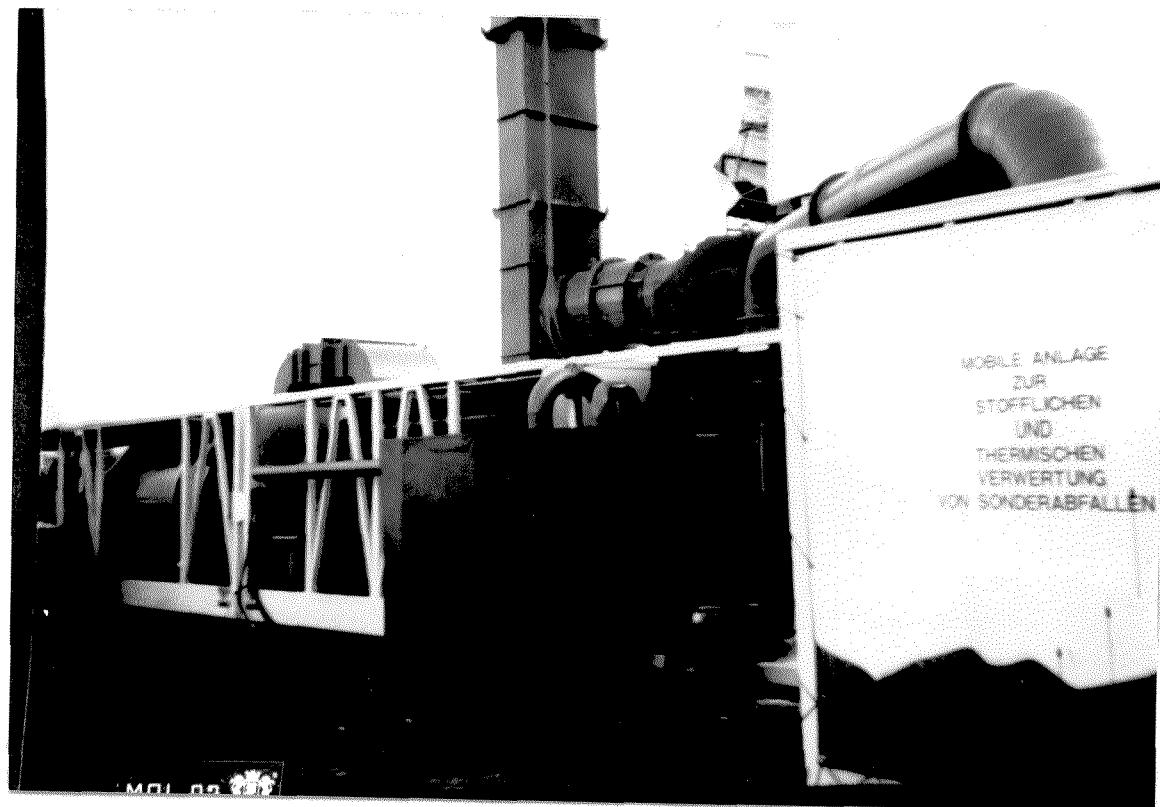
### 3.3.2 - TÉCNICAS DE REMEDIACÃO

Muitas tecnologias estão sendo aplicadas na remediação de áreas degradadas em todo o mundo. Algumas podem ser aplicadas no local, outras empregam unidades móveis, que podem ser transportadas até a área contaminada e algumas exigem a escavação e transporte do resíduo até a área de tratamento. Na Fig. 3.7 pode-se ver uma unidade móvel de incineração, utilizada na província de Bolzano, na

Itália, em operações de remediação de áreas.

Conforme DALEY (39), as tecnologias de aplicação no local, em geral, não são as mais indicadas quando a área se encontra contaminada por uma gama muito variada de contaminantes. É o caso, por exemplo da limitação de aplicação de tratamentos biológicos a áreas contendo compostos organoclorados; a lavagem de solo só se aplica a contaminantes de alta solubilidade e da extração a vácuo a compostos de alta pressão de vapor e baixa solubilidade na

**FIGURA 3.7 - INCINERADOR MÓVEL  
PROVÍNCIA DE BOLZANO, ITÁLIA.**



**FONTE:** SALGADO (107).

água. Segundo o autor, a seleção da tecnologia depende do conhecimento das características físicas, químicas e biológicas dos contaminantes e do solo, bem como da interação do contaminante com a citada matriz. Em alguns casos, um teste piloto na área é muito importante para ajudar na definição da viabilidade e eficácia do tratamento a ser implantado.

Durante o período 1982-1990, nos EUA, 301 áreas foram selecionadas para ter acesso às verbas do Superfundo, utilizando tecnologias alternativas de tratamento, conforme mostrado no gráfico da Fig. 3.8. A Tab. 3.7 registra a eficácia do tratamento de solos contaminados em função dos grupos de tratabilidade e a Tab. 3.8 as tecnologias prescritas pela EPA no registro de decisões referente ao ano de 1989.

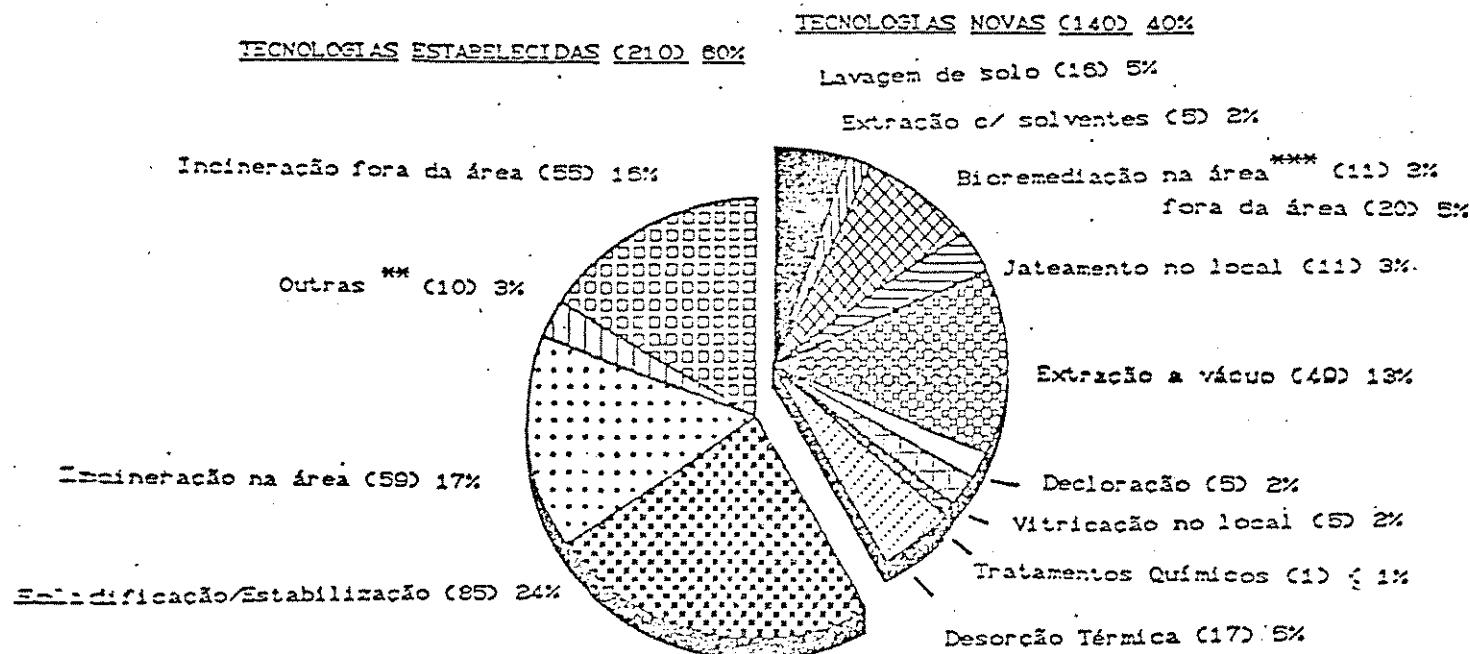
### 3.3.2.1 - PROCESSOS TÉRMICOS

Os tratamentos térmicos são considerados uma solução permanente para a questão da disposição de resíduos sólidos devido ao fato de que a destruição dos componentes tóxicos do resíduo ocorre dentro da sua própria matriz.

Cabe aqui uma referência a respeito da diferença existente entre os países com relação à classificação de processos: enquanto que nos EUA, por exemplo, um processo térmico é considerado como reciclagem se sua eficiência energética global for superior a 60%, conforme PATTERSON, (98), na Dinamarca, a incineração, mesmo com recuperação de energia, é considerada tratamento devido à emissão de poluentes e perda de nutrientes, SKAJAA (113).

Segundo JOHNSON and COSMOS (66), considerando-se o critério de temperatura de operação, os processos

FIGURA 3.8 - AÇÕES DE REMEDIACÃO / 1982 - 1990  
RESUMO DAS TECNOLOGIAS SELECIONADAS PELA EPA



\* Os dados foram obtidos dos Registros de Decisões em agosto de 1991.

As 250 tecnologias correspondem a 301 áreas; a diferença corresponde ao uso de mais de uma tecnologia por área.

\*\* Outras tecnologias são aeracão do solo, neutralização química, etc.

\*\*\* Inclui tratamento da água no local

≤ 3 Número de vezes que a tecnologia foi selecionada/usada.

FONTE: KOVALICK (67).

TABELA 3.7 - EFICÁCIA DE TRATAMENTO PARA SOLOS CONTAMINADOS

GRUPO DE TRATABILIDADE	Bio	Imob	Decl	Extr	Dest	Des
- Aromáticos halog. n/ polares	B	C	B	B	A	B
- PCB's halogenados, dioxinas, furanos e seus precursores	B	C	B	B	A	C
- Fenóis halog./cresóis/aminas/tióis e outros arom. polares	B	C	B	B	A	B
- Compostos alifáticos halog.	A	X	B	B	A	A
- Alifáticos cílicos halog., éteres, ésteres e cetonas	C	C	B	B	A	C
- Compostos nitrados	A	C	C	B	A	C
- Heterocíclicos e aromáticos simples não halogenados	A	X	C	A	A	A
- Aromáticos polinucleares	A	C	C	B	A	C
- Outros compostos orgânicos polares não halogenados	A	C	C	B	A	B
- Metais não voláteis	X	A	C	B	C	C
- Metais voláteis	X	A	C	B	X	C

## CONVENÇÕES:

Bio. - bio-remediação

Imob. - immobilização

Decl. - decloração

Extr. - extração c/ solventes

Dest. - destruição térmica

Des. - desorção térmica

A-Eficiência demonstrada

B-Potencialmente eficientes, em certas situações

C-Eficiência não esperada

X-Não recomendada (potenciais efeitos adversos ao ambiente)

TABELA 3.8 - PROCESSOS DE REMEDIAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS  
REGISTROS EPA - 1989

TECNOLOGIA	Nº DE REGISTROS
Incineração / destruição térmica	22
Estabilização e neutralização	18
Extração a vácuo	10
Volatilização / Aeracão	7
Lavagem de solo / "flushing"	6
Bio tratamentos	6
Total	79
Enclausurados	32
Total geral	111

FONTE: DALEY (39).

térmicos classificam-se em processos que operam a altas temperaturas, ou seja, superiores a 550° C, e processos que operam abaixo desta.

Nesta pesquisa cada processo é classificado conforme o método de transferência de energia e as características mecânicas do equipamento. A seguir será feita uma breve descrição dos processos térmicos mais usados.

### 3.3.2.1.1 - COMBUSTÃO

Segundo CHEREMISINOFF (32), os combustores, a princípio, utilizados para resolver as limitações dos aterros, tornaram-se, entretanto, uma controvérsia ambiental, desde que as dioxinas foram encontradas, pela primeira vez, em cinzas de incineradores domésticos em 1977. De acordo com o mesmo autor, os resíduos e emissões de incineradores, sem tratamento de gases, produzem todos os tipos das 75 dibenzodioxinas policloradas (DDPC's) e 135 dibenzofuranos policlorados (DFPC's), bem como outros compostos orgânicos. Tais compostos podem estar presentes nas emissões das chaminés ou adsorvidos sobre a superfície das cinzas de combustão. A geração de resíduos nos incineradores municipais é da ordem de 700 toneladas de cinzas por milhão de toneladas de resíduos urbanos incinerados. Cerca de 95 a 99% da cinza é coletada e aterrada, constituindo o restante emissão das chaminés.

Conforme THOMPSON (120), um recente estudo realizado pela National Society for Clean Air mostrou que um quarto dos 1700 incineradores da Inglaterra encontravam-se registrados como causadores de poluição atmosférica.

Segundo McILVANE (94), a Alemanha Ocidental é o maior operador de plantas de incineração de resíduos na Europa. Cerca de 8,5 milhões de toneladas de resíduos são

incinerados por ano, no país, em 47 unidades de incineração de resíduos, correspondendo aos resíduos de 34% da população.

Conforme CHEREMISINOFF (32), o Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca, que estudou 45 incineradores de resíduos sólidos municipais, concluiu que eles eram a maior fonte de DDPC's e DFPC's da Dinamarca. De acordo com o autor, em 1985, cientistas ambientalistas canadenses sugeriram um meio de diminuir as emissões de dioxinas através da estabilização da temperatura do gás de exaustão: a fixação destas seria menor e as emissões poderiam ser controladas com filtros. Em 1986, o Instituto de Engenharia Química dos EUA, também citado por CHEREMISINOFF (32), defendendo a recuperação de energia, afirmou que os incineradores podem ser seguros. O estudo não mencionou as dioxinas, mas pesquisas indicam que, queimando resíduos a altas temperaturas, a emissão de dioxinas é reduzida consideravelmente.

Conforme DENT & KROLL (41), uma série de reportagens foi publicada a respeito dos programas de pesquisa em Resíduos Sólidos Municipais (RSMD), planejados e em andamento, no Canadá, Inglaterra e Suécia. Uma observação interessante é a alta confiabilidade na combustão de resíduos sólidos municipais na Suécia (50%), comparada com o Canadá e Inglaterra, onde prevalecem os aterros. De acordo com os autores, estudos intensivos encontram-se em andamento, no Canadá, em dois combustores: uma instalação de resíduos na cidade de Quebec e outra de combustão em dois estágios na ilha "Prince Edward", além de um acordo com os EUA para pesquisas em uma planta de CDR, em Connecticut. Como resultado deste trabalho conjunto, foram desenvolvidos padrões para medição de emissões de DDPC's e DFPC's das chaminés dos combustores.

Embora existam muitos tipos, conforme DARCEY

(40), os combustores de resíduo municipal no mercado hoje, se enquadram em três grupos: incineradores com ar em excesso, incineradores de dois estágios e instalações de CDR.

Segundo descrição do processo, adotada pela EPA (45), a incineração se caracteriza como um processo térmico que usa altas temperaturas, variando de 871 a 1204° C, para volatilizar e queimar os constituintes orgânicos dos resíduos perigosos. Para conseguir a destruição térmica de PCB's e dioxinas, a eficiência exigida do equipamento é de 99,999%. De acordo com a mesma fonte, a tecnologia possui algumas limitações:

- . A incineração é relativamente cara comparada com outras tecnologias;
- . A resistência do público é alta;
- . Metais voláteis, incluindo chumbo e arsénio permanecem nos gases das chaminés e devem ser removidos. Além disto, os metais podem reagir com outros elementos, como cloretos e sulfetos, formando compostos mais voláteis e tóxicos do que as espécies originais.
- . Sódio e potássio podem atacar o revestimento refratário do reator e formar um particulado viscoso que bloqueia a superfície de transferência de calor.

#### A) INCINERADORES COM AR EM EXCESSO

Segundo DARCEY (40), constituem, historicamente, o método de tratamento de vários resíduos. O autor descreve a sequência básica de operação do equipamento:

- O solo contaminado, primeiramente, deve ser escavado e transportado até o equipamento, o qual pode ser fixo ou

móvel;

- As operações preparativas incluem trituração, peneiramento e secagem;
- Ar suficiente é fornecido na região do leito para queima do resíduo, embora a combustão dos gases voláteis seja complementada fora do leito;
- As variações das propriedades dos resíduos são neutralizadas através do controle das taxas de alimentação, velocidade da grelha e distribuição do ar através da grelha.

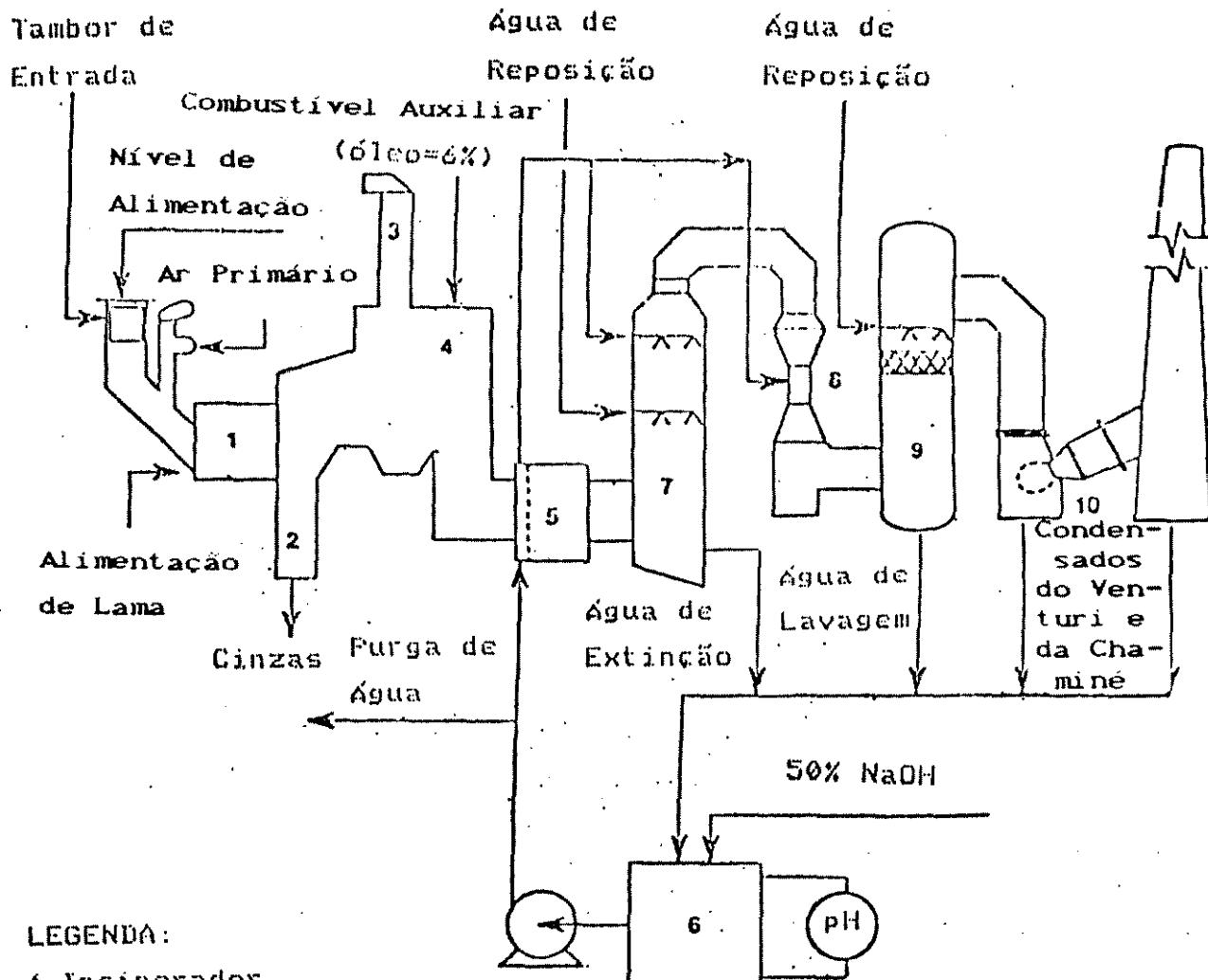
Os incineradores, com ar em excesso, mais usados para solos, são os rotativos e os de leito circulante.

#### - INCINERADORES ROTATIVOS

Segundo DALEY (39), os incineradores rotativos dominam as aplicações de incineração. Aproximadamente 80% dos casos de remediação de áreas, envolvendo incineração no local, empregam incineradores rotativos.

Segundo JOHNSON and COSMOS (66), os incineradores rotativos consistem de reatores cilíndricos, revestidos de refratários, montados com eixo levemente inclinado, com a finalidade de facilitar a mistura do resíduo com o ar de combustão e promover a sua movimentação dentro do reator. O autor coloca que os reatores rotativos convencionais podem ser estruturados de diversas maneiras, dependendo das características do resíduo. O sistema, normalmente, inclui o sistema de alimentação, o forno rotativo, o sistema de alimentação de combustível auxiliar, o pós-queimador e o sistema de controle da poluição, como pode ser visto na Fig. 3.9.

**FIG. 3.9 - SISTEMA DE INCINERAÇÃO EM FORNOS ROTATIVOS  
FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO**



## - INCINERADORES DE LEITO FLUIDIZADO

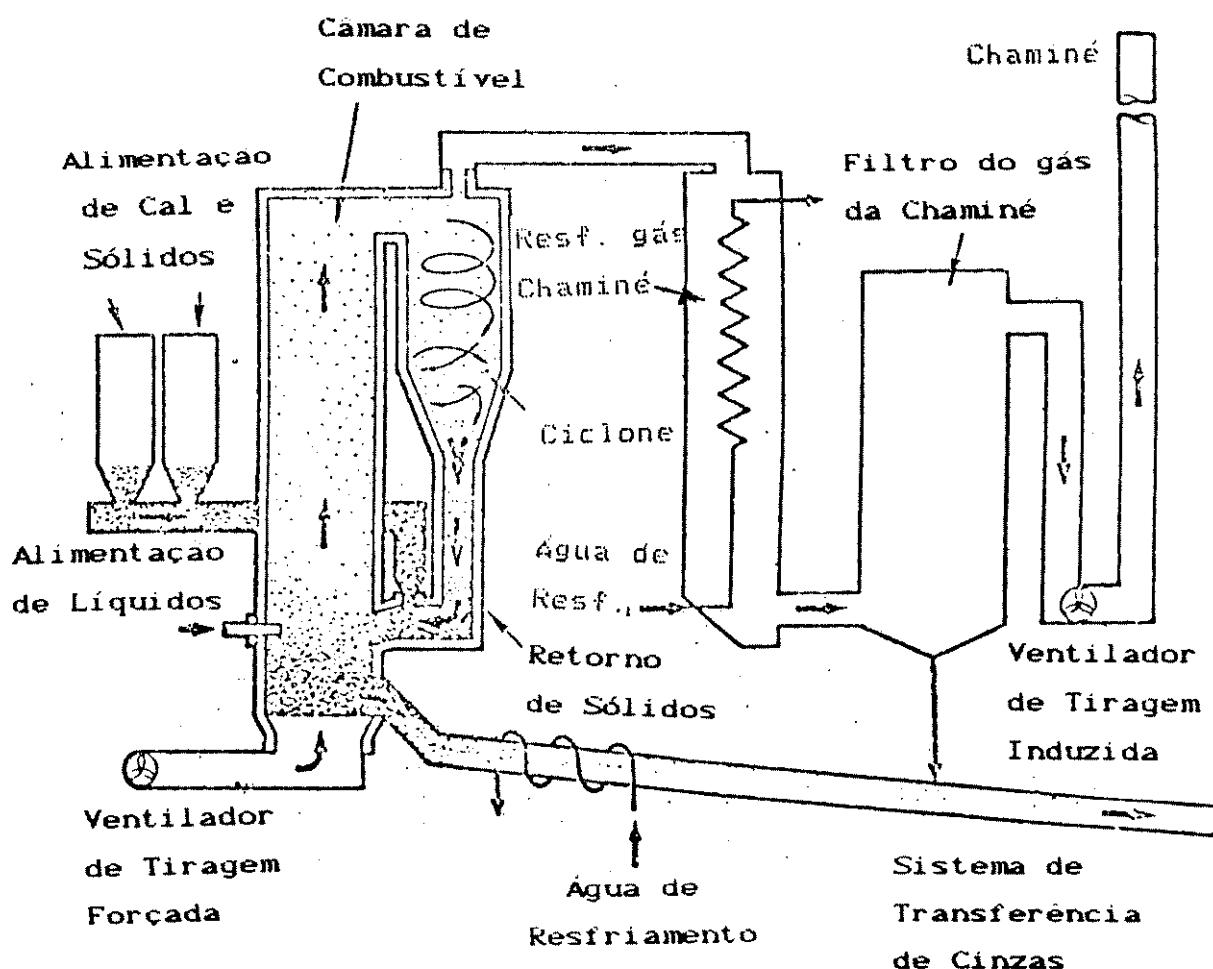
Conforme HOPPER (60), a aplicação deste processo a resíduos perigosos é relativamente recente e, embora tenham aplicação em sólidos orgânicos, lamas e líquidos, um maior pré-tratamento de trituração, peneiramento e desfibramento de trapos é exigido, neste sistema, para possibilitar uma alimentação uniforme.

JOHNSON e COSMOS (66) descrevem que o processo é apropriado para uma grande variedade de materiais, com umidade variando de 0 a 90%, e é caracterizado por uma zona de combustão formada por material granular que se fluidiza através do contato direto do ar com o leito do forno, o qual promove a mistura e a transferência instantânea de calor aos reagentes. Os materiais do leito podem ser constituídos de areia, alumina, carbonato de sódio, resíduos, calcáreo, óxido de ferro, catalisadores e solo. Os resíduos a serem incinerados são introduzidos no leito através de bombeamento, parafusos alimentadores ou injeção pneumática. O material particulado que escapar do leito pode ser coletado em um ciclone ou direcionados para um lavador.

Conforme JOHNSON & COSMOS (66), uma variação do processo, os incineradores de leito fluidizado circulante, empregam velocidades de ar na faixa de 3 a 10 m/s para fluidizar o leito de combustão. O arrastamento dos sólidos ocorre na sequência e, logo acima da interface sólido/gás, são destruídos. Um ciclone é colocado na saída da câmara de combustão para redirecionar os sólidos do leito de volta à câmara de combustão. Um alto nível de turbulência, temperatura uniforme e um longo tempo de residência da fase sólida são proporcionados por este sistema. A Fig. 3.10 mostra um fluxograma esquemático do processo.

FIGURA 3.10 - INCINERADORES DE LEITO CIRCULANTE FLUIDIZADO

## FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO



FONTE: JOHNSON and COSMOS (66).

## B) INCINERADORES DE DOIS ESTÁGIOS

Segundo DARCEY (40), estes sistemas também conhecidos como incineradores modulares, promovem a combustão dos resíduos em dois módulos: o primeiro recebe o resíduo e opera com cerca de 40% do ar necessário à combustão, agindo como um gaseificador. O efluente é incinerado no segundo módulo que pode conter área para troca de calor.

A pirólise, que compreende o estágio inicial do sistema, é, segundo LIMA (68), por definição, um conjunto de transformações sofridas pelos materiais carbonáceos, particularmente a biomassa, quando submetidos a um gradiente de temperatura de 300 a 600° C, obtendo-se como produto um gás de médio poder calorífico, um óleo de composição complexa (calcatrões leves e pesados) e carbono residual (carvão). Segundo o autor, durante o desenvolvimento das reações de pirólise, são formados diversos produtos, cujas quantidades e tipos de compostos são dependentes da taxa de aquecimento e das dimensões do resíduo, porém, fundamentalmente classificam-se em três grandes grupos :

- 1º grupo - gases não condensáveis (CO; CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>, etc.);
- 2º grupo - gases condensáveis (H<sub>2</sub>O, metanol, etanol, acetona, ácido acético, furfural, fenol, xilenol, etc.);
- 3º grupo - carbono residual e cinza.

## - INCINERADORES DE RAIOS INFRA-VERMELHOS

Segundo JOHNSON and COSMOS (66), consistem de tecnologias que empregam um intenso fluxo de radiação

próximo ao comprimento de onda da radiação infra-vermelha para dar início ou suportar a pirólise dos materiais alimentados no equipamento. A energia necessária para volatilização e decomposição pirolítica é obtida eletricamente. Na primeira unidade, o resíduo é aquecido e os contaminantes orgânicos são pirolisados pela exposição à energia infra-vermelha. Os autores descrevem que, em uma aplicação típica em sólidos, os resíduos são conduzidos a um forno revestido de refratários, onde são expostos a uma fonte de raios infra-vermelhos que pode ser a parede do revestimento refratário ou outro dispositivo, como elementos de aquecimento elétrico infra-vermelho, sendo que, muitas vezes, os constituintes voláteis em estado de combustão parcial fornecem uma parte desta energia. Na descarga final do forno, o solo descontaminado e os resíduos de cinzas são descarregados em um silo e conduzidos a um recipiente para posterior tratamento e disposição. Os gases provenientes do forno primário são, normalmente, conduzidos a uma câmara secundária, onde os produtos combustíveis da pirólise infra-vermelha são destruídos.

### C) INSTALAÇÕES DE COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUO

Segundo DARCEY (40), tecnologias para recuperação de energia a partir de resíduos sólidos municipais estão aumentando em muitos países. Esta tendência deriva da combinação de fatores que incluem o potencial econômico, os benefícios ambientais e a crença crescente de que os resíduos sólidos municipais podem ser vistos mais como uma fonte de recursos e menos como um resíduo simplesmente necessitando de disposição.

Estes sistemas, de acordo com o autor, envolvem um pré-processamento do resíduo para produção de um

combustível que pode ser queimado, sozinho, em uma grelha mecânica difusora, em um leito fluidizado, em uma grelha mecânica pulverizada com carvão, em caldeiras tipo ciclone ou em combinação com outros combustíveis, como, por exemplo, lascas de madeira. DARCEY (40), coloca que o sistema CDR é recomendado para localidades que produzem acima de 1.500 t/dia de resíduo. Na preparação do resíduo para combustão, os objetos grandes são retirados e, em seguida, os metais ferrosos removidos magneticamente. Pó, areia, vidro, pedaços de metais e outros não combustíveis são separados e o resíduo é triturado com o objetivo de preparar o combustível final. Na separação dos não combustíveis, algum material combustível também é removido. O processo é ajustado de maneira que não ocorra mais de 16% de cinzas no resíduo final.

### 3.3.2.1.2 - INCINERADORES A PLASMA

Conforme JOHNSON and COSMOS (66), esta tecnologia é baseada no conceito da pirólise do resíduo, usando plasma gerado por um arco elétrico, através da montagem de um eletrodo em um meio contendo um gás seco a baixa pressão. Segundo os autores, a intensa energia gerada pelo arco causa a dissociação das moléculas em um estado atômico ionizado. O gás nesse estado aquecido e ionizado é condutor elétrico, pode ser confinado em campos eletromagnéticos e possui viscosidade, como líquidos, caracterizando-se, assim, o plasma, que é o meio de transferência de energia para o resíduo a ser tratado.

Segundo SANTOS (7), diversos tipos de gases podem ser usados, tais como hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e o próprio ar. O processo pode produzir temperaturas de até

50.000°C e os resíduos dissociados em seus componentes atômicos e, ionizados, tornam-se parte do plasma. Após resfriamento, os átomos ionizados se combinam de acordo com a cinética química para formar H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, HCl e carvão particulado. Pequenas quantidades de dióxido de carbono, etano e acetileno também são formadas.

Ainda segundo o mesmo autor, o plasma resiste ao fluxo de corrente e aquece de modo similar ao aquecimento de uma resistência, terminando aí a similaridade, pois a resistência se rompe ao ser aquecida a temperaturas mais elevadas e o plasma é tanto melhor condutor quanto mais se aquece. Além dos eletrodos, o equipamento compõe-se de isoladores, colimadores, gerador de turbilhonamento, etc.

### 3.3.2.1.3 - DESORÇÃO TÉRMICA

Conforme HOPPER (60), esta técnica consiste de uma variedade de processos onde o solo contaminado é escavado, umidificado, peneirado, triturado, ajustado o pH entre 5 e 11, alimentando, então, um equipamento que aplica calor suficiente para volatilizar e expulsar os contaminantes que, a seguir, são queimados em uma câmara de combustão secundária ou são separados do vapor de gás por condensação, extinção ou absorção.

O mesmo autor coloca que à temperatura de 93-427°C, a desorção térmica é usada com sucesso na remoção de voláteis, semi-voláteis, policloroetos de bifenilas (PCBs) e arsênio de uma matriz de solo. Entretanto, como o processo pode liberar contaminantes e partículas para a atmosfera, é necessário que se faça um controle de emissão dentro da área de escavação e manuseio do resíduo.

As limitações da tecnologia, colocadas por HOPPER (60), são:

- A tecnologia não é apropriada para contaminantes inorgânicos;
- Embora a temperatura de operação do processo seja mais baixa que a dos incineradores, alguns metais, como por exemplo mercúrio e arsênio, podem se volatilizar durante o tratamento.

### 3.3.2.1.4 - VITRIFICAÇÃO "IN SITU"

Conforme descrição da tecnologia elaborada pela EPA (46), a vitrificação "in situ" usa energia elétrica com o objetivo de aquecer e fundir solos e lamas contaminados para formar um vidro estável de estrutura cristalina, com pouca possibilidade de lixiviari. Um campo elétrico quadrado é formado através de 4 eletrodos inseridos no solo para formar uma corrente elétrica que atingirá a faixa de 1600 a 2000° C de temperatura, faixa esta superior ao ponto de fusão do solo.

Assim que ocorre a fusão, segundo EPA (46), os contaminantes orgânicos são destruídos por pirólise e os produtos pirolizados migram para a superfície da zona vitrificada onde são incinerados na presença de oxigênio e os contaminantes inorgânicos não voláteis são incorporados na peça fundida. Um sistema de vácuo, colocado acima da área, coleta os gases que são tratados, antes de serem liberados na atmosfera.

As limitações da tecnologia, citadas pela EPA, são as seguintes:

- Requer coleta de gases, tratamento e disposição do carvão ativado, lavadores de água e outros materiais utilizados no sistema de controle da poluição atmosférica;
- Requer aterramento conjunto com solo limpo, uma vez que o volume de solo anterior pode diminuir de 20 a 40%;
- Uma vez que os contaminantes podem migrar para a periferia, pode ser necessária a vitrificação de material localizado nas adjacências;
- Tubos metálicos existentes e resíduos metálicos podem causar problemas em projetos de grande porte;
- Para efetivamente imobilizar metais e radionucleotídeos, é necessário adicionar elementos vitrificantes;
- A concentração de material orgânico no resíduo deve ser inferior a 10%.

### **3.3.2.2 - PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS**

Compreendem as tecnologias onde são usados processos físicos ou químicos com o objetivo de descontaminar o resíduo ou ajudar na sua descontaminação dentro de um processo integrado com outras tecnologias.

A seguir, será feita uma breve descrição dos processos físico-químicos mais usados com objetivo de remediar uma área degradada.

### 3.3.2.2.1 - ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO

Segundo HOPPER (60), esta técnica compreende um grupo de processos destinados a reduzir a solubilidade, mobilidade e toxidez do resíduo, melhorar suas características de manuseio ou limitar as possibilidades de migração através da redução da superfície exposta. O autor descreve a estabilização como a conversão do resíduo a uma forma química mais estável, enquanto que a solidificação é a sua conversão a uma forma mais sólida. Entretanto, outros termos, são, também, utilizados para designar estas tecnologias: fixação em lugar de estabilização e encapsulamento, em lugar de solidificação.

Conforme HOPPER (60), ambos os processos consistem na adição de material ligante ao resíduo, como por exemplo, cimento, cal, ou termoplásticos os quais promovem a sua solidificação. O processo conduz a um aumento de volume e pH do resíduo, o primeiro em torno de 30 a 60%, e o segundo, neutralizando os ácidos e transformando muitos metais em compostos menos solúveis. O autor coloca que os métodos baseados na adição de cal formam compostos menos estáveis que aqueles que utilizam cimento enquanto que aqueles que utilizam termoplásticos, consistem na secagem do resíduo e mistura com petróleo aquecido ou asfalto.

Recentes testes conduzidos pela EPA, segundo citação de HOPPER (60), relatam a eficiência da técnica de micro-encapsulamento, uma variável do processo que consiste na mistura do resíduo com um material sílico ou sílico-aluminoso para estabilizar semi-voláteis orgânicos, PCB e metais.

### 3.3.2.2.2 - EXTRAÇÃO A VÁCUO

Conforme descrição da tecnologia adotada pela EPA (48), este sistema aplica vácuo a uma série de poços de extração criando um fluxo de ar através da zona vadosa, a qual consiste na região compreendida entre o nível mais baixo e o mais alto do lençol freático, acrescida da franja capilar (onde a água sobe por capilaridade). À medida que o ar se move através do sistema, os contaminantes migram do solo e poros de água para o ar, expulsando o ar contaminado, muitas vezes com a entrada de água. O ar é então, tratado usando um sistema de controle de emissões como carvão ativado ou oxidação catalítica.

Segundo a mesma fonte, em termos práticos, o processo demonstrou uma boa performance com muitos tipos de solos, não apresenta limitações com relação às condições climáticas, tem aplicabilidade apenas a compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, e torna-se mais dispendioso quando o solo apresenta alta umidade. Alta permeabilidade do solo constitui uma condição favorável à aplicação da tecnologia.

Algumas modificações do processo, descritas pela EPA (48), consistem em permitir a entrada de ar na zona vadosa, o que facilita a atividade microbiana de decomposição do resíduo; o uso de rádio-frequência para aquecer os contaminantes e, mais rapidamente, volatilizá-los e, finalmente, injeção de vapor ou ar quente para incrementar a taxa de vaporização dos contaminantes.

### 3.3.2.2.3 - LAVAGEM DE SOLO

Conforme HOPPER (60), esta tecnologia é baseada no princípio da extração sólido-líquido, onde um solvente líquido é aplicado no solo contaminado, solubilizando os contaminantes passíveis de solubilização pelo solvente e possibilitando a sua remoção. Em uma aplicação típica, descrita pelo mesmo autor, os solos escavados, são carregados em um silo equipado com uma peneira para remoção de objetos grandes. A seguir, os solos são direcionados a um tanque e misturados com solventes, o que permite aos contaminantes migrar para o solvente. Depois desta etapa, solventes e solo são separados, geralmente, por combinação de decantação, secagem, filtração e outros processos convencionais de separação de fases sólido-líquido. Os contaminantes são, normalmente, separados do solvente para posterior tratamento e/ou disposição, sendo o mesmo reutilizado.

Segundo descrição do processo adotada pela EPA (50), à água de lavagem, podem ser adicionados agentes lixiviantes, surfactantes, ajustadores de pH, ou agentes quelantes, tais como ácido acético tetra-diamina-etileno (EDTA), com o objetivo de ajudar a remover os contaminantes. EPA coloca, ainda, que a tecnologia pode ser aplicada a uma grande variedade de contaminantes orgânicos, inorgânicos, mas, como os solventes de extração são seletivos, a tecnologia é apropriada para resíduos que não contenham simultaneamente mais de um contaminante, constituindo limitação da tecnologia a sua não aplicabilidade a solos siltosos, argilosos e altamente húmicos.

### 3.3.2.2.4 - REMOÇÃO DE HALOGÊNEOS

Segundo descrição EPA (50), a tecnologia utiliza um reagente glicosado gerado a partir de um hidróxido metálico alcalino e glicose com o objetivo de remover, em um reator de batelada, halogêneos, tais como, cloretos, brometos, fluoretos, etc., dos compostos orgânicos aromáticos halogenados. O processo envolve aquecimento e mistura do resíduo contaminado com o reagente químico. Durante a reação, vapor de água e os orgânicos voláteis são removidos e condensados. Filtros de carvão são usados para fixar os compostos orgânicos voláteis que não se condensarem no vapor. O resíduo tratado é lavado para remover o reagente e, então, desidratado, antes de disposição. O processo resulta, pois, em solo tratado e água contaminada.

Conforme a EPA (50), o processo reduz a toxicidade de compostos orgânicos halogenados, particularmente dioxinas e furanos, PCBs e certos pesticidas clorados. A presença de outros poluentes, como metais e outros inorgânicos, pode interferir no processo. A tecnologia exige o tratamento da água contaminada, efluente do processo, e o controle e tratamento dos gases liberados.

### 3.3.2.2.5 - EXTRAÇÃO QUÍMICA

Segundo descrição da tecnologia adotada pela EPA (51), a extração química usa um solvente orgânico para separar contaminantes perigosos orgânicos de resíduos oleosos, reduzindo, desta maneira, o volume de resíduos perigosos a ser tratado. Em geral, o solvente que, preferencialmente, remove o resíduo perigoso, é misturado com o meio contaminado objetivando transferir os

contaminantes da matriz para o mesmo. Os contaminantes são, então, separados, através de mudança de pressão e/ou temperatura e o solvente, reciclado.

De acordo com a mesma fonte, a extração química não destrói o resíduo, mas é, geralmente, usada como um dos processos de uma série, o qual possibilita a redução do custo total da remediação, através da separação do resíduo em três frações constituintes: contaminantes concentrados, sólidos e água. O processo se aplica à extração de PCBs, COVs e pentaclorofenol.

As limitações da tecnologia, descritas pela EPA (51), são as seguintes: os metais, orgânicamente ligados podem ser extraídos juntamente com poluentes orgânicos, dificultando, desta maneira, o tratamento e as opções de reciclagem; geralmente, é menos efetivo com orgânicos de alto peso molecular e substâncias altamente hidrofílicas; a presença de detergentes solúveis em água e substâncias emulsificantes pode influenciar negativamente a eficiência da extração e, consequentemente, do tratamento.

### 3.3.2.3 - PROCESSOS BIOLÓGICOS

Compreendem uma gama variada de processos, alguns ainda em fase de testes enquanto que outros já em fase de aplicação comercial, e que têm como ponto em comum a utilização de microorganismos, nativos ou aclimatados, com o objetivo de promover a recuperação de áreas degradadas, através da otimização de condições necessárias ao crescimento e metabolismo microbiano.

### 3.3.2.3.1 - BIO-REMEDIACÃO

Conforme a EPA (47), a técnica da bio-remediação consiste em incentivar a biodegradação de contaminantes através da estimulação da população microbiana nativa do solo ou da água subterrânea ou em adicionar espécies microbianas exógenas à flora existente. Segundo a mesma fonte, o processo da bio-remediação é aplicável somente ao tratamento de contaminantes orgânicos e classifica-se em duas grande categorias: processos aplicados sobre o solo (bio-reatores de lama, aplicação no solo, contenção da fase sólida, etc.) e processos "in situ".

Segundo HOPPER (60), o tratamento pode ser combinado com processos físico-químicos para melhorar a eficiência de ambos. Entre estes, incluem-se: lavagem e extração de solo, extração a vácuo, desidratação de lama, tratamentos químicos anteriores ou posteriores e adsorção carbônica. De acordo com o autor, é necessário a elaboração de um estudo de viabilidade minucioso, executado por pessoa conhecedora dos mecanismos da bio-remediação, antes da implementação do processo, uma vez que, para cada área contaminada, a mistura de contaminantes e as condições ambientais são únicas. O autor descreve a sequência de atividades necessárias para avaliação da viabilidade de bio-remediação da área e desenvolvimento do projeto:

- Caracterização do problema, que inclui uma avaliação da composição química do contaminante, tipo de disposição (livre, aquoso, etc.), atividade biológica, toxicidade, química do solo, etc.
- Estudos de tratabilidade, em duas etapas: primeiramente, é feita a análise da viabilidade do tratamento biológico e a identificação das condições exigidas para estimular a biomassa viável. Nessa fase, faz-se, também, o estudo das funções do sistema, ou seja, necessidades nutricionais,

efeitos de diluição, etc. Em seguida, procede-se aos testes, incluindo um completo balanço de material, definição da cinética de destruição dos contaminantes, volatilização dos orgânicos, taxa de aeração, efeito dos metais, enfim, são definidos os parâmetros do projeto básico. A avaliação dessas informações permite estimar a eficiência de remoção do contaminante e determinar a necessidade de tecnologia complementar para melhorar a eficiência do sistema. Os dados do estudo de tratabilidade são usados para desenvolver o processo final do projeto e avaliar os parâmetros econômicos. Os parâmetros de operação, monitoramento e exigências de controle do projeto devem ser definidos para otimização da operação.

A descrição EPA (47), dos processos de bio-remediação é a seguinte:

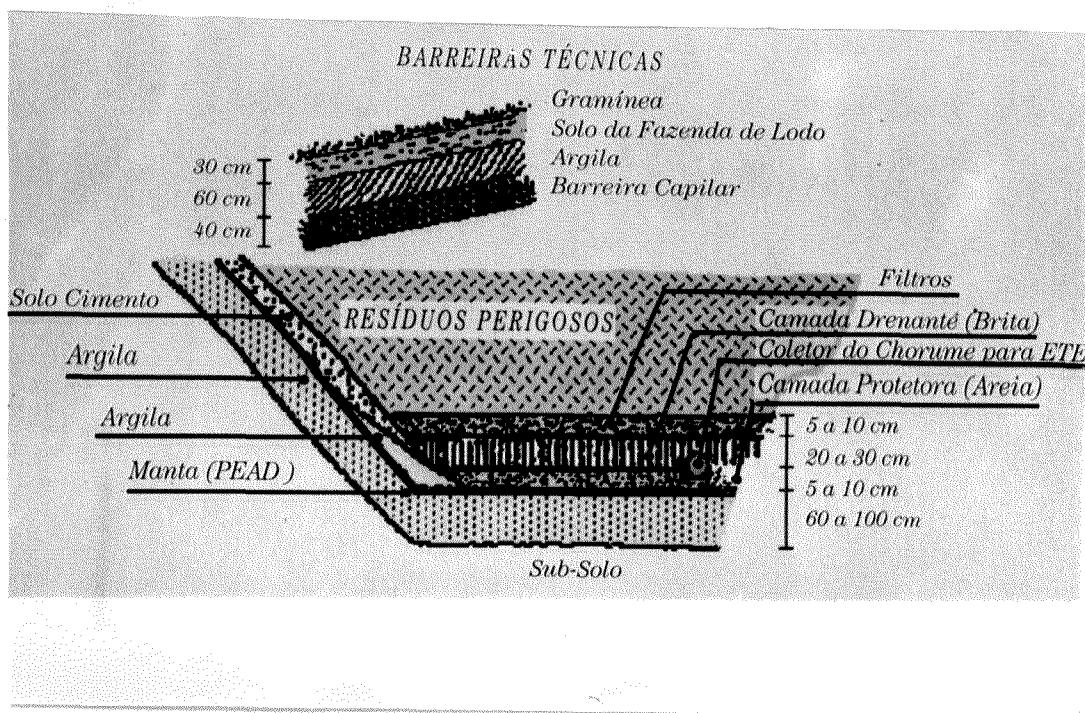
#### - BIO-REATORES DE LAMA

Consistem na mistura do solo escavado com água que é agitado mecanicamente em um tanque ou lagoa com condições adequadas de nutrientes, oxigênio, pH e temperatura. Os microorganismos podem ser semeados inicialmente ou adicionados continuamente, levando em conta o tempo de residência apropriado. Após o término do processo, a lama é desidratada e o solo, agora tratado, pode ser disposto.

- APLICAÇÃO NO SOLO

Consiste em dispor o solo contaminado em um leito revestido, a exemplo do esquema mostrado na Fig. 3.11. Outros tipos de revestimento podem ser usados, dependendo das características do resíduo, os quais são estocados antes da aplicação que ocorre em uma série de camadas. Suplementos, como composto ou nutrientes, podem ser adicionados e o solo é, periodicamente, cultivado.

**FIGURA 3.11 - BARREIRAS TÉCNICAS**  
CETREL-BAHIA



FONTE: CETREL (31).

#### - CONTENÇÃO DA FASE SÓLIDA

Sob esta denominação encontram-se vários processos similares ao de aplicação no solo, mas que diferem deste pelo fato de permitirem um maior controle do sistema. O solo escavado é homogeneizado, misturado com água, nutrientes, corretores de pH e microorganismos e colocado em um tanque. Este fato aumenta o controle do processo, uma vez que elimina a entrada de água e o escoamento, controla a temperatura, umidade e emissões.

#### - REMEDIACÃO "IN SITU"

Consiste de um sistema de recirculação da água subterrânea contaminada, com tratamento externo e condicionamento da água de infiltração não contaminada com nutrientes e oxigênio. O sistema, normalmente, é projetado para facilitar a entrada de água subterrânea não contaminada na zona de tratamento, mas permite a saída da água contaminada dessa mesma zona somente através do sistema de recirculação e tratamento. Os projetos mais comuns consistem de esvaziamento da água subterrânea e reinjeção através de poço de injeção ou galerias de infiltração, em diversas locações ao redor da borda externa da área tratada. O oxigênio, em geral, é o fator limitante para os microorganismos e que as suas fontes incluem o ar, oxigênio puro e peróxido de hidrogênio, sendo o último, normalmente usado no condicionamento da água não contaminada, embora seja relativamente caro e apresente uma série de problemas técnicos associados com seu uso. Nitrato está sendo pesquisado, com relativo sucesso, como acceptor de elétrons.

Conforme EPA (47), a aplicação da tecnologia de bio-remediação pode ser facilitada através do controle dos

parâmetros, utilizando uma variedade de métodos físico-químicos, tais como: ajuste do pH do solo, controle de umidade, sulcagem, fertilização e, em alguns casos, adição de população suplementar de microorganismos adaptados. As limitações da tecnologia, descritas pela Agência, são as seguintes:

- Misturas complexas de resíduos podem inibir a atividade dos microorganismos;
- A eficiência do processo é altamente dependente das condições da área;
- Alguns resíduos são de difícil e lenta degradação;
- Torna-se necessário um melhor entendimento e otimização da tecnologia;

#### 3.3.2.4 - SISTEMAS INTEGRADOS

As crescentes preocupações a respeito dos impactos ambientais das áreas de disposição de resíduos tem levado muitos países a estudar alternativas de gerenciamento ambientalmente mais eficientes. Dentre estas, os Sistemas Integrados de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, (SIGRS), têm ganhado cada vez mais espaço.

Em cada país, esta associação de tecnologias se apresenta de maneira diferenciada, de acordo com as particularidades econômicas, culturais, geográficas, e outras, próprias da região e podem contemplar ou não o objetivo de remediação das áreas degradadas.

### 3.3.2.4.1 - SISTEMAS INTEGRADOS NOS ESTADOS UNIDOS

Segundo PATTERSON (98), 1989 foi o ano da mudança de concepção nos EUA com relação à adoção de sistemas integrados de gerenciamento de resíduos, dentro da filosofia de gerenciamento conjunto de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Observa-se, entretanto, que a abordagem que começa a ser colocada, neste país, não consiste, propriamente, na adoção de sistemas integrados. Trata-se, basicamente, de uma reflexão sobre o assunto, o que pode significar uma tendência para sua implantação.

No caso de resíduos industriais, o autor descreve que, independentemente da fase em que se encontram (sólida, líquida ou gasosa), os poluentes devem ser enquadrados em uma das seguintes origens:

- produtos não recuperáveis;
- matérias-primas não recuperáveis;
- sub-produtos úteis;
- sub-produtos não úteis;
- impurezas na matéria prima;
- materiais usados (solventes, catalizadores, ácidos, banhos usados, etc.)

PATTERSON (98), coloca que a eliminação dos resíduos industriais será atingida através da identificação de sua origem, propriedades do poluente e desenvolvimento de uma estratégia a partir destas informações, conforme a seguinte hierarquia:

-ELIMINAÇÃO NA ORIGEM: Consiste em se evitar a geração dos resíduos ou capturá-los na origem e retorná-los ao processo. Entre as opções para evitar a geração, encontram-se a substituição de matérias primas, sua pré-purificação, modificações do processo e operação, substituição de equipamentos, modernização das práticas de

gerenciamento e das instalações de estocagem, implicando em qualquer ação que reduza a quantidade de resíduos na saída do processo;

-RECICLAGEM: É a utilização do resíduo como um efetivo substituto de um produto comercial ou como um componente ou alimentador de estoques num processo industrial. Inclui a recuperação de frações de constituintes úteis de um resíduo ou a remoção de contaminantes de modo a permitir seu uso, podendo ocorrer dentro ou fora do espaço físico da indústria. Reciclagem pode, também, incluir uso de um resíduo como combustível complementar ou substituto de combustível, desde que sua eficiência energética global seja maior que 60%;

-TRATAMENTO - É qualquer método, técnica ou processo que altera as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos de maneira a neutralizá-los ou recuperar energia/materiais, tornando-os não perigosos, menos perigosos, mais seguros e passíveis de recuperação, estocagem ou redução de volume;

-DISPOSIÇÃO: É a descarga, injeção, derramamento, ou escapamento de resíduos no solo, realizada de maneira a impedir que o mesmo ou qualquer um de seus constituintes possa dar entrada no ar ou em qualquer tipo de água.

Conforme descrito por TCHOBANOGLOUS (119), tratando-se de resíduos municipais, a hierarquia adotada é semelhante à utilizada para os industriais, entretanto, abordada segundo suas características próprias.

Segundo GLENN (57), um critério muito usado com o objetivo de reduzir a disposição de resíduos e a utilização da incineração é a proibição de disposição de certos materiais. O primeiro material a ser considerado foi o resíduo de parques e jardins. Atualmente, baterias constituem o material mais proibido em aterros e incineradores de resíduos municipais, nos EUA. óleo usado

foi banido, das áreas de disposição, em muitos estados, e os pneus estão sendo proibidos, ultimamente, mas, em muitos casos, a restrição refere-se apenas a pneus não processados. O autor cita que outra abordagem usada para a redução de resíduos é a taxação devido à presença de materiais recicláveis nos aterros. Neste caso, enquadram-se os carros, que, em alguns estados sofrem taxação por motivo de não reciclagem, taxação esta que é aplicada na indústria, no varejo ou quando da transferência do veículo.

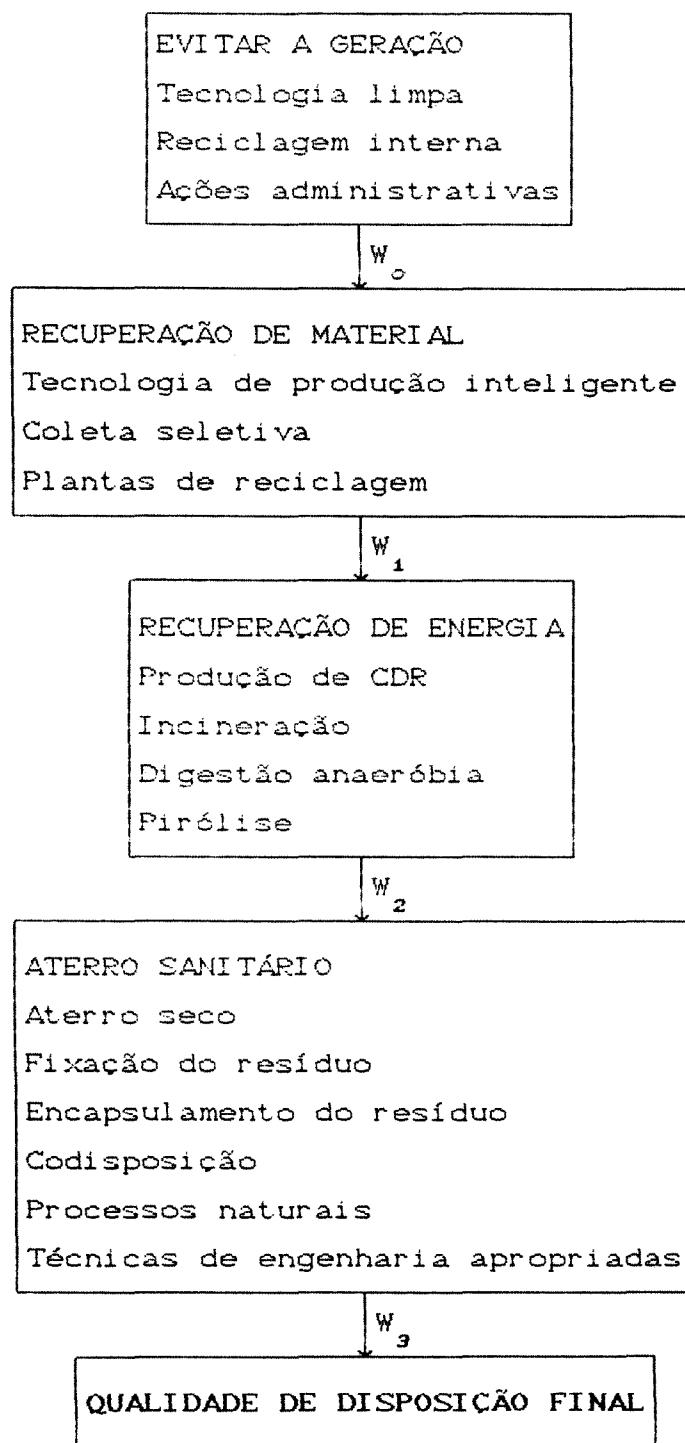
Conforme GLENN (57), uma estratégia frequentemente utilizada no desenvolvimento do mercado de reciclagem é o estabelecimento de empréstimos e incentivos, com fundos provenientes de taxação nas áreas de disposição, taxas de coleta, etc. Atualmente, já se encontra estabelecido, nos EUA, mercado de reciclagem para papel, material de construção e pneus, constituindo outros materiais, mercados em fase de implementação.

### 3.3.2.4.2 - SISTEMAS INTEGRADOS NA ITÁLIA

Segundo COSSU (38), o principal objetivo desta estratégia, cujo esquema geral é mostrado na Fig. 3.12, é assegurar o mínimo impacto ambiental, poupando as matérias primas através da recuperação de recursos e reduzindo a quantidade de resíduos a serem dispostos. Segundo o autor, a primeira etapa do SIGRS se constitui em evitar a geração. Este conceito envolve a Tecnologia Limpa e Reciclagem Interna com o objetivo de minimizar a produção de resíduos desde a origem. Participação comunitária, ações administrativas e legais são necessárias para produzir bens de consumo mais duráveis, evitando, assim, os descartáveis.

Conforme COSSU (38), a segunda etapa do SIGRS é a

FIGURA 3.12 - SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NA ITÁLIA



FONTE: COSSU (38).

recuperação de materiais orgânicos, vidros, alumínio, papel, plásticos, pilhas, remédios, pesticidas, etc. A fração de resíduos perigosos deve ser separada e os materiais aproveitáveis, recuperados de acordo com a viabilidade técnica e econômica. Isto deve ser feito por meio de coleta seletiva e triagem nas plantas de reciclagem e compostagem. O autor coloca que o sucesso da coleta seletiva e do sistema de reciclagem é fortemente relacionado à tecnologia aplicada, que deve ser tão simples quanto possível e levar em conta o número de pessoas atendidas, a viabilidade de mercado para o material coletado e para os produtos reciclados. Por outro lado, é necessário uma tecnologia de produção apropriada: evitar produtos compostos de papel e plásticos, vidros e metais, por exemplo; marcar os plásticos de acordo com sua qualidade, etc.

Segundo COSSU (38), após recuperação de todos os materiais, o fluxo de resíduos  $W_1$ , que contém substâncias orgânicas e inorgânicas torna-se apropriado a dar entrada no estágio de recuperação de energia, através das seguintes etapas:

- Promover a digestão anaeróbia do material orgânico separado, com produção de biogás e recuperação de energia;
- Aumentar o poder calorífico do fluxo de resíduos  $W_1$  e promover a adequada homogeneização de maneira a facilitar a produção de CDR e/ou incineração;
- Reduzir a ocorrência de micropoluentes orgânicos no gás efluente do processo de combustão.

Conforme COSSU (38), entre as diferentes opções para recuperação de energia dos resíduos, a mais usada é a incineração, processo que se encontra-se em fase de reabilitação da "síndrome de dioxina", através de aperfeiçoamentos técnicos e implantação de instalações mais eficientes de limpeza de gases. A forma de energia,

comercialmente mais viável, derivada da incineração, é a electricidade. Segundo o autor, este processo transfere aos aterros grande quantidade de resíduos que acarretam sérios problemas de tratamento nessas unidades, conforme pode ser visto na Fig. 3.13, onde uma grande quantidade de cinzas de incineradores se acumula na área de disposição.

**FIGURA 3.13 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS  
BOLZANO, ITÁLIA**



**FONTE: SALGADO (107).**

dificultando, inclusive, o tratamento do chorume proveniente dos demais resíduos, uma vez que são coletados na mesma tubulação, encaminhando-se para tanques de contenção, à espera de tecnologia apropriada de tratamento.

De acordo com COSSU (38), relativamente ao processo de pirólise, experiências devem ainda ser conduzidas com o objetivo de confirmar a validade do sistema. Argumentos similares aplicam-se em relação à digestão aneróbia para aplicação em larga escala. O autor cita, ainda outras abordagens que consideram a digestão anaeróbia do fluxo de materiais W<sub>1</sub>, sem a separação por ele preconizada, considerando este processo capaz de facilitar o tratamento de alguns compostos inorgânicos.

Finalizando, o autor coloca que o resíduo cuja geração não pode ser evitada, não é recuperável, não é reciclável nem combustível deve ser encaminhado ao aterro, componente central de um SIGRS, o qual deve ser operado com o mínimo impacto ambiental possível.

### 3.3.2.4.3 - SISTEMAS INTEGRADOS NA DINAMARCA

Conforme McILVANE (84), uma abordagem centralizada, com vistas ao tratamento e disposição de resíduos perigosos, está sendo conseguida na Dinamarca. O autor refere-se à instalação de tratamento de Kommunekem, onde são processados os resíduos provenientes de 300 plantas de recepção e triagem, em todo país. Os resíduos perigosos são tratados em fornos rotativos; o oleoso é recuperado e/ou enviado para um aterro. O sistema se encontra em operação há mais de 10 anos e processa mais de 90.000 t/ano de resíduos perigosos.

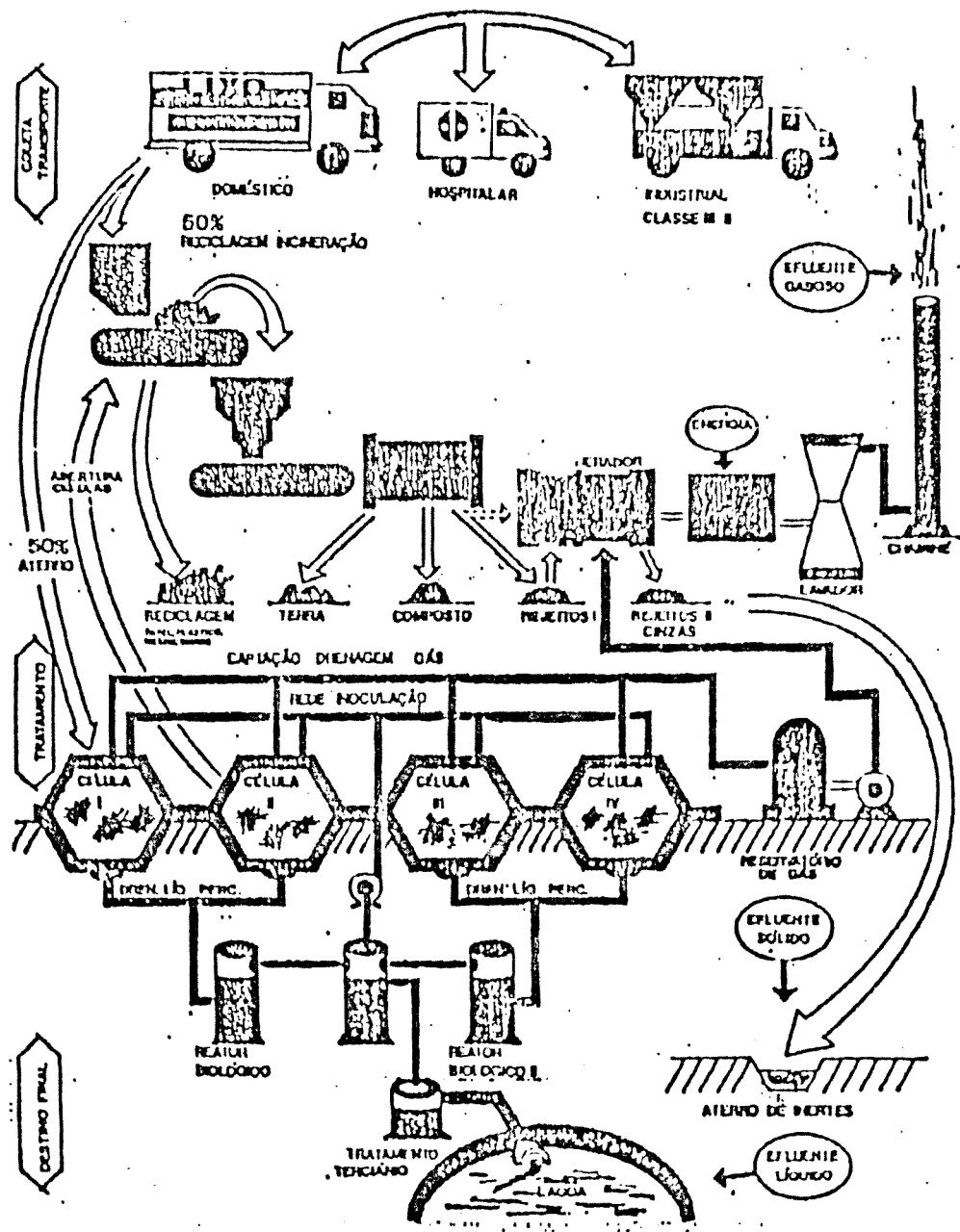
A destinação de resíduos municipais em aterros parece continuar no futuro, através de plantas integradas de conversão de resíduos sólidos em energia, considerando como um caso típico o projeto Kruga e Alpha Technik, também na Dinamarca, descrito por THOMPSON (120).

### 3.3.2.4.4 - SISTEMAS INTEGRADOS NO BRASIL

No Brasil, experiências bem sucedidas em remediação de áreas, utilizando sistemas integrados, estão sendo conduzidas por LIMA (75), em diversas áreas degradadas, em escala real, as quais foram relacionadas no item 3.3.1.3.2. Na Fig. 3.14, pode-se ver o fluxograma do sistema, o qual possui as seguintes unidades principais:

- ATERRO CELULAR ANAERÓBIO: Segundo LIMA (77), trata-se de uma variável da técnica de aterro sanitário acelerado, onde os resíduos, após remoção, são dispostos em células fechadas, providas de sistema de drenagem de líquidos e gases, inoculação e controle de temperatura, umidade, pH, Eh, nutrientes, células microbianas e enzimas ativas. Como se trata de um sistema de conversão biológica do lixo, a decomposição anaeróbia no aterro envolve uma complexa interação de atividades física, química e biológica, onde o meio e os microorganismos são os elementos fundamentais que governam o processo. Com o objetivo de transformar, de maneira rápida, a matéria orgânica, ou seja, a cadeia de carbono, em gases e substâncias estabilizadas, os fatores que influenciam no processo são controlados. Além disso, é feita a recirculação do chorume, anaerobiamente tratado, com o objetivo de estimular o processo. Nas células, os resíduos orgânicos, inclusive aqueles considerados

FIGURA 3.14 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA INTEGRADO DE REMEDIACÃO DE ÁREAS DEGRADADAS



FONTE: SPA (114).

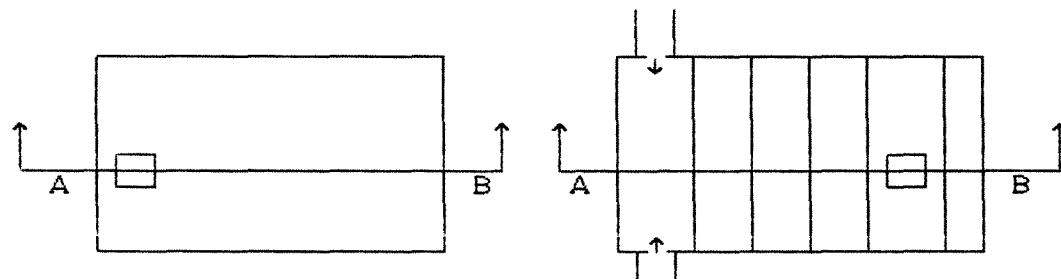
perigosos, sofrem um processo de decomposição controlada, via lixiviação bacteriana e encapsulamento biológico, passando por várias rotas de transformação, desde o piruvato-desidrogenase até o malato-desidrogenase.

Conforme LIMA (83), este processo pode ser operado nos três estágios térmicos e é aplicado no tratamento de resíduos orgânicos perigosos, principalmente aqueles com elevadas cargas de DQO e alto índice de toxicidade microbiana, entretanto do ponto de vista ambiental, o processo é potencialmente vulnerável, uma vez que sua operação, embora simples, exige fiscalização constante. O processo encontra aplicabilidade para uma gama variada de resíduos, mas concentrações muito altas de determinadas espécies químicas podem inibi-lo.

- TRATAMENTO DO PERCOLADO: É feito em três reatores biológicos, de fluxo misto, um para cada célula, conforme esquema mostrado na Fig. 3.15. Segundo FERRUCIO (117), o reator tem a finalidade de realizar o tratamento secundário, ou seja remover a carga orgânica presente na massa de lixo aterrada e no próprio chorume. Sua função principal é promover a separação das enzimas, detentoras de propriedades proteolíticas, lipolíticas e celulolíticas, através da percolação por uma manta de lodo, ou seja, um filtro biológico ativo, constituído, basicamente, de bactérias metanogênicas, que, liberando enzimas, equalizam o meio, neutralizando-o e tamponando-o. As células remanescentes são recicladas, através da injeção do inóculo na massa de lixo aterrada.

Este procedimento, segundo McCARTY, citado por LIMA (69), e confirmado por pesquisas do próprio LIMA (69), aliado ao abaixamento do potencial de oxi-redução e ao aumento de nutrientes, possibilita a alteração da cinética do processo de decomposição, fazendo com que a fase metânica estável seja atingida no período de 180 dias a

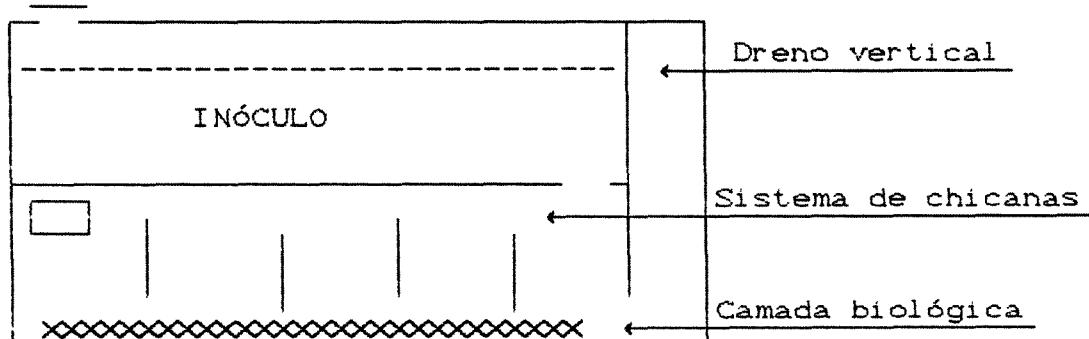
**FIGURA 3.15 - ESQUEMA DO REATOR BIOLÓGICO**



TANQUE DE CONTATO  
(Nível Superior)

FILTRO ANAERÓBIO  
(Nível Inferior)

A) PLANTA  
s/esc.



B) CORTE AB

partir da primeira inoculação. Com o decorrer da fase metânica estável, a carga orgânica, presente no lixo e no chorume, se reduz permitindo o tratamento do resíduo e de seus efluentes líquidos.

- INCINERADOR: Desenvolvido por OJIMA et alii (96), o reator térmico híbrido, sistema conjugado de pirólise, oxidação, redução e combustão, permite a incineração dos gases provenientes do aterro, dos resíduos dos serviços de saúde, e dos rejeitos do sistema integrado. O equipamento consiste de um dispositivo térmico especialmente construído para eliminar 30 kg/h de resíduos sépticos e caracteriza-se pelo baixo consumo energético, conforme postulam seus idealizadores, OJIMA et alii (96).

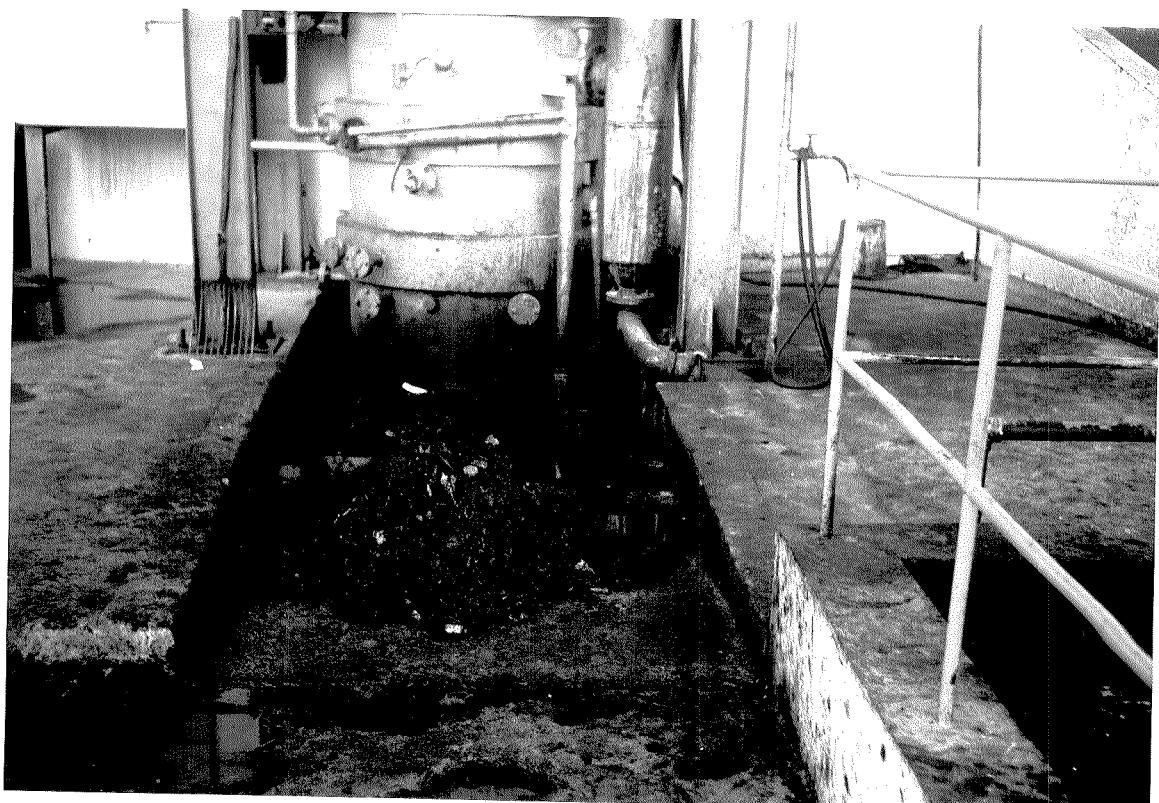
Segundo os autores, o reator térmico híbrido fundamenta-se no mesmo princípio da incineração quanto ao tratamento térmico destinado aos contaminantes do lixo, porém difere, substancialmente, na forma de promover o ambiente necessário à degradação térmica, uma vez que uma parte do combustível requerido para a geração de altas temperaturas provém do próprio lixo. O sistema consome energia complementar sob a forma de combustível auxiliar (carvão), porém permite o aproveitamento de parte desta energia sob a forma de calor residual, além de utilizar energia proveniente do próprio resíduo, através da pirólise dos materiais carbonáceos presentes. O reator dispõe, ainda, de um lavador de gases, via úmida, e um decantador para o lodo resultante da lavagem de gases. A Fig. 3.16 mostra as cinzas resultantes da incineração.

De acordo com a SPA (114), do ponto de vista do tratamento do resíduo, o processo apresenta soluções satisfatórias, porém os aspectos relacionados aos efluentes gasosos devem ser considerados.

- RECICLAGEM/COMPOSTAGEM: Conforme descrição do processo

pela SPA (114), após reabertura das células, e triagem dos materiais recicláveis, a matéria orgânica é convertida em material biologicamente estabilizado e os rejeitos são incinerados no reator térmico. Segundo a mesma fonte, do ponto de vista ambiental e sanitário, a compostagem é um processo discutível, embora permita a redução da quantidade de material a ser aterrado em até 50%. A reciclagem dos materiais, entretanto, apresenta pontos altamente positivos. A vulnerabilidade do processo está diretamente relacionada com a qualidade e destinação do composto produzido, o qual deve ser submetido a um controle de qualidade rigoroso.

FIGURA 3.16 - CINZAS DO REATOR TÉRMICO



FONTE: SALGADO (107)

### 3.3.3 - METODOLOGIA DE REMEDIAÇÃO

Segundo HOPPER (60), um primeiro problema que se coloca na questão do planejamento global das ações de remediação refere-se à necessidade de classificar quantitativa e qualitativamente as áreas degradadas, ou seja, distinguir entre áreas abandonadas, lixões, plantas industriais abandonadas e solos contaminados por derramamentos acidentais ou não. Considerando sob uma perspectiva mais ampla, o autor coloca que uma gama variada de instalações pode se apresentar como área degradada: plantas de tratamento, estocagem ou disposição de resíduos municipais ou industriais, unidades de reciclagem, áreas de operação de plantas industriais, vazamentos de tanques de estocagem subterrâneos, instalações militares ou nucleares, áreas de operação abandonadas, em operação ou utilizadas para disposição de resíduos.

Na Fig. 3.17, é mostrada uma foto contendo resíduos diversos que podem contaminar uma área, se não forem devidamente manuseados e na foto da Fig. 3.18, ao fundo, coberta de vegetação, uma área, que, embora não pareça, encontra-se severamente degradada, o que demonstra que a degradação, muitas vezes, pode se apresentar camouflada.

Os dados de literatura relativos ao número, tipo e riscos potenciais de fontes de contaminação em diferentes países mostrou uma grande diversidade de procedimentos de análise e avaliação das áreas contaminadas. Para cada aspecto envolvido na problemática existe uma metodologia apropriada baseada em modelos matemáticos que possibilitam a avaliação dos parâmetros relacionadas a risco ambiental, necessidade de implantação de controles, transporte de contaminantes, etc. A seguir, são analisados alguns métodos e modelos utilizados com esta finalidade.

FIGURA 3.17 - ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS  
CETREL - BAHIA



FONTE: CETREL (31)

FIGURA 3.18 - FOTO MOSTRANDO PARTE DE PLANTA DE COMPOSTAGEM  
E DE ÁREA DEGRADADA - NORDERSTEDTH, HAMBURGO



FONTE: SALGADO (107).

### 3.3.3.1 - SISTEMA DE AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS

Conforme CALDWELL and ORTIZ (20), a ferramenta técnica usada na determinação do nível de liberação aceitável em determinado ambiente é a análise de riscos, a qual deve ser especificamente dirigida para a população local e consiste na avaliação do potencial de riscos de exposição à contaminação, compreendendo a sua identificação

desde a fase de inspeção preliminar até a fase da remediação propriamente dita. Segundo os autores, o sistema de classificação de riscos leva em conta a probabilidade de liberação de elementos contaminantes, observada ou potencial, o tipo de contaminação, a mobilidade do contaminante, a quantidade do resíduo, o uso do solo, a população exposta, a taxa máxima de exposição individual, a taxa de condutividade hidráulica dos aquíferos, sua profundidade, etc. Modelos de fluxo podem ser usados para determinar as áreas potencialmente afetadas e modelos de transportes de contaminantes podem predizer quantitativamente impactos não óbvios.

Segundo KOVALICK (67), pelo menos três tipos de abordagem para estabelecimento de prioridades para remediação de áreas degradadas são usadas no momento:

- ABORDAGEM CRITERIAL - Baseando em critérios específicos, compara as características da área, tais como concentração de contaminantes no solo, com padrões pré-estabelecidos, muitas vezes fundamentados em critérios de saúde pública, para determinar se a remediação é necessária. Esse sistema não consta com um complexo sistema de pontuação e o julgamento profissional, muitas vezes, é usado para decidir pela necessidade ou não da remediação.
- ABORDAGEM NUMÉRICA - Diversos sistemas de avaliação numérica foram desenvolvidos com este objetivo, alguns mais simples e outros mais sofisticados. Em muitos casos, a pontuação é baseada em concentrações de exposição associadas a riscos à saúde e ao ambiente com a finalidade de agrupar áreas em categorias específicas de risco.
- AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS - Consiste na estimativa de concentração de exposição para determinar os riscos à população vizinha à área. É o sistema mais preciso, mais exige uma grande quantidade de amostras e dados de toxicidade para estimar com segurança as concentrações de

exposição e, por este motivo, não é muito usado.

Ainda segundo o mesmo autor, enquadram-se na primeira sistemática vários países da Europa, citando-se, entre eles, o caso do Reino Unido e da Holanda. O primeiro adotou uma abordagem baseada em "concentrações de disparo", ou seja, concentrações que determinam a necessidade de medidas de controle iniciais ou de remediação, conforme o caso, padrões estes que são usados pelos profissionais na determinação do uso mais apropriado para determinada área, além de ser o instrumento básico de decisão a respeito da necessidade ou não de remediação. Compreende três categorias de classificação, definidas pelos padrões de partida e de ação, assim caracterizados: se os contaminantes são encontrados em níveis inferiores ao padronizado como concentração de partida, a remediação, geralmente não é necessária; se os contaminantes se situam entre os limites da concentração de partida e de ação, a decisão de remediar é baseada em julgamento técnico e, por último, se os contaminantes são encontrados em níveis iguais ou superiores à concentração de ação, a remediação é indicada para a área e uma nova forma de utilização do solo deve ser proposta.

O trabalho de KOVALICK (67), cita ainda a sistemática adotada pelos holandeses que se baseia na lista A-B-C, para avaliar a contaminação do solo e da água. Se um valor "A" é encontrado, ou seja, se a concentração do contaminante corresponde à concentração média inicial padronizada, investigações posteriores, geralmente, não são necessárias. Se um valor "B" é encontrado, estudos posteriores quanto à origem, locação, concentração e potencial de risco à saúde humana e ao ambiente são necessários. Finalmente, no caso de se encontrar um valor "C", são necessárias investigações para decidir qual ação de remediação deve ser encaminhada.

Nos EUA, utiliza-se a abordagem numérica, baseada, segundo HOPPER (60), na avaliação de riscos à saúde e ao meio ambiente, a qual compreende as seguintes etapas:

- IDENTIFICAÇÃO DA PERICULOSIDADE: Consiste na seleção dos contaminantes envolvidos, identificação dos receptores sensíveis e da trajetória de exposição;
- AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO - É definida através da trajetória da exposição (análise das etapas de liberação, contato, transporte e absorção de contaminantes), pelos diversos caminhos possíveis;
- AVALIAÇÃO DA TOXIDADE - Definida através da identificação dos efeitos adversos à saúde humana e ao ambiente causados pelos contaminantes em questão;
- CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS - Havendo possibilidade de ocorrência de efeitos adversos, interessa saber qual o seu tipo e extensão. São definidos, nesta fase, índices de periculosidade, ameaças imediatas à saúde humana e ao ambiente, estimativas de risco de câncer, etc.

CALDWELL and ORTIZ (20), esclarecem mais a questão, colocando que, nos EUA, em 1980, quando da implementação do CERCLA foi solicitado ao governo federal o estabelecimento de critérios relativos a liberação de substâncias perigosas, poluentes e contaminantes. Conforme o mesmo autor, EPA desenvolveu, então, o Hazardous Ranking System (HRS), consistindo num sistema de pontuação para classificação de riscos, padrões estes que foram usados para o estabelecimento da NPL. Em 1986, foi solicitado à EPA a revisão do HSR de maneira a permitir uma avaliação mais precisa dos riscos e, no final de 1988, foi publicada a revisão solicitada para efeito de sugestões, prometendo, em 1990, publicar a norma revisada. Na Tab. 3.9, encontram-se as proposições para revisão do HRS.

TABELA 3.9 - PROPOSIÇÕES EPA PARA REVISÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÕES DE RISCOS

MEIO	PROBABILIDADE DE LIBERAÇÃO (*)	CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO	ALVO
AÉREO	-Tipo de fonte -Mobil. da fonte -Proteção da fonte	-Quant. de Res. perigosos -Toxic./Mobil.	-Uso do solo -População -Max. exp. ind. -Sensib. do amb.
ÁGUA SUBTER- RÂNEA	-Profundidade do aquéfero/Condutiv. hidráulica -Precipitação líquida -Capacidade de absorção -Protecção da fonte	-Quant. de res. Perigosos -Toxic./Mobil.	-Uso da água subterrânea - População -Máxima exposi- ção individual -Alt. piezomé- trica do poço na área.
ÁGUA SUPERF. (uso potá- vel)	FLUXO SUPERFICIAL -Contenção da fonte -Escoamento superf. -Distância da água superficial POTENCIAL DE LIB. PELAS ENCHENTES -Intensid. da cheia -Freq. da cheia	-Quant. de res. Perigosos -Toxic./Persis- tência	-Uso da água superficial -População -Máxima exposi- ção individual
POPULA- ÇÃO VIZINHA	-Acessibilidade/ Frequência de uso -Quantidade de res. perigosos	-Toxicidade	-População dentro do raio de 1600m

(\*) Liberação observada ou potencial

- Os riscos de contam. à cadeia alimentar humana, à água p/  
uso recreacional e os riscos ambient. são submetidos a sist.  
de aval. similar ao da água p/ uso potável, c/ modif. especif.

Conforme KOVALICK (67), o HRS define a pontuação da área, dentro do intervalo de 1 a 100, com base num conjunto de fatores, organizados em três grupos:

- Probabilidade de liberação de contaminantes no ambiente;
- Características do resíduo (toxicidade e quantidade de resíduo);
- Pessoas ou ambientes sensíveis afetados pela liberação.

Segundo CALDWELL and ORTIZ (20), da combinação destes três grupos, através de um modelo matemático apropriado, resulta um valor que é confrontado com o padrão de corte, estabelecido em 28,5 pontos até a data da revisão do HRS, acima dos quais a área passava a integrar a NPL.

Conforme KOVALICK (67), o HRS determina a necessidade de remediação baseado em investigações preliminares, as quais utilizam uma verba limitada (U\$ 6.000, para avaliação preliminar e U\$ 50.000 para inspeção da área), preservando, dessa maneira, os fundos para as operações de remediação, propriamente ditas, que podem chegar a custar mais de U\$ 20 milhões, em alguns casos. A vantagem do HRS é que ele avalia as áreas baseando-se em critérios objetivos e não em fatores subjetivos, não mensuráveis. As desvantagens referem-se ao tempo e custo de coleta dos dados usados para avaliar as áreas.

Segundo KOVALICK (67), o Departamento de Energia dos EUA desenvolveu o "Remedial Action Priority System" (RAPS), baseado em informações não só do solo, como também da água superficial, subterrânea e do ar e abrange quatro tipos de exposição: dérmica, inalação, radiação externa e ingestão.

O mesmo autor faz referência, ainda, a outro sistema de avaliação numérico utilizado no estado alemão de Baden-Wurttemberg e adaptado para uso na Áustria. Trata-se de um sistema relativístico que, embora empregando um

sistema de pontuação, compara o risco de uma área a outra corretamente operada, diferindo, neste aspecto, do americano que é baseado, exclusivamente, em dados específicos da área e fatores ambientais.

### 3.3.3.2 - FASES DA REMEDIACÃO DE ÁREAS

Segundo CALDWELL and ORTIZ, (20), do ponto de vista organizacional, a remediação de áreas pode ser abordada sob dois ângulos distintos:

- Considerada sob o ponto de vista apenas corretivo, quando se trata de áreas inativas;
- Prevendo-se a utilização simultânea da área no decorrer da operação de recuperação.

Segundo o autor, a abordagem do trabalho difere de um ângulo para outro, chegando mesmo a influenciar na adoção e implantação das tecnologias e compreende duas fases:

- Fase de pré-remediação;
- Fase de remediação.

#### 3.3.3.2.1 - FASE DE PRÉ-REMEDIACÃO

Inicia com a identificação da área e inclui todos os estudos necessários à compreensão do problema. Consiste segundo LIMA (72), HOPPER (60) e CALDWELL and ORTIZ (20), das seguintes etapas:

- PLANO DE INTERVENÇÃO: Compreende as consultas

preliminares realizadas com o objetivo de encaminhar o problema;

- IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA: Também denominada análise de macro-localização, consiste no levantamento dos dados existentes da área de disposição de resíduos, cronologia de disposição, locação de benfeitorias, identificação dos proprietários, levantamento topográfico, registros de visitas da fiscalização ou monitoramento, uso do solo, etc.;

- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA: Também chamada análise de micro-localização, refere-se às investigações que são realizadas com o objetivo de coletar dados mais detalhados da área e dos contaminante. Nesta etapa, os seguintes dados quantitativos e qualitativos devem ser investigados:

- Aspectos físicos e químicos dos resíduos e das matrizes nas quais estão contidos;
- Investigações geológicas, estabelecendo as relações entre geologia e contaminação;
- Movimento de água e transporte de contaminantes sob condições meteorológicas conhecidas e períodos representativos dos ciclos naturais;
- Investigações pedológicas: tipo de solo superficial, cobertura, antecedentes de temperatura e umidade, etc.;
- Investigações atmosféricas compreendendo caracterização do transporte de contaminantes pelo ar, objetivando definir a sua patogenicidade e dispersibilidade;
- Identificação da fauna e flora da região, "habitats" críticos, locação de poços de água, etc.
- ESTUDO DE VIABILIDADE: Concluindo-se a caracterização da área, passa-se à avaliação preliminar das opções técnicas para sua recuperação e estimativa dos custos. A providência inicial consiste nos ensaios de tratabilidade do(s) resíduo(s) de maneira a avaliar a possibilidade do seu enquadramento dentro das tecnologias disponíveis. Qualquer

tecnologia ou combinação de tecnologias que possam ser usadas para atingir a meta de proteção à saúde humana e ao ambiente deve ser avaliada durante esta fase.

Para remoção de alguns contaminantes já existem tecnologias de eficiência consagrada e, no caso de outros contaminantes, podem ser usadas, com maior ou menor eficácia de remoção, várias tecnologias, dependendo das condições particulares de cada projeto.

Integra esta fase a avaliação dos impactos ambientais da área e, nos países onde há uma política explícita de remediação de áreas degradadas, o enquadramento na lista de prioridades com vistas à obtenção de verbas para o projeto.

Concluindo, o estudo de viabilidade consiste, pois, em promover um casamento entre as tecnologias disponíveis e as condições específicas de cada área, objetivando a maior eficiência de remoção de contaminantes pelo menor custo.

- DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS CONTAMINADAS: Manipulando-se os dados obtidos até então, é feito o levantamento da área contaminada e definida a probabilidade de liberação de contaminantes, seu destino, população impactada, receptores sensíveis, tipo e extensão do contato humano, etc.

Consiste, pois, em conclusões e recomendações técnico-econômicas e ambientais que nortearão o empreendimento.

### 3.3.3.2.2 - FASE DE REMEDIACÃO

Conforme CALDWELL and ORTIZ (20), esta fase inicia com a formulação do modelo tecnológico e estende-se

até a implantação do projeto propriamente dito e seu monitoramento, assim caracterizados por LIMA (72):

- FORMULAÇÃO DO MODELO TECNOLÓGICO: Consiste no detalhamento técnico-científico dos métodos e técnicas a serem utilizados no tratamento.
- PROJETO DE REMEDIACÃO: Como etapa preliminar do projeto de remediação, tem-se o projeto básico. A seguir, o projeto detalhado, consiste nos cálculos e formulações de engenharia conduzidos com o objetivo de atender às metas de recuperação da área. Seu escopo básico inclui, além do detalhamento dos métodos e técnicas operacionais, o planejamento de ações para implementar, operar e gerir as atividades gerais de remediação da área.
- IMPLANTAÇÃO DO PROJETO: Consiste nas ações gerais para implementação e consolidação do projeto já definido.
- MONITORAMENTO: Consiste de uma atividade fundamental do empreendimento e tem como princípio o aumento da confiabilidade e eficácia dos métodos adotados.

### 3.3.3.3 - OUTROS MÉTODOS USADOS

Alguns modelos desenvolvidos para aplicação em assuntos correlatos, muitas vezes, encontram campo de atuação na metodologia de remediação de áreas degradadas. O caso mais frequente são os modelos utilizados no planejamento global do gerenciamento de resíduos sólidos e os usados na avaliação dos impactos ambientais de aterros sanitários, entre os quais podem ser citados:

- MODELO DESCARGA ZERO: Trata-se do modelo atualmente mais utilizado para planejamento global das ações de gerenciamento de resíduos sólidos, o qual, segundo LIMA (77), tem como princípio básico a reciclagem e

inertização dos resíduos, ou seja, trata-se de um ciclo fechado onde a única troca possível com o ambiente deve ser endógena e isenta de impactos ambientais.

- MODELO HELP: "Hydrologic Evaluation of Landfill Performance", modelo desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, permite uma estimativa rápida e econômica da performance hidrológica dos aterros, avaliando parâmetros como escoamento superficial, drenagem sub-superficial, percolado passível de ocorrer na operação de diferentes tipos de projetos de aterros e outros. O modelo foi testado por SCHROEDER et alii (111), EPA (44), e PEYTON et alii (101), os quais chegaram, entre outras, às seguintes conclusões:

- . A condutividade hidráulica é uma das mais importantes características no controle da infiltração para todas as coberturas testadas;
- . O modelo gera resultados confiáveis de balanço de água;
- . As estimativas acumuladas do volume de drenagem lateral encontram-se fortemente dependentes da estimativa da condutividade hidráulica do material de cobertura.

- SCHOLL CANYON MODEL: Conforme CHOW and DIMMICK (33), este foi o modelo usado pela EPA para avaliação dos impactos de uma série de aterros, no meio aéreo. Baseando-se na premissa de que a produção de gases, em aterros municipais, atinge o pico imediatamente após a disposição, decrescendo exponencialmente e ignorando a fase de estabelecimento das condições anaeróbias, o modelo, através de três etapas de testes, define quais as plantas necessitam de controle e/ou recuperação de gases.

### 3.3.4 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS DADOS DA REVISÃO DE LITERATURA

Neste ítem são discutidos alguns tópicos da revisão de literatura considerados relevantes para o estudo proposto nesta pesquisa. Alguns aspectos, embora não apresentem interesse imediato aos objetivos propostos, foram incluídos na discussão por serem correlatos ou por constituírem uma contribuição ao assunto em pauta.

#### 3.3.4.1 - ORIGEM E FORMAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O aumento da população, associado ao incremento da necessidade de produção de alimentos e bens de consumo, estimulada pelos meios de comunicação, leva o homem a transformar, cada vez mais, a matéria prima, gerando maiores quantidades de resíduos, tanto no processo de produção industrial quanto no consumo, constituindo, um processo que se auto-alimenta, e que pode assumir grandezas que, inclusive, tendem a fugir da sua esfera de controle.

Cabe aqui uma análise particular de países que até um passado recente não se encontravam submetidos às leis da economia de mercado. Nestes, a geração de resíduos seguia uma dinâmica específica, que, entretanto, tende a se aproximar dos padrões ocidentais, à medida que ocorre uma abertura para a economia capitalista. É o caso, por exemplo, da China, país onde, a produção de resíduos é minimizada devido adoção de uma política voltada para a reciclagem, que, apesar de apresentar deficiências organizacional, financeira e técnica, encontra-se

implantada há muitos anos, quando ainda nem se cogitava disto nos países ocidentais.

Como a geração de resíduos está associada, basicamente, ao crescimento da população mundial e à produção industrial e estes dois fatores encontram-se em ascensão, conforme mostrado nas Figuras 3.1 e 3.2, respectivamente, a geração de resíduos sólidos caracteriza-se, atualmente, como um processo irreversível, o qual tende a crescer cada vez mais, se for mantida a atual configuração.

Novos conceitos que estão surgindo com as descobertas da física moderna mostram que, apesar das condições de origem dos resíduos sólidos lhes conferirem alto grau de entropia, isto não significa que a sua geração esteja irremediavelmente condenada à irreversibilidade: processos racionais de produção industrial e técnicas apropriadas de gerenciamento de resíduos podem amenizar este quadro assustador. As descobertas científicas citadas em 3.1, subsidiam, não só a adoção da "tecnologia limpa", nos processos de produção industrial, uma vez que, quanto mais desordenada for a sua geração, maior a possibilidade de aumento da entropia global, como também, a segregação dos mesmos após a geração, com vistas a reduzir as possibilidades de reação entre as moléculas de diferentes resíduos, excetuando-se, evidentemente, as interações moleculares que favorecem os processos de tratamento.

Embora a concepção mecanicista, dos cientistas Newton e Descartes, tenha fundamentado a descrição de muitos fenômenos que ocorrem na área científica, particularmente no campo das Ciências Exatas, a problemática da geração de lixo constitui uma questão multidisciplinar, na qual interferem diversos fatores, não permitindo que as soluções sejam encontradas apenas sob a ótica do Universo Newton-Cartesiano, o qual ainda norteia

grande parte da tecnologia contemporânea.

A descrição reducionista, que se baseia na premissa de que os fenômenos complexos podem ser entendidos desde que sejam reduzidos a seus componentes básicos e investigados os mecanismos de interação das partes, pode, portanto, ser útil e, em alguns casos, necessária. Ela só é perigosa quando interpretada como se fosse uma explicação completa. Reducionismo e holismo, análise e síntese, são enfoques complementares que podem ajudar no entendimento mais profundo da natureza.

As propriedades de heterogeneidade e anisotropia que dificultam o tratamento do lixo, nos processos convencionais, por outro lado, oferecem a possibilidade de compensar a entropia característica dos processos de geração, através da adoção de sistemas integrados de gerenciamento, que respeitem as características de cada resíduo e que contemplem, sempre que possível, os processos que permitam a recuperação parcial da energia.

### 3.3.4.2 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Como primeiro passo para caracterizar a área degradada, o levantamento quali-quantitativo dos resíduos da área de disposição é essencial.

Muitas vezes, inclui-se no planejamento das atividades de remediação, a definição do processo de tratamento dos novos resíduos gerados, sendo necessário caracterizá-los para se estabelecer os métodos de remediação da área degradada, e, também, otimizar a coleta

e tratamento dos resíduos que continuam a ser gerados.

Há alguma confusão a respeito dos registros das taxas de geração e de coleta dos resíduos sólidos devido aos diferentes métodos de medição e das diferentes classificações adotadas para cadastrar os dados. Adicionalmente, muitos operadores de instalações de processamento de resíduos sólidos não se conscientizaram da importância de um bom arquivo de dados. Muitas instalações carecem de equipamentos para avaliar o peso da carga, de maneira que a estimativa das quantidades manipuladas é muito imprecisa.

O método padronizado para cadastrar a geração de resíduos é em termos de peso; todavia, estes dados são de valor limitado para alguns estudos. No caso de projeto de aterros, por exemplo, a maioria dos cálculos depende de medidas volumétricas as quais estão vinculadas ao grau de compactação e densidade do resíduo, características estas que variam caso a caso.

Como se pode perceber pelos dados da Tab. 3.1, poucos países encontram-se numa posição privilegiada de terem os seus resíduos quantificados, e, dentre estes, os dados referentes aos resíduos de origem industrial são os mais incompletos.

Em relação aos dados das Tabelas 3.2 e 3.3, observa-se:

a)- A composição dos resíduos é específica para cada localidade e fortemente influenciada pelo grau de industrialização e condições sócio-econômicas entre outros fatores. Constituem evidências dessas afirmações o baixo teor de matéria orgânica de Villeparisis (um distrito da cidade de Paris) e da Ilha de Saba (Ver Tab. 3.2), o primeiro devido ao grau de industrialização avançado, característico das cidades do primeiro mundo, o que faz com

que ítems como plásticos, papel, papelão e vidro sejam gerados em larga escala, em detrimento da matéria orgânica. Os percentuais relativos à Ilha de Saba se explicam devido à baixa produção agrícola da ilha e pela economia baseada no turismo, o que acarreta a utilização de grande quantidade de embalagens por parte dos veranistas;

b) A cidade de Minsk, (Tab. 3.2), foi incluída por constituir uma referência de cidades do Leste Europeu;

c) A composição do lixo de Belo Horizonte, (Tab. 3.2), foi escolhida como referência típica de geração de lixo das cidades de médio e grande porte do Brasil;

d) O aumento do teor de matéria orgânica do lixo da cidade de Americana, (Tabelas 3.3-A e 3.3-B), observado entre os anos de 1986 e 1988, explica-se pela caracterização mais criteriosa realizada em 1988, quando da implantação do sistema integrado, objeto do estudo de caso deste trabalho. Além disto, a política de gerenciamento global de resíduos sólidos foi modificada, introduzindo a reciclagem dentro das indústrias, o que reduziu o percentual de plásticos, trapos, couro e borracha encaminhado à área de disposição final.

A denominação de "resíduos hospitalares", adotada para os resíduos provenientes dos serviços de saúde, muitas vezes, induz à subestimação quantitativa e qualitativa de sua geração, uma vez que os hospitais não constituem os seus únicos geradores. Deve ser usada, exclusivamente, com referência aos resíduos provenientes dos hospitais.

Entre os resíduos dos serviços de saúde estão incluídos também culturas e estoques, resíduos patológicos, sangue, resíduo de animal contaminado, resíduo infeccioso, equipamentos médicos, resíduos biológicos; enfim, resíduos que são encontrados em postos de saúde, pronto-socorros, ambulatórios, laboratórios médicos e de pesquisas.

farmácias, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias, funerárias e até residências.

### 3.3.4.3 - LIXO E POLUIÇÃO: IMPACTOS AMBIENTAIS

O chorume, considerado como a principal fonte de impacto ambiental, causado pela disposição inadequada de resíduos sólidos, normalmente, surge imediatamente após a disposição e sua presença faz-se presente durante toda a vida útil da planta, podendo perdurar por décadas, após o encerramento das atividades, e exigindo ações corretivas, através de instalações que devem ser operadas por vários anos, com o objetivo de remediar a contaminação ocorrida.

Pelo exposto na revisão de literatura, pode-se concluir que o potencial de contaminação do material disposto no solo apresenta uma dimensão tal que não é possível assumir que liberações significativas de componentes solúveis não ocorram, mesmo quando são tomadas medidas ambientalmente preconizadas, mas esforços devem ser conduzidos no sentido de minimizá-las ao máximo. A liberação de gases, devido à degradação ou volatilização dos componentes dos resíduos, em geral, começa alguns meses após a disposição e pode perdurar por várias décadas, ocorrendo, na direção vertical e dispersando na atmosfera, ou horizontal, contaminando o solo adjacente.

Enquanto que o metano e o dióxido de carbono são provenientes da decomposição biológica do resíduo, uma fração dos elementos-traço é devida à decomposição biológica, enquanto que o restante se deve aos componentes de origem industrial ou aos resíduos perigosos domésticos.

Nos últimos anos, a presença de compostos orgânicos voláteis específicos tem chamado a atenção e constitui um problema que necessita avaliação mais precisa. A utilização do gás de aterros para produção de energia reduz, significativamente, o problema, mas os problemas de odor, associados com a disposição de resíduos, ainda persistem.

Devido aos motivos expostos, esforços devem ser conduzidos no sentido de impedir que os gases de aterros e lixões migrem para o ambiente, mas é sabido que, apenas uma percentagem em torno de 20-50% dos mesmos pode ser coletada, da maneira que os aterros são construídos, atualmente.

#### **3.3.4.4 - REMEDIACÃO DE ÁREAS**

Neste item serão abordados os seguintes aspectos:

- Levantamentos preliminares;
- Técnicas de remediação;
- Metodologia de remediação.

##### **3.3.4.4.1 - LEVANTAMENTOS PRELIMINARES**

Os dados de literatura mostraram que alguns países do Primeiro Mundo estão investindo muitos recursos na remediação de áreas degradadas. Isto não significa, necessariamente, que estão mais preocupados com a questão ambiental que os demais. Muitas vezes, tal fato ocorre porque tais países possuem um maior número de áreas degradadas, não havendo implementado, "a priori", medidas preventivas que impedissem a contaminação.

O caso do Brasil, entretanto, não se enquadra em nenhum destes contextos. Aqui a questão deve ser analisada sob a ótica de país do Terceiro Mundo, onde o saneamento constitui uma das áreas mais carentes, e, na qual, o equacionamento da questão dos resíduos sólidos é considerado um dos aspectos mais problemáticos.

Até 1950, o Brasil era um país eminentemente rural, com 2/3 da população vivendo em comunidades rurais. Com o advento do desenvolvimento industrial, a partir dos anos cinqüenta, os hábitos e costumes da população foram alterados e iniciou-se o processo de êxodo do campo, o que fez com que o problema dos resíduos sólidos começasse a tomar vulto. Somente nos últimos quatro anos, é que a questão dos resíduos sólidos começou a ganhar maior espaço nos fóruns de debates científicos e na imprensa, devido aos índices já insuportáveis de impactos ambientais causados pelas formas de tratamento e destinação final inadequadas, pela crescente conscientização da necessidade de preservação ambiental e, também, pela grande divulgação dos projetos dos países do primeiro mundo.

. Paradoxalmente, as técnicas de tratamento de lixo, no Brasil, não estão atreladas a dependência de tecnologias externas. O país tem desenvolvido "projetos de ponta", entretanto, por falta de uma política realista para o setor, a aplicação destes projetos é, na maioria das vezes, restrita a casos isolados e o acompanhamento e divulgação dos resultados obtidos é escasso.

Com relação aos resíduos sólidos de origem industrial, não existe, sequer, um levantamento, por precário que seja, da situação global do país, constituindo os dados a respeito de alguns sistemas existentes, informações isoladas.

As normas que regulamentam a classificação,

NBR-10.004 (89); padronização dos ensaios de lixiviação, NBR-10.005 (90) e solubilização, NBR-10.006 (91); amostragem, NBR-10.007 (91), de resíduos sólidos no Brasil, não tratam da questão de remediação de áreas degradadas e não existe nenhuma norma especificamente dirigida para o assunto no país.

Finalizando, percebe-se que, num levantamento dos dados relativos aos programas de remediação de áreas degradadas, no Brasil, os levantamentos existentes limitaram-se a estimar grosseiramente o número de lixões existentes e a referenciar algumas iniciativas de remediação de áreas, sem, entretanto, aprofundar a questão, confirmando o fato de que, ainda hoje, pouco ou quase nada há no Brasil a respeito do assunto.

#### 3.3.4.4.2. - TÉCNICAS DE REMEDIACÃO

Os dados apresentados mostram que a incineração se coloca na liderança dos processos de remediação, devido à sua larga aplicabilidade, seguida pela imobilização, a qual apesar de ser a segunda tecnologia mais usada, não apresenta ainda eficiência demonstrada para muitos contaminantes. Todos os incineradores exigem sistema de manuseio de cinzas e lavadores de gás. Os metais presentes nos resíduos, normalmente, são oxidados e volatilizados devido às altas temperaturas de operação. Nos casos em que não ocorre a volatilização, os metais oxidados são, muitas vezes, lixiviáveis e as cinzas permanecem, portanto, perigosas. Além dos perigos provenientes de uma combustão inadequada, os incineradores exigem cuidados operacionais, relativos à caracterização apropriada dos resíduos, em função do equipamento utilizado. Pesquisas recentes

estabelecem que a incineração a temperaturas superiores a 1200°C, com um tempo de residência de 2 segundos, reduz consideravelmente a emissão de dioxinas de maneira que as remanescentes podem ser controladas com filtros.

Estabilização e solidificação são técnicas efetivas de imobilização de metais, mas, em relação aos resíduos orgânicos têm sua aplicabilidade limitada àqueles que contenham menos de 5% de compostos orgânicos.

As demais técnicas, com exceção do sistema integrado objetivo desta pesquisa, discutido a seguir, não serão aqui comentadas, uma vez que suas limitações, vantagens e desvantagens já foram colocadas na revisão de literatura.

O sistema constitui uma alternativa realista que se coloca, principalmente para países do terceiro mundo, os quais encontram sérias dificuldades até mesmo para tratar os resíduos atualmente gerados, restando-lhes poucos recursos para investir nas áreas já degradadas, mas trata-se de uma tecnologia que encontra larga aplicabilidade também nos países desenvolvidos, uma vez que, também estes, estão tendo dificuldade em encaminhar seus programas de remediação de áreas, embora alguns estejam investindo muitos recursos em programas direcionados para esta finalidade.

O sistema utilizado, como os demais descritos na revisão de literatura, parte da premissa de máximo aproveitamento energético, mas, diferentemente daqueles, trata-se de uma tecnologia utilizada para remediação de áreas degradadas. Vale colocar que alguns processos adotados no sistema constituem inovação tecnológica, já conhecida para o caso de tratamento de resíduos sólidos, mas adaptada e desenvolvida para utilização como tecnologia de remediação de áreas.

### 3.3.4.4.3 - METODOLOGIA DE REMEDIACÃO

Observa-se que a quantia utilizada pela EPA de U\$ 56.000, conforme citado por KOVALICK (67), para avaliação preliminar e inspecção de cada área suspeita de degradação constitui um alto custo para a realidade atual do Brasil, dado o elevado número de áreas que se enquadram nesta condição, no país. Entretanto, faz-se premente um cadastramento imediato destas áreas de maneira a selecionar aquelas consideradas críticas e encaminhar as ações de pré-remediação e, posteriormente, a remediação.

Embora os dois últimos modelos citados no item 3.3.3.3 tenham sido desenvolvidos para aplicação em aterros, podem ser adaptados para o caso das áreas degradadas, uma vez que muitas destas se constituem de aterros municipais precariamente construídos e operados.

Relativamente ao SCHOLL CANYON MODEL, o pressuposto de que a produção de gases atinge o pico imediatamente após a disposição constitui uma simplificação adotada, já que se sabe que o processo não ocorre exatamente desta maneira.

Apesar de os modelos constituírem ferramentas úteis de análise e de estabelecimento de metodologias úteis ao planejamento e execução da ações de remediação, não se deve esperar que nenhum deles reproduza todos resultados de campo, porque grande variabilidade ocorre entre os dados de células identicamente construídas. A modelagem é útil para estimar o comportamento das áreas de disposição em geral, mas deve ser usada de maneira cautelosa e atentando para as variáveis que podem ocorrer em cada caso particular.

## 4 - DADOS BÁSICOS

Inicialmente, cabe esclarecer qual o objeto específico desta pesquisa: trata-se de analisar a etapa A do aterro celular anaeróbio, implantado no município de Americana, a partir de 1987, no qual foi utilizado o processo de bio-remediação.

Com o objetivo de levantar dados específicos do processo em pauta foram desenvolvidos os seguintes ítems:

- Dados preliminares do município e do sistema implantado;
- Dados para o cálculo da eficiência do processo.

### 4.1 - DADOS PRELIMINARES DO MUNICÍPIO E DO SISTEMA IMPLANTADO

Consistem nos seguintes ítems:

- A cidade de Americana;
- Aspectos gerais da área contaminada;

- Estudo do processo de bio-remediação adotado;
- Descrição do sistema geral de remediação adotado;
- Análise da etapa A do processo de bio-remediação.

Devem, aqui, ser definidas algumas datas importantes na análise do processo em pauta:

- 1974 - Início de disposição irregular de resíduos de origem industrial na área;
- 1980 - Início de disposição irregular de resíduos de origem doméstica na área;
- 1984 - Início da implantação do sistema integrado de recomposição ambiental e tratamento de lixo da cidade de Americana;
- 1986 - Início da estruturação da célula A e realização da caracterização dos resíduos de origem doméstica (Neste ano, não foi determinado o percentual de sólidos voláteis, parâmetro fundamental nesta pesquisa);
- 1987 - Otimização dos serviços de coleta de resíduos e eliminação do processo de co-disposição (A partir desta data, os resíduos industriais começaram a ser reciclados e/ou estocados ou dispostos em aterros nas próprias indústrias);
- 1988 - Nova caracterização dos resíduos de origem doméstica, com determinação do percentual de sólidos voláteis. Em junho deste ano, iniciou, também o processo de recirculação do chorume, após tratamento;
- 1989 - Em janeiro, foi encerrada a disposição de resíduos na célula A. Neste ano, foi feita a caracterização dos resíduos de origem industrial e determinado do percentual de sólidos voláteis;
- 1992 - Em janeiro deste ano, foi encerrada a recirculação

de inóculo na massa de resíduos, caracterizado o material retirado da célula A e determinado o seu percentual de sólidos voláteis (Em 1991, já havia sido feita outra caracterização).

#### 4.1.1 - A CIDADE DE AMERICANA

Segundo a empresa Sistemas de Proteção Ambiental, SPA (116), a cidade, sediada no Estado de São Paulo, contava, em 1989, com um polo empresarial de 880 indústrias, considerando-se as micro, pequenas, médias e grandes empresas, constituindo-se em um importante polo têxtil, industrial e tecnológico do país.

Relatórios do Instituto Agronômico de Campinas, IAC (64) e (63), respectivamente, registram que a precipitação média anual, no período compreendido entre os anos de 1974 e 1991, foi de 1345,3mm e a temperatura média anual, neste mesmo período, de 22,2°C.

Através dos dados parciais do último censo, realizado em 1991, foi possível determinar que a cidade contava com uma população de 163.598 habitantes, experimentando, na última década, um índice de crescimento demográfico anual de 2,17%, não muito diferente daquele estimado para o Brasil. Entretanto, se o crescimento demográfico foi similar ao verificado no restante do país, o mesmo não aconteceu com a atividade econômica, que coloca a cidade entre as que possuem uma das maiores rendas "per capita" do Brasil.

Conforme LIMA e AKUTSU (78), em 1986, a

estimativa da quantidade de resíduos dispostos no aterro era de 85 toneladas/dia, que cotejada com a população estimada para o município, 139.140 habitantes, segundo dados da Tab. 4.1, conduz a uma estimativa de 0,61 kg/hab.dia de resíduos dispostos no aterro. Em 1991, segundo a empresa Progresso e Desenvolvimento de Americana S.A., PRODAM (104), encarregada da operação do aterro, eram coletadas e dispostas no aterro, em média, 130 toneladas de resíduos, considerando os resíduos domésticos, os de varrição, os provenientes do comércio e os domésticos oriundos das indústrias. Tal dado, se cotejado com a população urbana da cidade, 153.598 habitantes, no mesmo ano, conforme dados da Tab. 4.1, conduz a uma média de 0,85 kg/hab.dia de resíduo coletado.

A geração diária de resíduos industriais totalizava, em 1989, segundo a SPA (116), 215 toneladas, excluindo os que já eram reciclados na origem ou por terceiros e incluindo os resíduos classe 1, considerados perigosos, que, até o início do ano de 1987, eram dispostos juntamente com os de origem domiciliar, em um "lixão". Este dado, confrontado com a população estimada da cidade, no mesmo ano, 147.874 habitantes, conduz a uma estimativa de disposição de 1,45 kg/hab.dia de resíduos industriais. A partir deste ano, os resíduos provenientes do processo industrial começaram a não mais constituir ônus para o sistema, ficando sob a responsabilidade das indústrias geradoras.

Para a realização deste trabalho, as estimativas de resíduos domésticos coletados, até a data de 1986, foram baseadas no índice de 0,61 kg/hab.dia. As estimativas relativas ao período posterior, foram baseados no índice de 0,85 kg/hab.dia. Os índices diferenciados para resíduos domésticos explicam-se pela otimização dos serviços de coleta a partir de 1987. O índice de disposição de resíduos

industriais foi baseado no, já citado, dado de 1,45 kg/hab.dia. Estes dados já refletem a média refente a 312 dias/ano, nos quais ocorreu a coleta, excluindo domingos.

#### 4.1.2 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA CONTAMINADA

Desde o ano de 1974 até 1986, os resíduos sólidos do município de Americana vinham sendo dispostos, incorretamente, na Fazenda Salto Grande, a 15 km. do centro, possibilitando o surgimento de um foco de poluição e de vetores prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente, o que se manifestava através do comprometimento das características físicas, químicas e biológicas do solo, ar e água, como pode ser visto na Fig. 4.1.

A presença de "catadores de lixo" que viviam diretamente da reciclagem dos detritos, sem atender às mínimas condições de higiene e salubridade, era uma prática preocupante, bem como a criação de suínos que se alimentavam do lixo "in natura", possibilitando, com a sua comercialização, a contaminação da população.

#### 4.1.3 - ESTUDO DO SISTEMA DE BIO-REMEDIACÃO ADOTADO

Trata-se de um arranjo de sistemas, desenvolvido por LIMA (71), envolvendo processos físicos, químicos e biológicos e utilizando microorganismos anaeróbios para

bio-estabilizar os contaminantes orgânicos dispostos nas áreas degradadas.

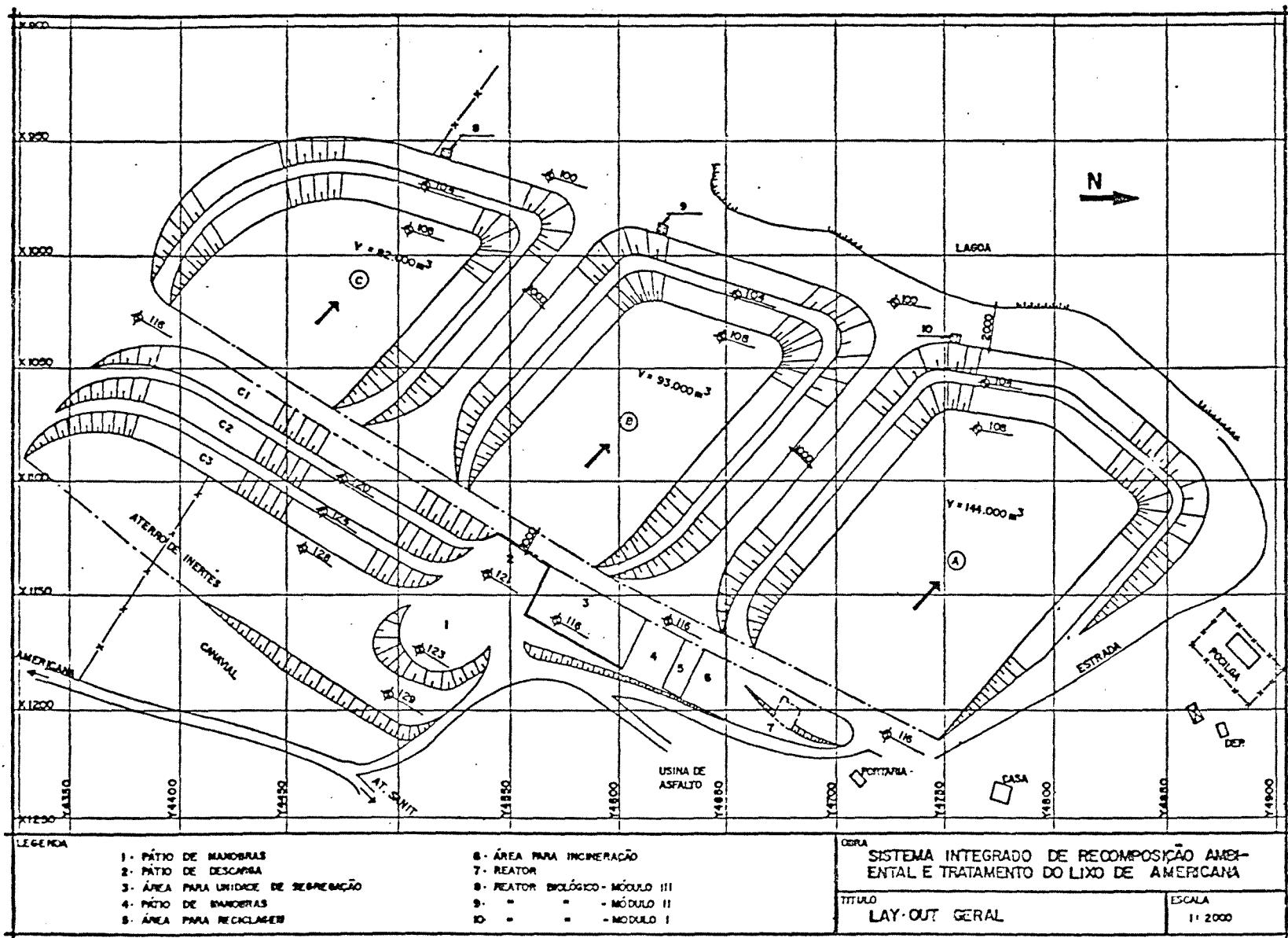
O processo encontra aplicação na remediação de áreas degradadas por resíduos sólidos domésticos e industriais, particularmente aqueles contaminados com metais pesados. O resíduo foi disposto em três etapas, cujas células encontram-se executadas conforme croquis mostrado em esquema da Fig. 4.2. A etapa A foi

**FIGURA 4.1 - ASPECTO PARCIAL DO "LIXÃO" DA CIDADE DE AMERICANA, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO**



FONTE: LIMA (70).

**FIGURA 4.2 - LAY-OUT GERAL**



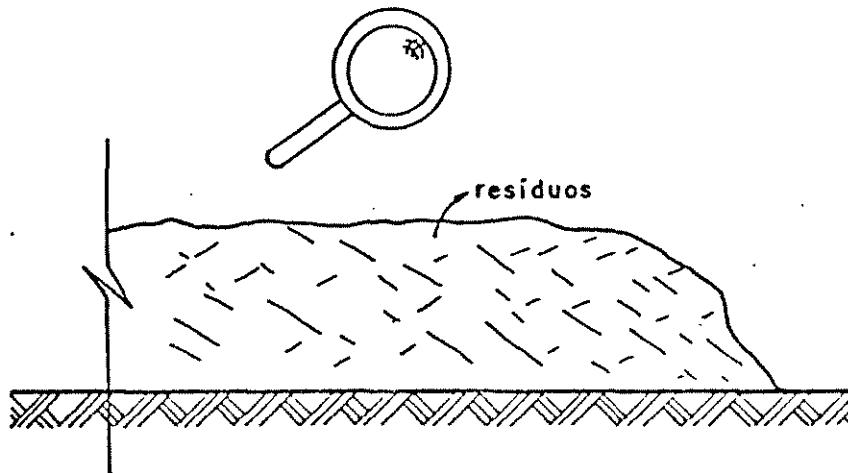
FONTE: SPA (117)

estruturada como célula a partir de 1986 e recebeu resíduos no período compreendido entre 01/86 a 01/89; a etapa B, de 01/89 a 06/91 e a etapa C, de 07/91 a 06/92. Esta pesquisa aborda apenas a análise das eficiências de redução mássica e sanitária do processo de aceleração da decomposição anaeróbia ocorrido na etapa A, a qual se encontra em processo mais adiantado de estabilização e, atualmente, reaberta, para efeito de triagem dos materiais recicláveis. As Figuras 4.3 a 4.6 mostram esquemas das fases que compõem cada etapa do sistema, conforme material cedido por LIMA (71):

- FASE I: ESTUDOS PRELIMINARES - Compreende a fase de levantamento de parâmetros e de estudos técnicos científicos necessários à remediação da área. As ações conduzidas nesta fase estão relacionadas na Fig. 4.3.
- FASE II: TRATAMENTO PRIMÁRIO - Consiste em processos físicos que não alteram, substancialmente, as características do resíduo e seus contaminantes. Seu objetivo é, basicamente, estruturar a célula. A Fig. 4.4 mostra as ações desenvolvidas nessa fase.
- FASE III: TRATAMENTO SECUNDÁRIO - Compreende os processos físicos, químicos e biológicos que alteram as características dos resíduos e contaminantes. Esta fase também é conhecida como bio-remediação, cujo esquema pode ser visto na Fig. 4.5 e consiste nas seguintes ações:
  - . Controle físico-químico dos fatores influentes;
  - . Inoculação, (fase acetogênica e metanogênica);
  - . Lixiviação, onde ocorre a reciclagem de nutrientes, enzimas e células bacterianas;
  - . Encapsulamento dos metais pesados, em função das reações físicas químicas e biológicas que ocorrem na célula. Através do encapsulamento, os metais pesados são levados a formas mais estáveis.

**FIGURA 4.3 - AÇÕES DE REMEDIADAÇÃO****FASE I : ESTUDOS PRELIMINARES  
(DIAGNÓSTICO)**

- PROSPECÇÃO HIDRO-GEOLÓGICA
- AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL
- ENSAIO DE TRATABILIDADE
- DIAGNÓSTICO
- FORMULAÇÃO DE MODELO
- PROJETO TÉCNICO

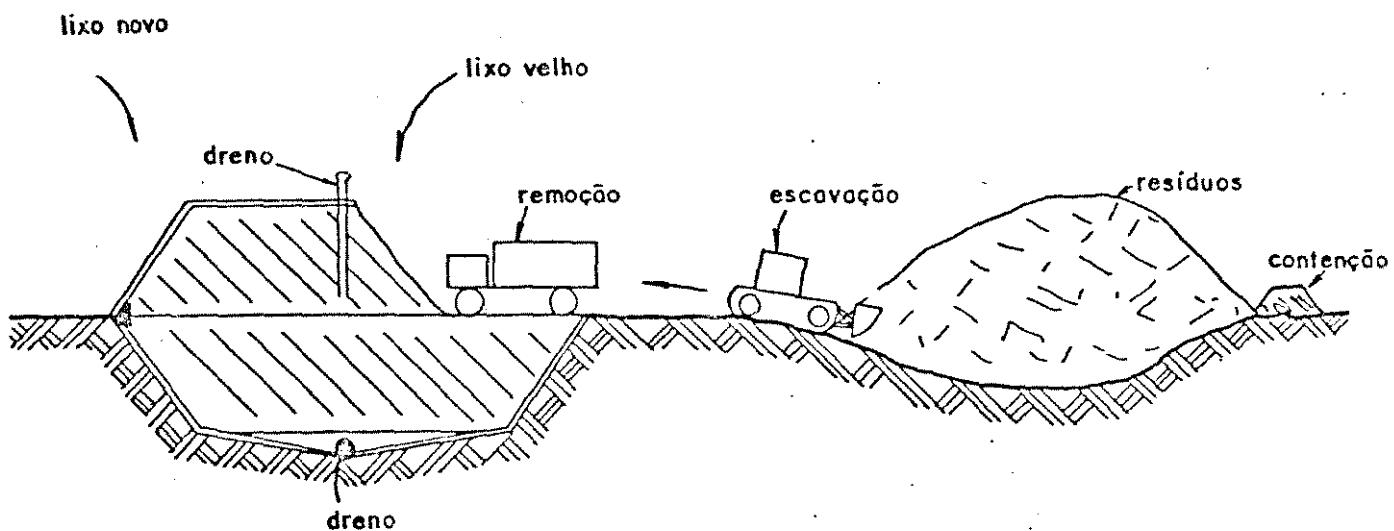


FONTE: LIMA (71).

FIGURA 4.4 - AÇÕES DE REMEDIACÃO

FASE II : TRATAMENTO PRIMÁRIO

- ESCAVACÃO
- REMOÇÃO
- DRENAGEM, CONTENÇÃO
- ATERRAMENTO CELULAR
- AUMENTO DE NUTRIENTES

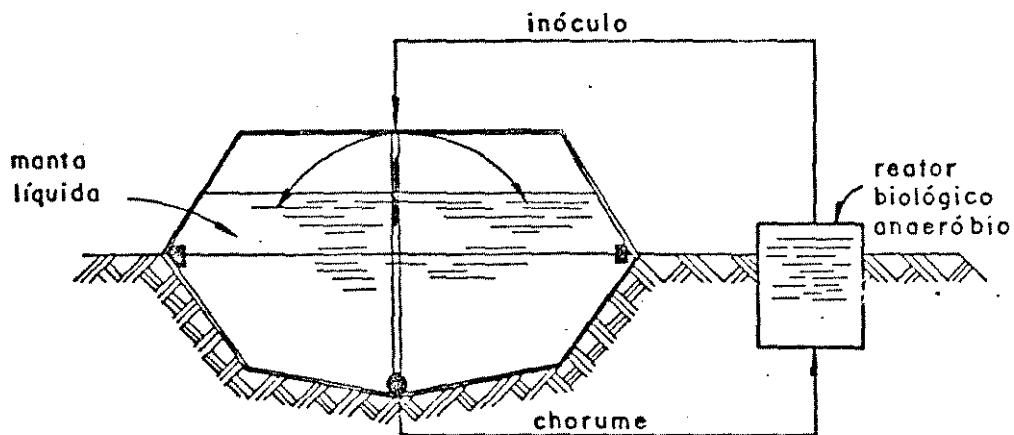


FONTE: LIMA (71).

FIGURA 4.5 - ACÕES DE REMEDIACÃO

FASE III: TRATAMENTO SECUNDÁRIO  
(BIO-REMEDIACÃO)

- MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO
- INOCULAÇÃO (ACETOGÊNESE + METANOGÊNESE)
- LIXIVIAÇÃO BACTERIANA
- ENCAPSULAMENTO (BIOLÓGICO)

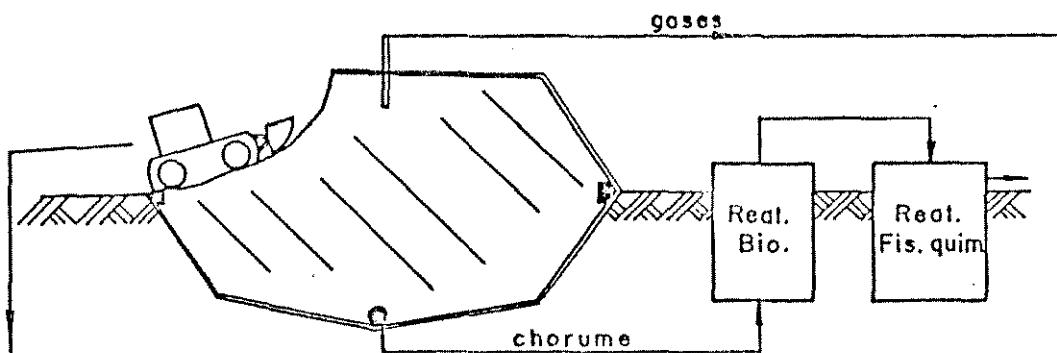


FONTE: LIMA (71).

**FIGURA 4.6 – AÇÕES DE REMEDIADAÇÃO**  
**FASE IV : TRATAMENTO TERCIÁRIO**

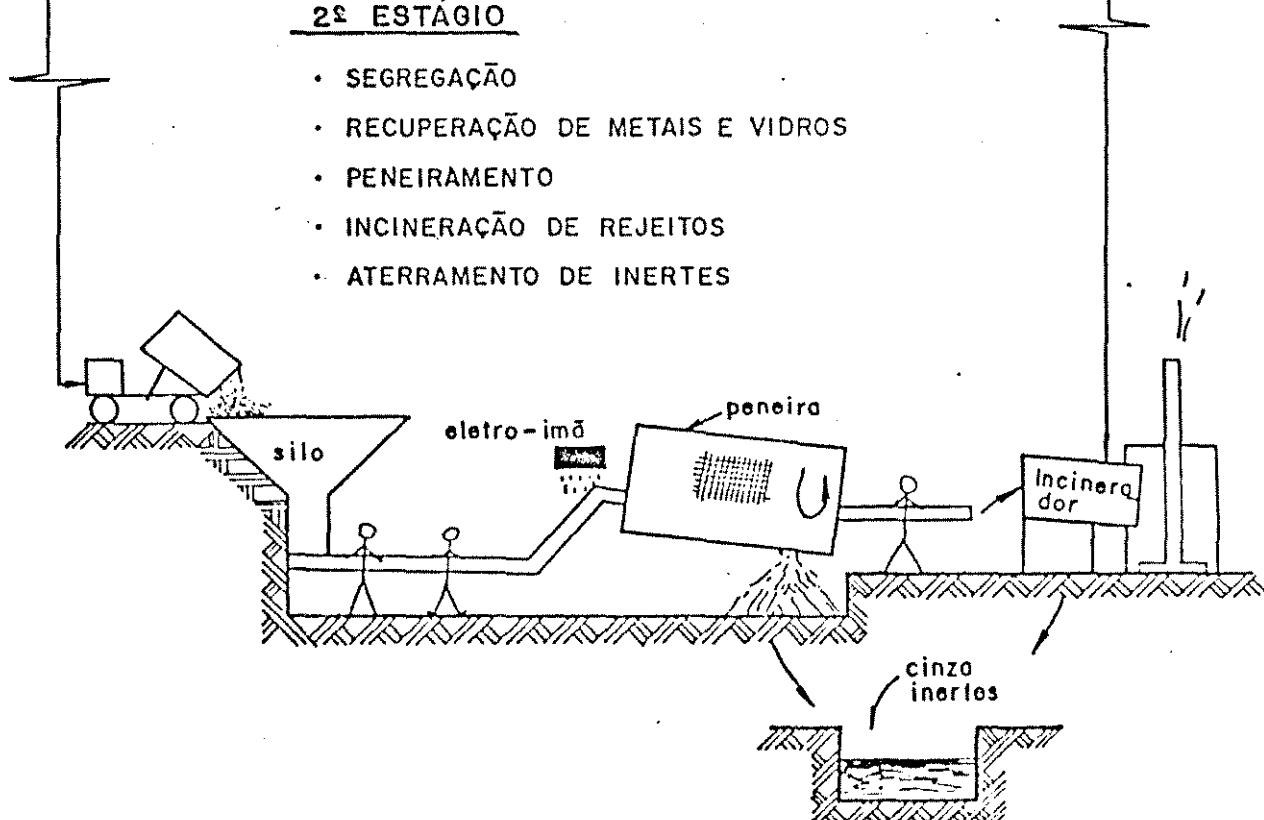
**1º ESTÁGIO**

- EXTRAÇÃO FORÇADA DOS GASES E LÍQUIDOS
- DESINFECÇÃO E POLIMENTO DOS LÍQUIDOS
- INERTIZAÇÃO, VIA INCINERAÇÃO, DOS GASES
- READERTURA DE CÉLULAS



**2º ESTÁGIO**

- SEGREGAÇÃO
- RECUPERAÇÃO DE METAIS E VIDROS
- PENEIRAMENTO
- INCINERAÇÃO DE REJEITOS
- ATERRAMENTO DE INERTES



FONTE: LIMA (71).

- FASE IV: TRATAMENTO TERCIÁRIO - Conforme mostrado no esquema da Fig. 4.6, esta fase consiste no tratamento final dos resíduos e sua completa inertização. Esta fase é sub-dividida em dois estágios o primeiro dos quais ocorre dentro da célula "in situ" e o segundo fora da mesma, "ex situ".

#### 4.1.4 - SISTEMA GERAL DE REMEDIACÃO

Conforme descrito em linhas gerais no item 3.3.2.4.4, o projeto encontra-se inserido dentro de uma abordagem sistêmica, cujos principais componentes podem ser vistos no "lay-out" geral, Fig. 4.2, onde, numa área de 4 ha., estão implantadas e operando algumas unidades, enquanto que outras encontram-se, ainda em fase de implantação.

Já foram implantadas, na área onde se encontra o material da etapa A de disposição, as fases denominadas I, II e III das ações de remediação e as seguintes ações da fase IV:

##### -PREPARO DA REABERTURA DA ETAPA A:

Isolamento (considerado desnecessário em vista de a célula já se encontrar em adiantado grau de estabilização); drenagem de líquidos; extração forçada de gases; remoção do material para triagem dos recicláveis, uso do remanescente orgânico como cobertura e incineração dos rejeitos.

Encontra-se em fase de implantação a unidade de triagem e, paralelamente, são planejadas e/ou executadas as seguintes atividades complementares: implantação da infra-estrutura para a etapa C<sub>1</sub> (Célula de rejeitos);

caracterização dos resíduos aterrados; caracterização dos resíduos novos (domésticos); monitoramento de sólidos, líquidos e gases; controle tecnológico dos processos implantados e sondagem e poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea.

#### 4.1.5 - ESTUDO DA ETAPA A DO SISTEMA DE BIO-REMEDIACÃO

Compreende o material com idade de aterramento superior a quatro anos. A base da célula ocupava, inicialmente, uma área de, aproximadamente, 58.500m<sup>2</sup>, correspondendo a um comprimento e largura médios de 390 e 150m, respectivamente. Esta área, entretanto, foi reduzida para, aproximadamente, 27.000m<sup>2</sup>, devido a modificações realizadas em suas dimensões, consistindo, basicamente, na redução do comprimento para, aproximadamente, 180m, com o objetivo de implantar as células B e C, conforme Fig. 4.2.

O solo sobre o qual se encontra assentada a área de disposição de resíduos, de acordo com o levantamento geológico/geotécnico e geofísico realizado pela ACQUAJET (11), caracteriza-se como siltito com variação, predominantemente, argilosa ocorrendo, principalmente, sedimentos da formação Itararé e, secundariamente, Tatuí, ambas do grupo Tubarão.

Como se trata de um sistema de remediação de área degradada, foi feita a escavação dos resíduos até se atingir o solo original, e, a seguir, sua compactação de maneira a minimizar a infiltração do percolado proveniente da decomposição dos resíduos. Após escavado, todo o material contaminado das áreas adjacentes foi disposto na etapa A e homogeneizado com igual quantidade, em termos de volume, base úmida, de lixo novo. Os veios hídricos

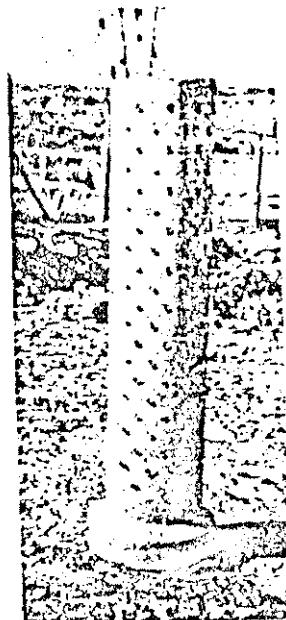
existentes foram drenados para a parte mais baixa da área, onde, após escavado o material, foi construída uma lagoa, cuja borda adjacente ao aterro consta da Fig. 4.2. A técnica de disposição dos resíduos foi a de formação de células de quatro metros de altura, com cobertura diária de 20cm (10cm + compactação + 10cm + compactação) de terra, execução em rampas, com inclinação de 1:3, e forte compactação. Sobre a célula e taludes, selados através de uma camada de 100cm de argila, plantou-se grama, objetivando proteção contra a erosão e acabamento da obra.

O sistema de drenagem do percolado é do tipo anelar, com inclinação de 1%, contornando a parte baixa da área da célula, acrescido de linhas internas de drenos, equidistantes entre si em 50m, dispostas ao longo da largura da célula. A drenagem do percolado é realizada, conforme detalhe da Fig. 4.7-C, por um canal de tubos de concreto, em meia cana, com diâmetro igual a 0,60m, preenchidos com brita número 4 e cobertos com capim, a fim de diminuir os riscos de colmatação superficial. As linhas internas de drenos são interligadas ao dreno anelar e, daí, conduzidas ao reator biológico, onde é produzido o inóculo.

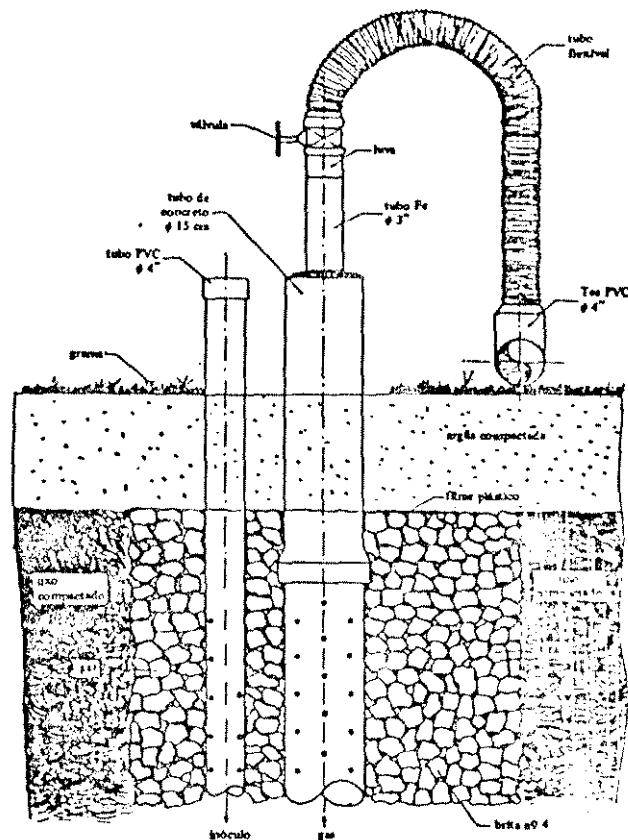
O sistema de drenagem de gases está interligado, perpendicularmente, no sentido vertical dos drenos de percolado e é formado por tubos de PVC perfurado, com diâmetro igual a 4", envolvidos por um anel de brita número 4, cujos detalhes podem ser vistos nos esquemas das Figuras 4.7-A e 4.7-B. A técnica de instalação dos drenos verticais seguiu o método desenvolvido por Lima e descrito por FERRUCIO (53), que adota a camisa metálica deslissante, de comprimento igual a 1,80m e diâmetro de 1,0m, com montagem sucessiva, à medida que executa o aterramento.

A execução da etapa A durou aproximadamente 36 meses e a reciclagem do inóculo, 43 meses. Inicialmente,

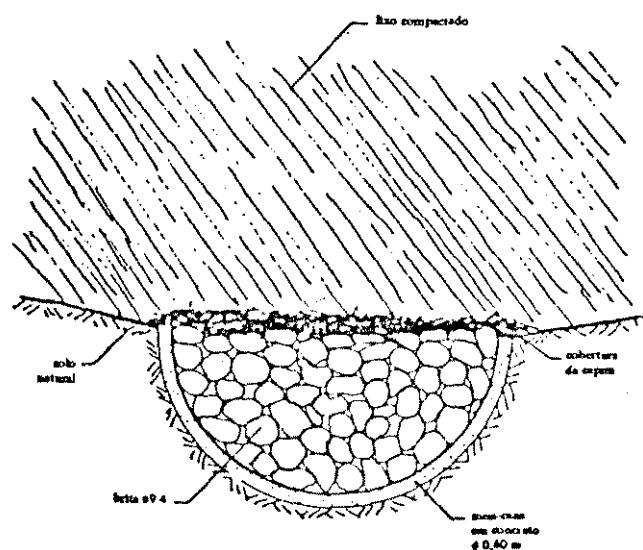
**FIGURAS 4.7 (A, B e C) - INSTALAÇÃO DE DRENOS**



Dreno de captação de gases em aterro sanitário.



Detalhe do dreno vertical para captação de gases e inoculação de líquidos.



Detalhe do dreno horizontal para captação e recirculação de chorume  
FONTE: LIMA (73).

foi usado lodo de esgoto, proveniente de fossa séptica, como inóculo de partida (4 caminhões de 1000 l/cada), sendo, depois, suspensa a aplicação devido à ocorrência de colmatação, passando-se a usar soro de leite, na mesma quantidade do lodo de esgoto, conseguindo-se a partida do sistema. A recirculação era feita através de bombeamento para o sistema de drenagem de percolado já descrito e para tubos extra, instalados verticalmente, segundo uma malha quadriculada, com vedação na parte inferior.

Na foto da Fig. 4.8 tem-se uma vista panorâmica da célula da etapa A, reaberta, de onde está sendo retirado o material para disposição na área de armazenamento, à espera da triagem.

FIGURA 4.8 - REABERTURA DA CÉLULA A



FONTE: SPA (115).

#### 4.3 - DADOS PARA CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO

O cálculo da eficiência do processo de bio-remediação, considerado sob o enfoque proposto, consiste, basicamente, na comparação dos percentuais de sólidos voláteis do resíduo disposto e do material retirado da célula A e os dados utilizados com esta finalidade foram os seguintes:

- Dados de composição física e percentual de sólidos voláteis do resíduo disposto na célula A e do material retirado da mesma.
- Dados de monitoramento dos parâmetros químicos no chorume e na água da lagoa.

##### 4.3.1 - EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA

Embora a composição física dos resíduos dispostos na célula, até o final do ano de 1986, refletia a condição de "lixão" da área, apresentando percentuais de componentes de diversas origens, inclusive industrial, também ocorria, neste período, a disposição de resíduos industriais, não coletados pelo serviço público, ou seja, dispostos irregularmente pelas próprias indústrias. Portanto, nesta pesquisa, foram denominados "resíduos domésticos" aqueles coletados pelo serviço público, mesmo que contenham, também, algum componente de origem industrial e, "resíduos industriais" aqueles dispostos pelas indústrias na área em estudo.

Os dados relativos à quantidade de resíduos

domésticos dispostos, no período 1980-1988 foram calculados tendo por base a população estimada da cidade de Americana, conforme Tab. 4.1, e a disposição "per capita" de resíduos neste período; a determinação da composição física dos resíduos domésticos aterrados na célula A e do material retirado da mesma foi realizada conforme NBR-10.007 (92), e o percentual de sólidos voláteis do resíduo disposto e do material retirado foi determinado segundo L5.149 (30). Os dados médios encontram-se, respectivamente, nas Tab. 4.2 e 4.3. Os dados relativos à quantidade de resíduos de origem industrial, dispostos no período 1974-1986, também foram calculados tendo por base a população estimada da cidade, neste período, conforme exposto na Tab. 4.1, e a disposição "per capita" de resíduos. O percentual de sólidos voláteis dos resíduos industriais foi obtido de SPA (116), através de ensaios de termogravimetria, realizados à temperatura de 1200° C, os quais conduziram aos seguintes resultados:

- Resíduos fixos: 63,66%
- Resíduos voláteis: 36,34%

#### 4.2.2 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E DE ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS DISSOLVIDOS NO CHORUME

Com relação a este aspecto, a pesquisa baseou-se em dados de monitoramento da DQO e metais pesados dissolvidos no chorume e na água da lagoa adjacente ao aterro. Foram realizadas pela CETESB e compilados por LIMA (71), análises compreendidas no período janeiro de 1984/junho de 1985 e, pela SPA, foram realizadas as compreendidas no período janeiro de 1986/janeiro de 1992, segundo normas CETESB L5.012 (26) /L5.102 (27) /L5.121 (28) /L5.145 (29) /L5.149 (30) e NBR-9898 (93).

**TABELA 4.1 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO E ESTIMATIVA DE RESÍDUOS  
DISPOSTOS NO ATERRO DE AMERICANA**

ANO	POPU- LAÇÃO (*)	RESÍDUOS DO- MÉSTICOS DIS- POSTOS (ton)	RES. INDUS- TRIAIS DIS- POSTOS(ton)	OBSERVAÇÕES (*)
1940	5.794	-	-	Dado obtido do IBGE
1950	13.330	-	-	" " " "
1960	32.000	-	-	" " " "
1970	62.329	-	-	" " " "
1974	86.151	-	39.081	Interpolação de dados
1975	92.092	-	41.776	" " "
1976	98.033	-	44.471	" " "
1977	103.974	-	47.166	" " "
1978	109.914	-	49.860	" " "
1979	115.854	-	52.555	" " "
1980	121.794	23.180	55.249	Dado obtido do IBGE
1981	124.685	23.730	56.561	Interpolação de dados
1982	127.576	24.280	57.872	" " "
1983	130.467	24.830	59.184	" " "
1984	133.358	25.381	60.495	" " "
1985	136.249	25.931	61.807	" " "
1986	139.140	26.481	63.118	" " "
1987	142.031	37.667	-	" " "
1988	144.922	38.433	-	" " "
1989	147.874	-	-	" " "
1990	150.826	-	-	" " "
1991	153.778	-	-	Dado obtido do IBGE
TOT.	-	249.913	689.195	

TABELA 4.2 - COMPOSIÇÃO FÍSICA DO RESÍDUO DE ORIGEM DOMÉSTICA DISPOSTO NA CÉLULA A E DO MATERIAL RETIRADO DA MESMA

COMPONENTE	COMPOSIÇÃO FÍSICA EM PESO % (base úmida)		
	1986 (1)	1988 (2)	1992(3)
Matéria orgânica	45	64	-
Material "estabilizado"	-	-	66(*)
Papel e papelão	13	15	3
Plástico fino e grosso	12	8	18
Trapo, couro e borracha	20	5	30(**)
Metais	6	5	6
Madeira	2	1	-
Vidro, terra e pedra	1	2	30(***)
Outros	1	-	1

(\*) O percentual inclui terra

(\*\*) Refere-se apenas aos trapos

(\*\*\*) O dado não inclui terra e pedra

TABELA 4.3 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO DE ORIGEM DOMÉSTICA DISPOSTO NA CÉLULA A (1, 2) E DO MATERIAL RETIRADO DA MESMA (3)

ÍTEM	%		
	1986(1)	1988(2)	1992(3)
Umidade	-	52	44
Sólidos voláteis	-	55	23
pH	-	5,11	7,84

A DQO foi monitorada, semestralmente, no período compreendido entre janeiro de 1984 e outubro de 1987 e, mensalmente, desta data até abril de 1991 e, posteriormente, de setembro de 1991 até janeiro de 1992, correspondendo, portanto, a oito anos de monitoramento, conforme dados médios expostos na Tab. 4.4.

TABELA 4.4 - ANÁLISES DE DQO DO CHORUME (mg/l)  
BIO-REMEDIACÃO DE AMERICANA

ÍTEM	AMERICANA	
	MÊS/ANO	DQO (mg/l)
01	01/1984	89.350
02	06/1984	90.220
03	01/1985	96.300
04	06/1985	99.670
05	01/1986	100.100
06	06/1986	75.123
07	01/1987	39.456
08	06/1987	18.340
09	01/1988	5.215
10	06/1988	818
11	01/1989	1.100
12	06/1989	830
13	01/1990	1.240
14	06/1990	1.410
15	01/1991	1.563
16	06/1991	253
17	01/1992	322

Os metais pesados foram monitorados, mensalmente, no período compreendido entre abril de 1990 e janeiro de 1992, com uma interrupção referente aos meses de maio, junho, julho e agosto de 1991. Os dados referentes ao último mês de monitoramento constam da Tab. 4.5.

**TABELA 4.5 - DADOS FINAIS DE MONITORAMENTO DE METAIS PESADOS DO ATERRO SANITÁRIO DE AMERICANA COMPARADOS COM OS DO ATERRO EXPERIMENTAL Nº 2 DE SÃO CARLOS**

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÕES (mg/l)			
	PADRÃO- Rio Classe II (*)	AMERICANA (**)		ATERRO DE S. CARLOS CHORUMEC (***)
		CHORUME	ÁGUA DA LAGOA	
Alumínio	0,1	0,087	0,018	-
Prata	0,01	0,026	0,027	-
Arsênio	0,05	0,021	0,015	-
Bário	1,0	0,157	0,002	-
Cádmio	0,001	0,022	0,002	-
Cromo	0,55	0,003	0,003	0,50
Cobre	0,02	0,047	0,047	0,04
Ferro	0,3	0,025	0,025	8,09
Magnésio	-	0,016	0,016	-
Manganês	0,1	0,001	0,001	0,12
Níquel	0,025	0,058	0,058	0,21
Chumbo	0,03	ND	ND	-
Estanho	2,0	0,129	0,129	-
Zinco	0,18	0,082	0,082	2,40
Mercúrio	0,0002	ND	ND	-

ND - Não detectado

## 5 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE BIO-REMEDIACÃO

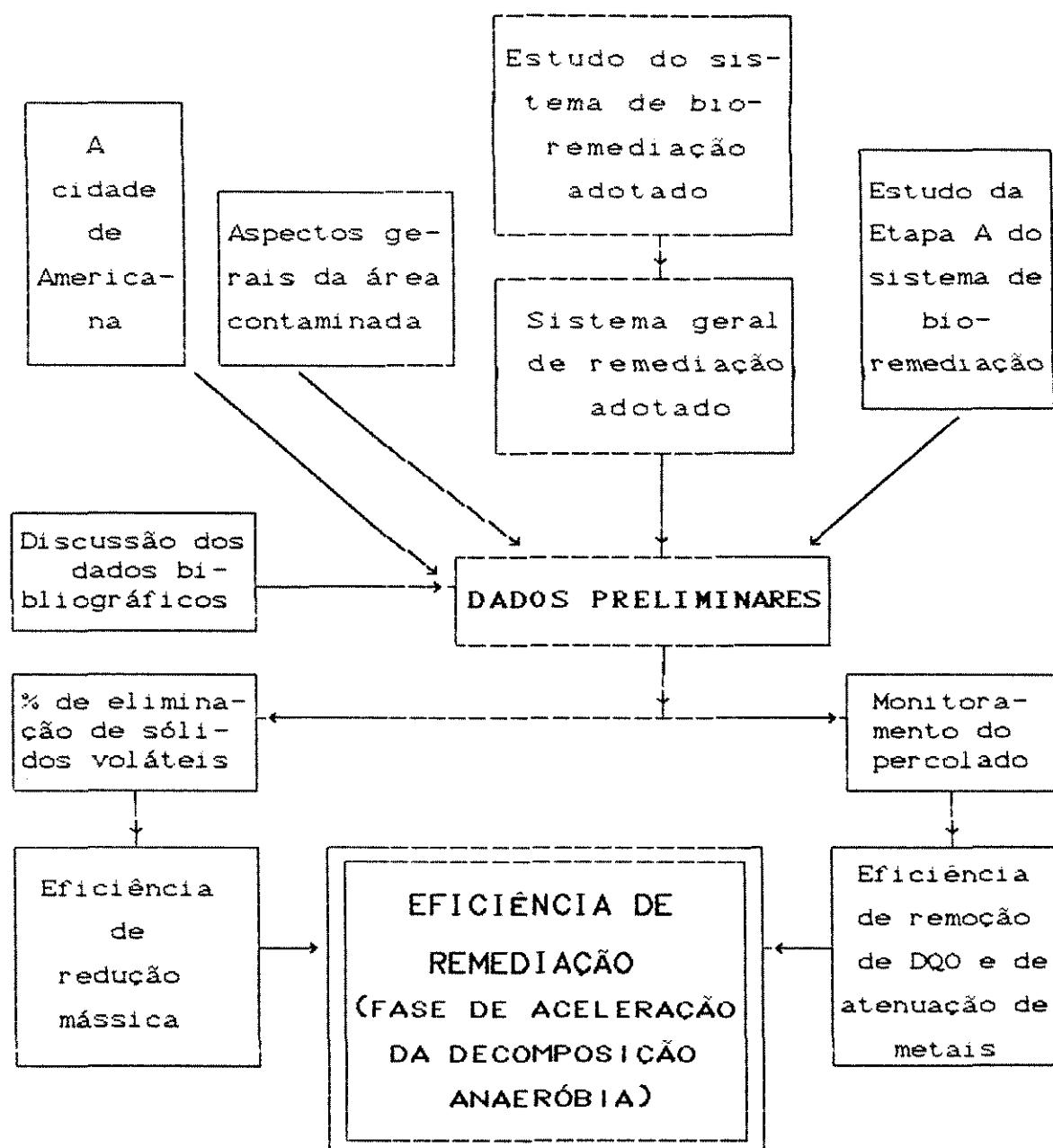
Primeiramente, foram analisados quais os parâmetros adequados à avaliação de eficiência da fase de aceleração da decomposição anaeróbia do sistema em estudo.

Uma das premissas básicas do processo consiste em reduzir a área contaminada, através da aceleração da decomposição e inertização dos contaminantes. Portanto, a avaliação da redução mássica do resíduo, relacionando os parâmetros da sua caracterização com a estimativa da quantidade de resíduos disposta no aterro, foi um dos parâmetros utilizados para avaliar a sua eficiência.

A segunda parte do objetivo proposto, avaliação da eficiência de remoção da DQO e da atenuação de metais pesados dissolvidos no chorume foi viabilizada, através da comparação dos dados de monitoramento que foram coletados ao longo dos anos pela SPA (117) e LIMA (71).

As diversas etapas integrantes da metodologia utilizada foram sintetizadas no fluxograma da Fig. 5.1.

**FIGURA 5.1 – METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA FASE DE ACELERAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA DO PROCESSO DE BIO-REMEDIADAÇÃO – FLUXOGRAMA BÁSICO**



## 5.1 - EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA

Uma das premissas básicas do processo consiste em reduzir a área contaminada, através da aceleração da decomposição e inertização dos contaminantes. Portanto, um dos aspectos a ser analisado consiste na avaliação da redução mássica do resíduo.

A eficiência de redução mássica da fase de aceleração da decomposição anaeróbia será avaliada através da diferença, em termos percentuais, de sólidos voláteis da caracterização física do resíduo aterrado e do material remanescente, por ocasião da reabertura das células, conforme explicitado na equação 5.1. Um fluxograma esquemático da metodologia de avaliação da eficiência de redução mássica é mostrado na Fig. 5.2.

$$\eta_M = \frac{\%SVM_E - \%SVM_S}{\%SVM_E} \times 100, \text{ onde:} \quad (5.1)$$

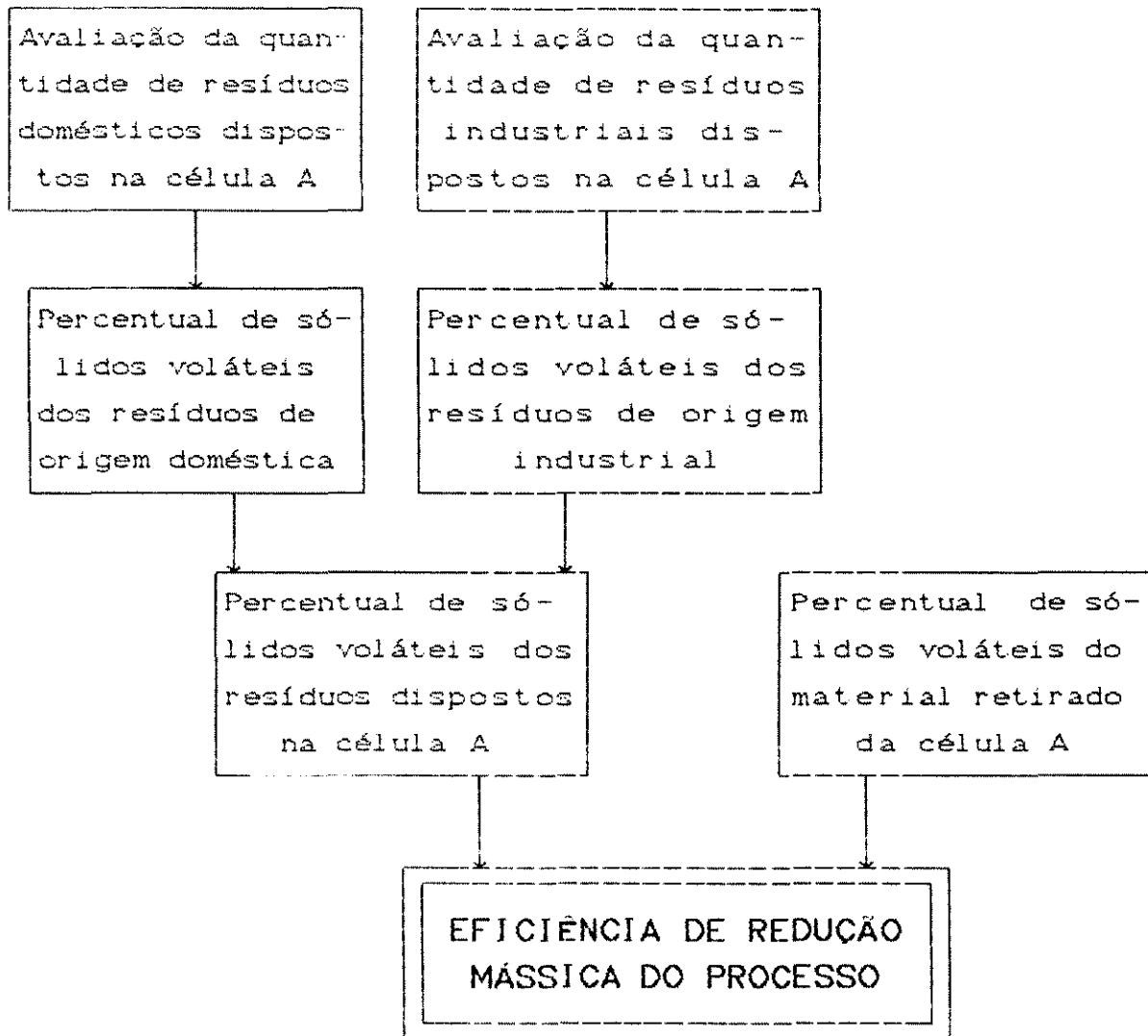
$\eta_M$  = Eficiência de redução mássica do processo, em %;

%SVM<sub>E</sub> = Percentual de sólidos voláteis do material que foi colocado na célula;

%SVM<sub>S</sub> = Percentual de sólidos voláteis do material que foi retirado da célula;

Para isto, foram utilizados os dados da caracterização física dos resíduos de origem doméstica e ensaios de termogravimetria dos resíduos de origem industrial da cidade de Americana, por ocasião da disposição na célula A, e a caracterização física do material retirado da mesma. A metodologia utilizada consta das seguintes etapas:

**FIGURA 5.2 - EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA DO PROCESSO  
FLUXOGRAMA BÁSICO**



- Avaliação da quantidade de resíduo de origem doméstica disposto na célula;
- Levantamento de dados relativos ao percentual de sólidos voláteis do resíduo de origem doméstica disposto na célula;
- Avaliação da quantidade de resíduo de origem industrial disposto na célula;
- Levantamento de dados relativos ao percentual de sólidos voláteis do resíduo de origem industrial disposto na célula;
- Avaliação do percentual de sólidos voláteis referente aos resíduos de origem doméstica e industrial, dispostos em conjunto;
- Levantamento de dados relativos ao percentual de sólidos voláteis do material retirado da célula;
- Cálculo da eficiência de redução mássica do processo de aceleração da decomposição anaeróbia.

#### 5.1.1 - AVALIAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DE ORIGEM DOMÉSTICA DISPOSTO NA CÉLULA A

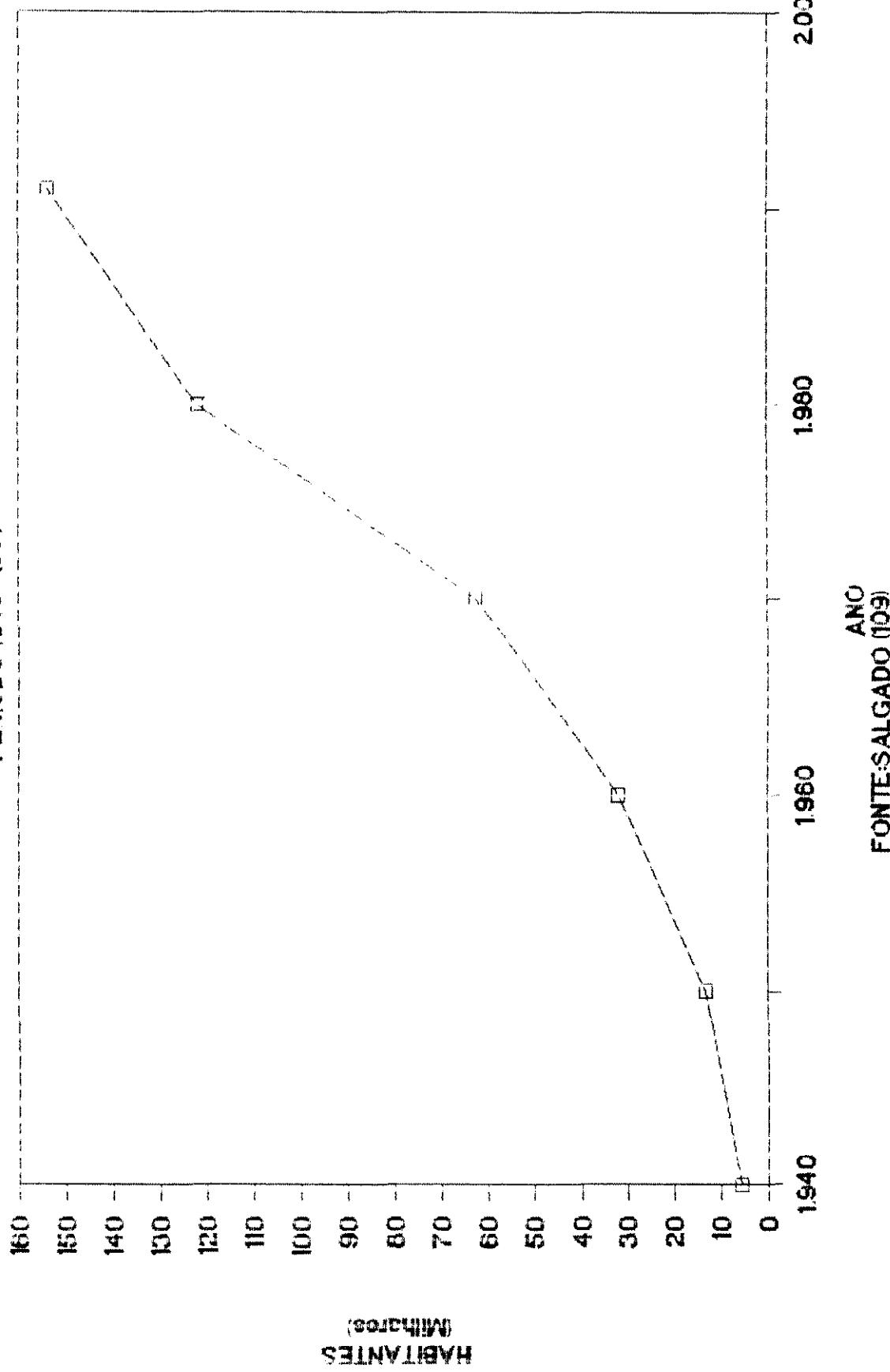
A metodologia adotada para a avaliação da quantidade de resíduos disposta na célula A foi a seguinte:

a) Chamando-se P à população de Americana no ano de 1991, conforme dados da Tab 4.1, e Q a quantidade de resíduo doméstico coletada na cidade, diariamente, "per capita", no mesmo ano, tem-se  $P \times Q \times 312$ , a estimativa da quantidade de resíduo coletada, anualmente, uma vez que o parâmetro "Q" corresponde à média diária dos 312 dias de coleta do ano;

b) Tomando-se os dados da população de Americana obtidos dos Censos realizados nos anos de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980 e 1991, traçou-se a curva representativa da estimativa de população da cidade, mostrada na Fig. 5.3, da qual foram

### FIG. 5.3- EVOLUÇÃO DA POP. DE AMERICANA

PERÍODO 1940 / 1951



utilizados os dados relativos ao período 1980/1988.

c) Considerando-se a taxa de 0,61kg/hab.dia, adotada para o período anterior a 1986, conforme dados descritos no ítem 4.2.1, e a estimativa populacional anual, estimou-se a produção anual de resíduo doméstico, a partir do ano de 1980 até 1986, inclusive;

d) Tomando-se a taxa calculada no ítem a, 0,85 kg/hab.dia, que, se supõe não se haver alterado, consideravelmente, a partir de 1987, e a estimativa populacional anual, estimou-se a produção anual de resíduo doméstico nos anos de 1987 e 1988;

e) Com base nos dados obtidos em c e d, conforme mostrado na Tab. 4.1, calculou-se a quantidade de resíduo doméstico disposto anualmente na célula, bem como o total de resíduos domésticos dispostos no período 1980-1988.

#### **5.1.2 - PERCENTUAL DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DO RESÍDUO DE ORIGEM DOMÉSTICA DISPOSTOS NA CÉLULA A**

Obtido diretamente da Tab. 3.3-B.

#### **5.1.3 - AVALIAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DE ORIGEM INDUSTRIAL DISPOSTOS NA CÉLULA A**

A estimativa da quantidade de resíduos de origem industrial dispostos na célula A foi baseada em inventário realizado pela SPA (116), o qual concluiu que, em 1989, eram geradas, diariamente, em Americana, 300 toneladas de resíduos deste tipo. Analisando o documento, verificou-se que, deduzindo 85 toneladas que eram recicladas e/ou estocadas pelas empresas, restavam 215 toneladas para serem

dispostas na área em estudo. A partir deste dado, foi feita uma regressão da geração de resíduos até o ano de 1974, considerando-se a proporcionalidade entre geração de resíduos e população da cidade. A adoção deste critério deve-se ao fato de não existirem dados de crescimento industrial do município no período 1974-1986 e, por outro lado, o crescimento populacional ocorrido estar fortemente influenciado pela atividade industrial.

#### 5.1.4 - PERCENTUAL DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DOS RESÍDUOS DE ORIGEM INDUSTRIAL DISPOSTOS NA CÉLULA A

Obtido diretamente dos ensaios realizados pela SPA, conforme descrito no item 4.2.1.

#### 5.1.5 - AVALIAÇÃO DO PERCENTUAL DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DO TOTAL DE RESÍDUOS DISPOSTOS

Considerando-se que, anteriormente a 1987, os resíduos domésticos e industriais eram co-dispostos na área, para efeito de avaliação do percentual de sólidos voláteis do resíduo disposto no período total (1974 a 1986), fez-se uma média aritmética ponderada, segundo equação 5.2, entre os percentuais relativos aos dois tipos de resíduos, adotando-se como fatores de ponderação, respectivamente, as quantidades de resíduo doméstico disposto (1980-1988) e industrial (1974-1986), conforme exposto na Tab. 4.1 e visualizado na Fig. 5.4.

$$\%SVM_E = \frac{(\text{MRD} \cdot \%SVRD) + (\text{MRI} \cdot \%SVRID)}{\text{MRD} + \text{MRI}}, \text{ onde: (5.2)}$$

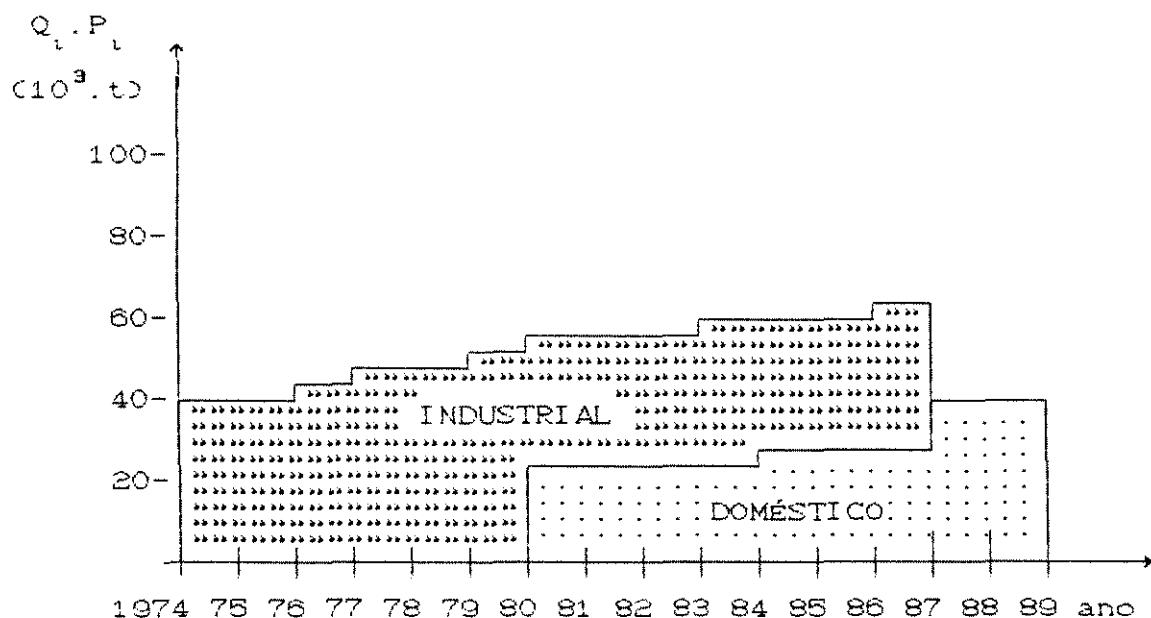
MRD = Massa de resíduos domésticos dispostos na célula A de 1980 a 1988 (ton);

%SVRD = Percentual representativo dos sólidos voláteis do resíduo doméstico disposto na célula A;

MRI = Massa de resíduo industrial colocado na célula A de 1980 a 1986 (ton);

% SVRI = Percentual de sólidos voláteis do resíduo de origem industrial disposto na célula A.

FIGURA 5.4 - ESTIMATIVA DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO PERÍODO 1974-1988



$P_t$  = Estimativa de população anual da cidade de Americana;

$Q_t$  = Quantidade de resíduo disposto, anualmente, no aterro de Americana "per capita".

### 5.1.6 - PERCENTUAL DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DO MATERIAL RETIRADO DA CÉLULA

Obtido diretamente da Tab. 4.3-B (ano 1992).

### 5.1.7 - CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA DO PROCESSO

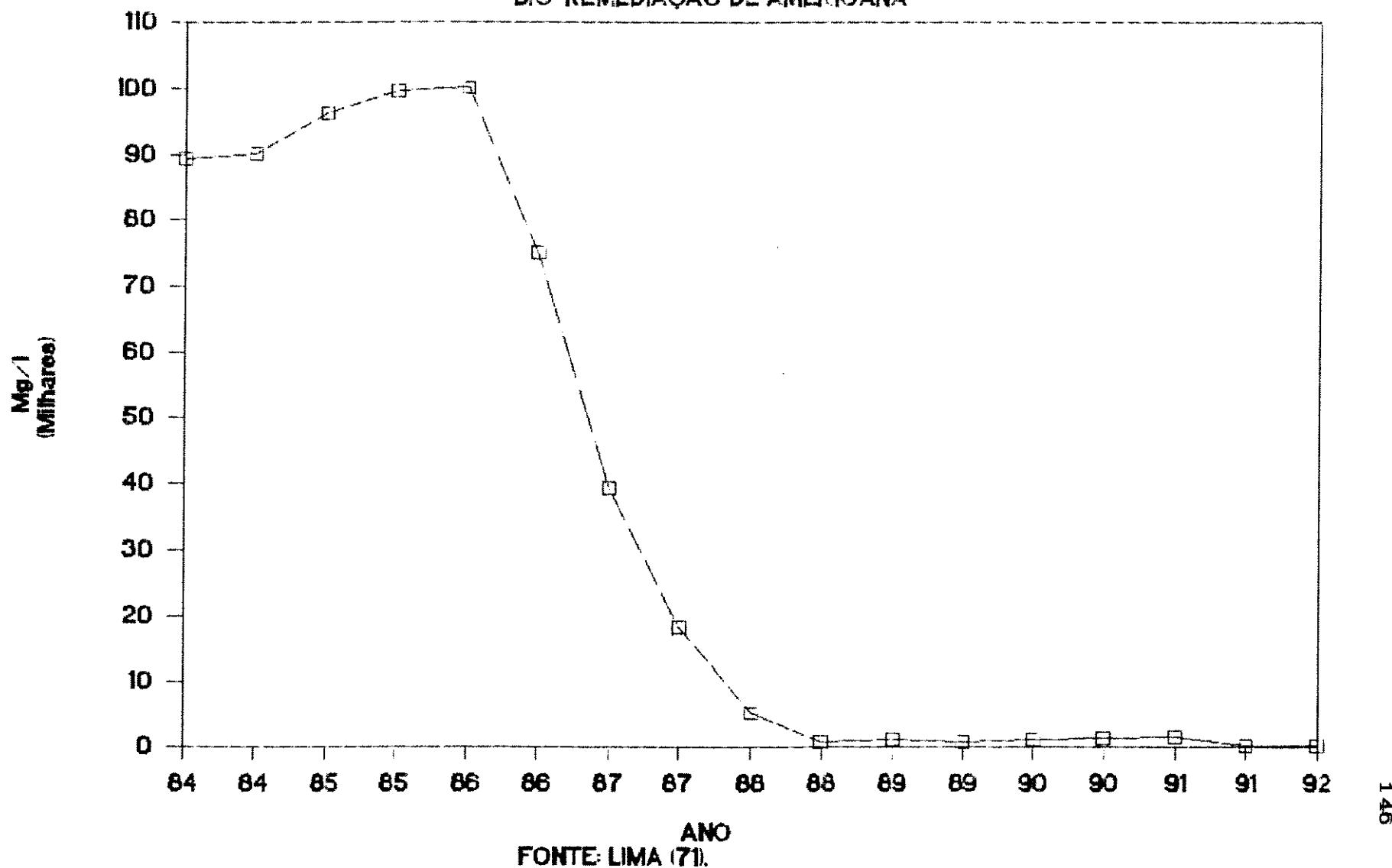
Confrontando-se o percentual de sólidos voláteis obtido em 5.1.5, com o percentual de sólidos voláteis do material retirado da célula, foi possível obter-se a taxa de redução mássica do total de resíduo disposto, conforme equação 5.1.

## 5.2 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS DISSOLVIDOS NO CHORUME

Para viabilizar esta etapa, foram utilizados dados de monitoramento da DQO do chorume e metais pesados dissolvidos no chorume e na água da lagoa adjacente ao aterro, expostos, respectivamente, nas Tabelas 4.4 e 4.5. Partindo destes dados traçou-se a curva de DQO X TEMPO, mostrada na Fig. 5.5, de onde foram tomados os dados de DQO relativos à disposição inicial e à última amostra analisada, calculando-se a eficiência sanitária através da equação 5.3. Na Fig. 5.6, pode-se ver um fluxograma esquemático da avaliação da eficiência sanitária do processo.

## FIG. 5.5 - ANALISES DE DQO DO CHORUME

BIO-REMEDIACÃO DE AMERICANA



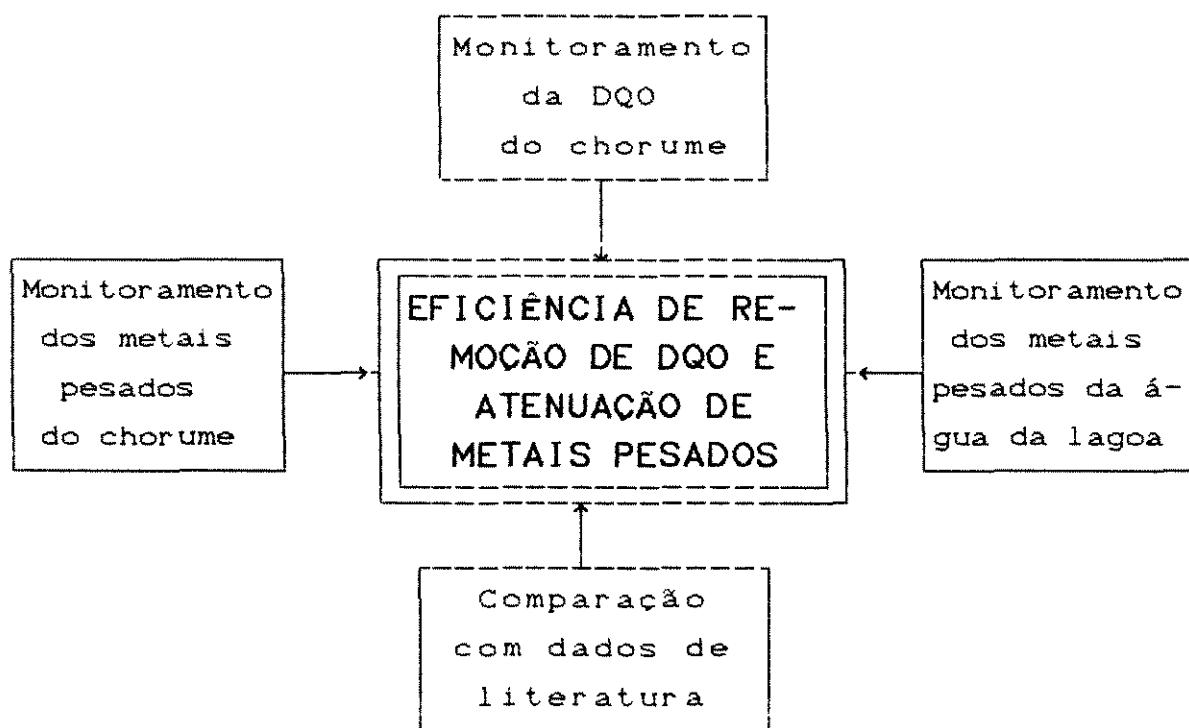
$$\eta_s = \frac{[DQO]_i - [DQO]_f}{[DQO]_i} \times 100, \text{ onde:} \quad (S.3)$$

$\eta_s$  = Eficiência de remoção de DQO do processo;

[DQO]<sub>i</sub> = Demanda química de oxigênio inicial (mg/l)

[DQO]<sub>f</sub> = Demanda química de oxigênio final (mg/l)

**FIGURA 5.6 – FLUXOGRAMA DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS DO CHORUME**



## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 - EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA

Substituindo-se, na equação 5.2, os dados das quantidades de resíduos dispostos e os percentuais de sólidos voláteis, tem-se: %SVM<sub>E</sub> = 0,41. Tomando-se este dado e o %SVM<sub>S</sub> = 0,23, calcula-se, utilizando-se a equação 5.1,  $\eta_M$  = 0,44. Portanto, a eficiência de redução mássica do processo é 44%.

### 6.2 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E DE ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS

Substituindo-se os valores na equação 5.3, tem-se  $\eta_S$  = 0,9968, o que corresponde a uma eficiência de remoção de DQO de 99,68%. Não foi calculada a eficiência da atenuação de liberação de íons metálicos no chorume, uma vez que o seu monitoramento foi feito apenas no período compreendido entre abril de 1991 e janeiro de 1992, época em que os resíduos já se encontravam em adiantado estado de estabilização, apresentando baixo índice de liberação.

### 6.3 - DISCUSSÃO DOS DADOS BÁSICOS, METODOLOGIA E RESULTADOS

#### 6.3.1 - DADOS DE POPULAÇÃO

Com o objetivo de se chegar a uma equação que traduzisse o crescimento populacional do município, foram lançados em um gráfico os pontos representativos de sua população no período 1940-1991, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os quais, interligados linearmente, apresentaram o aspecto de uma curva, mostrada na Fig. 8.3, semelhante à proposta por Verhulst, citado por BASSANEZI (16), em seu modelo de dinâmica populacional, equação genérica 7.1.

$$P(t) = \frac{P_{\infty}}{\left[ \frac{P_{\infty}}{P_0} - 1 \right] e^{-\lambda t} + 1}, \text{ onde:} \quad (6.1)$$

$P(t)$  = População analisada num instante  $t$  qualquer (pessoas);

$P_0$  = População analisada no instante inicial (pessoas);

$P_{\infty}$  = População analisada no instante infinito (pessoas);

$\lambda$  = Coeficiente da variável independente  $t$ , representativo de diversos fatores que influem no fenômeno.

Dante da semelhança encontrada entre a curva

proposta por Verhulst e a obtida via interligação linear dos pontos, avaliou-se como desnecessária a aplicação do modelo, calculando-se os dados anuais de população via regressão linear.

#### 6.3.2 - DADOS DE COLETA DE RESÍDUOS

Conforme LIMA e AKUTSU (78), em 1986, a estimativa de disposição de resíduos domésticos no aterro era da ordem de 85 ton/dia, que cotejada com a estimativa de população do município, naquele ano, conduzia a um índice de disposição de 0,5 kg/hab.dia. Pesquisa conduzida por SCHINEIDER et alii (110), em 1991, chegou ao índice de geração de 0,532 kg/hab.dia de resíduo domiciliar.

A adoção do índice de coleta de 0,61 kg/hab.dia, para o período anterior a 1986, reflete uma correção dos dados de LIMA e AKUTSU (78), em função da superestimativa de crescimento populacional adota pelos mesmos, de 4% a.a., não confirmada no Censo do IBGE, realizado em 1991, o qual chegou a um índice de crescimento populacional do município de 2,17% ao ano.

O índice de 0,85 kg/hab.dia, adotado para o período posterior a 1986, explica-se, como já citado no item 4.1.1, pela otimização dos serviços de coleta, ocorrida a partir de 1986.

Quanto aos dados de SCHINEIDER et alii (110), os mesmos referem-se a resíduos gerados "per capita" em uma família de 5 pessoas, enquanto que a estimativa adotada nesta pesquisa refere-se aos resíduos coletados pelo poder público e dispostos no aterro, os quais incluem resíduos

provenientes do comércio, resíduos de varrição e os domésticos provenientes das indústrias. Cabe, também, o alerta do IBGE de que a média de moradores, na região, hoje, é de 3,5 pessoas por residência.

Conforme dados do setor de Promoção Social da Prefeitura de Americana, a população não atingida pela coleta regular é composta de 3200 pessoas, moradoras de áreas de favelas. Entretanto, este fator não foi considerado neste trabalho, uma vez que, aqui, foram utilizados dados globais de resíduos coletados, a partir dos quais calculou-se um índice médio de resíduo coletado "per capita", procedimento este que foi uniformizado, ou seja, adotado na estimativa da quantidade de todo o resíduo disposto na etapa A. A metodologia estaria incorreta se partisse da geração de resíduos "per capita" e, daí, extrapolasse os dados de disposição no aterro, para toda a população, desconsiderando os resíduos que não estão sendo coletados. No estudo deste caso, os índices de geração de resíduos, quando citados, têm, exclusivamente, o função comparativa, com o objetivo de analisar a validade dos índices de coleta adotados, uma vez que a planta não possui, ainda, pesagem diária dos resíduos que entram, realizando tal atividade, apenas periodicamente.

#### **6.3.3 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA**

Como uma das premissas básicas do processo consiste em reduzir a área contaminada, através da aceleração da decomposição e inertização dos contaminantes, a redução do volume de material contaminado, através do

registro cronológico de dados quantitativos foi o primeiro parâmetro que se tentou obter, entretanto, esta meta tornou-se impraticável pela dificuldade encontrada em se avaliar o volume do material disposto na célula por ocasião de sua execução, motivo pelo qual optou-se pela metodologia descrita no ítem 5.3.1.

#### 6.3.4 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E DA ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS

Uma das limitações da DQO é sua inabilidade em diferenciar a matéria orgânica inerte da viva, oxidando ambas. O teste, isoladamente, não permite nenhuma avaliação a respeito da taxa na qual a matéria orgânica biologicamente ativa se estabiliza nas condições existentes na natureza, mas o seu monitoramento, ao longo do processo de digestão anaeróbia, permite uma estimativa da taxa de oxidação da matéria orgânica ativa e inerte.

LIMA (69), baseando na premissa de que a variação da DQO em relação ao tempo de disposição é função de atividade microbiana específica, concluiu que é possível dizer que este parâmetro expressa, de forma indireta, o rendimento da atividade microbiana envolvida no processo e como a matéria orgânica presente nos resíduos é oxidada por ação enzimática microbiana, segundo o autor, monitorar o comportamento da DQO significa aferir o grau de estabilização do resíduo, desde que, paralelamente, seja feito também o monitoramento de outros parâmetros.

Para um melhor acompanhamento da taxa de estabilização do resíduo, POHLAND (102), recomenda o monitoramento paralelo de outros parâmetros como produção

de gás, pH,  $E_h$  e ácidos voláteis do chorume. Embora diversos parâmetros, tenham sido monitorados no aterro de Americana, muitos dados foram perdidos e os disponíveis, exceto DQO, referiam-se ao período abril de 1991 a janeiro de 1992, época em que o resíduo já se encontrava em adiantado estado de estabilização, como se pode verificar pelos dados da Tab. 4.4. Por este motivo, não foi feita a análise do comportamento destes parâmetros ao longo do tempo de disposição, verificando-se, apenas, os dados finais de liberação de metais pesados no chorume e na água da lagoa adjacente.

#### 6.3.5 - EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO MÁSSICA

A eficiência de redução mássica calculada para o processo, 44%, significativamente superior ao valor médio preconizado por LIMA (71), 30%, talvez, se explique pelo fato de a recirculação ter se prolongado por um período de 43 meses, ao invés dos 12 meses considerados suficientes pelo autor. Cabe, aqui, entretanto, o esclarecimento de que, como este foi um dos primeiros sistema implantado em escala real, boa parte deste tempo foi perdido em tentativas de lhe dar partida e no ajuste dos parâmetros de operação.

Dos resultados obtidos, podem ser feitas algumas considerações a respeito da composição física, em termos de peso, base úmida, de dois grupos bem definidos de resíduos: aqueles que sofreram redução mássica e os que não sofreram, conforme dados expostos na Tab. 4.2.

. Não se observa, no material retirado da etapa A, o componente "matéria orgânica", surgindo, em seu lugar, um material finamente decomposto, ao qual denominou-se

"material estabilizado".

. Houve uma redução mássica significativa dos componentes "papel, papelão, couro, borracha e madeira", que, seguramente, corresponde, junto com a matéria orgânica, ao ítem "material estabilizado".

. Os componentes "plástico, metais, vidro e trapos" não apresentaram redução mássica, pelo contrário, sua presença relativa, em termos de percentuais de massa, até aumentou, demonstrando que não houve apenas uma redução no volume do restante dos resíduos, mas também uma redução na sua massa.

- É importante salientar que a determinação do percentual de sólidos voláteis de resíduos sólidos, tendo por base a amostra bruta, ou seja, aquela obtida diretamente nos locais de descarga e destino final, contendo uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, não é um parâmetro apropriado para a avaliação da eficiência de redução mássica de resíduos sólidos, submetidos ao processo de decomposição biológica, pois, enquanto o parâmetro traduz o percentual de sólidos que se volatilizam quando o resíduo é submetido à temperatura de 550°C, neles incluindo plástico e trapos, sabe-se que o plástico, por exemplo, não se decompõe biologicamente e os trapos, muitas vezes, apresentam uma decomposição lenta. Para traduzir, efetivamente, a decomposição, deve-se utilizar a amostra analítica, ou seja, aquela obtida através de secagem e peneiramento, isolando-se, desta maneira, os componentes do resíduo que se quer analisar.

- O percentual de sólidos voláteis dos resíduos industriais, obtido através de ensaios de termogravimetria realizados pela SPA (116), à temperatura de 1200°C, foi utilizado ao lado dos ensaios para determinação dos sólidos voláteis dos resíduos domésticos, realizados à temperatura de 550°C, uma vez que se sabe que, acima de 550°C, a

variação de massa dos sólidos fixos não é significativa.

- Faz-se necessário alertar que os resultados obtidos fundamentaram-se em análises de amostras realizadas em base de resíduo seco, o que não constitui a realidade de disposição no aterro, onde os resíduos encontram-se submetidos a graus de umidade variáveis, dependendo das condições climáticas; grau de compactação vinculado ao controle operacional e outros fatores que, certamente, influirão na eficiência de redução mássica.
- Deve-se esclarecer, finalmente, que esta avaliação ficou restrita aos contaminantes de origem orgânica e aos metais pesados, uma vez que, conforme dados de literatura, para outros tipos de contaminação, o processo não tem aplicabilidade comprovada.

#### **6.3.6 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E DE ATENUAÇÃO DE METAIS PESADOS**

A eficiência de remoção de DQO do processo, 99,68%, superou as expectativas. Não foi feita a comparação deste resultado com o de nenhuma outra área, uma vez que inexistem, no Brasil, dados comparativos que permitam esta análise, tratando-se, esta área, como já foi dito, uma das primeiras submetidas ao processo de bio-remediação no país.

Pelos dados finais de concentrações de metais pesados no chorume, comparados com os obtidos por MERBACH JR (85), expostos na Tab. 4.5, verifica-se que as espécies químicas monitoradas apresentaram, no aterro de Americana, concentrações finais inferiores às encontradas no aterro experimental nº 2 de São Carlos. Deve-se esclarecer que o aterro analisado pelo autor era experimental e que

continha, exclusivamente, resíduo de origem doméstica, proveniente da comunidade de São Carlos, e não foi submetido ao processo de recirculação do chorume. O estudo tratava da avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário, com coleta quinzenal de amostras, a partir do quarto mês de disposição, prolongando-se por 1 ano, não objetivando a análise de qualquer processo de remediação de área degradada.

Quando a comparação é feita com os padrões de águas relativos a rios classe II, que constitui o caso do rio mais próximo, verifica-se que, entre os 15 parâmetros monitorados, apenas três (prata, cádmio e níquel) apresentaram concentrações levemente superiores às do padrão, o que, entretanto, não é um fator preocupante dada a distância entre o rio e a área em estudo.

Os resultados obtidos recomendam o processo, em termos de eficiência de remoção da carga orgânica e redução dos percentuais de metais pesados dissolvidos no chorume.

## 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para uma avaliação mais precisa da eficiência do processo de remediação de áreas degradadas pela disposição de resíduos sólidos, além das análises realizadas pela SPA, recomenda-se:

- Levantamento topográfico da área da célula, já preparada para receber o resíduo, antes e imediatamente depois da sua disposição;
- Controle quali-quantitativo diário dos resíduos na entrada do aterro;
- Determinação da densidade e percentual de sólidos voláteis do resíduo disposto e do material retirado das células, sempre que for feita a sua caracterização física;
- Monitoramento, desde o início do processo, dos seguintes parâmetros complementares no chorume: produção de gás, Eh e ácidos voláteis.
- Monitoramento da qualidade da água subterrânea;
- No caso de se ter em vista qualquer utilização do material retirado da célula, recomenda-se, primeiramente, a realização de ensaios de solubilização e lixiviação.
- Com o objetivo de otimização da metodologia de avaliação da eficiência do processo, sugere-se a realização de outras

pesquisas sobre o assunto, inclusive, ampliando o número de parâmetros monitorados e desenvolvendo equações que permitam prever o seu comportamento ao longo do processo.

- Com relação à questão de áreas degradadas, a nível nacional, sugere-se aos órgãos competentes o início imediato da realização de um inventário com o objetivo de cadastrá-las, realizar um diagnóstico da situação e, em seguida, implantar um programa que vise a recuperação das prioritárias, num primeiro momento, e, posteriormente, das demais.

- Finalmente, aos órgãos financiadores de pesquisa científica, no Brasil, recomenda-se a alocação de recursos financeiros suficientes para desenvolvimento das pesquisas que, a cada dia, tornam-se fundamentais para o desenvolvimento tecnológico do país e melhoria da qualidade de vida da população.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - ABES. Brasilienses jogam no lixo mil toneladas de comida. *Vida Ativa*, n.3, jun., 1991.
- 2 - ABES. Central coletiva para lixo industrial. *Vida Ativa*, n.22, dez., 1991.
- 3 - ABES. Estudo detectará poluição da água subterrânea. *Vida Ativa*, agosto, 1991.
- 4 - ABES. Governo critica queima de lixo hospitalar. *Vida Ativa*, n.6, set., 1991.
- 5 - ABES. IBAMA só permite importação de lixo para reciclagem. *Vida Ativa*, fev., 1992.
- 6 - ABES. Lei obriga ALRJ a usar papel reciclado. *Vida Ativa*, jun., 1991.
- 7 - ABES. Painel I - Resíduos Sólidos. *Bio*, v.3, n.3, jul./set., 1991.
- 8 - ABES. País medirá contaminação por dioxina. *Vida Ativa*, jul., 1991.
- 9 - ABES. País tem depósito de lixo tóxico no litoral. *Vida Ativa*, n.6, Nov., 1991.
- 10 - ABES. Saneamento é dramático em 4 mil municípios. *Vida Ativa*, jun., 1991.
- 11 - ACQUAJET. *Levantamento Geológico / Geotécnico e Geofísico - Aterro Sanitário de Americana*, 1992.
- 12 - AKUTSU, J. Processos de remediação de áreas degradadas pela disposição de resíduos sólidos, in: *Tratamento de Resíduos Sólidos*. Caxias do Sul, 1991.

- 13 - ALVIM, C. E. e LIMA, L. M. Q. *Estudos de Caracterização do Lixo de Americana* (Trabalho não publicado), Campinas, S.P., 1988.
- 14 - ANDRADE, Manoel Correia. *Geografia Econômica*. 9<sup>a</sup> ed., São Paulo, Atlas, 1987.
- 15 - ATTAL, A. et alii. Anaerobic Degradation of Municipal Wastes in Landfill. *Anais do IVº Simpósio de Digestão Anderóbia*. São Paulo, maio, 12-16, 1990.
- 16 - BASSANEZZI, R. C. e FERREIRA, W. C. Jr. *Equações Diferenciais com Aplicações*. São Paulo, Habra Ltda, 1988, 572p.
- 17 - BEAUREGARD, R. R., Defining Landfill Toxics: California SWATs Wastes. *World Wastes*, Feb. 1987.
- 18 - BLATTERT, R. E. To Russia with Sludge: Americans See Soviet Waste. *World Waste*, p. 58-59, Sep., 1988.
- 19 - BOTAFOGO, F. P. Contradições e perplexidades no país do lixo. *Jornal da ABES*, n.7, set., 1991.
- 20 - CALDWELL, S. and ORTIZ, A. Overview of Proposed Revision to the Superfund Hazard Ranking System. *Journal of American Protection and Control Air*, v. 39, n. 6, p. 801-807, Jun., 1989.
- 21 - CAMPBELL, D. Landfill Gas Migration, Effects and Control. in: *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*. London, Academic Press, p. 399-423, 1989.
- 22 - CAMPOS, H. K. T. Reestruturação dos serviços de limpeza urbana de Ipatinga/MG. 16<sup>º</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 81-97, set. 1991.
- 23 - CANZANI, R. and COSSU R. Landfill Hydrology and Leachate Production. in: *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*. London, Academic Press, 1989.
- 24 - CAPRA, F. *O Ponto de Mutação*, São Paulo, Cultrix, 1982, 447 p.
- 25 - CARRA, J. S. and COSSU, R. *International Perspectives*

- on Municipal Solid Wastes and Sanitary Landfilling. London, Academic Press, 1989.
- 26 - CETESB. L5.012 - Determinação de Metais Dissolvidos (Trat. Preliminar de Amostras de Águas para Determinação de Metais por Espectrofotometria de Absorção Atômica / Emissão de Chama). Norma técnica. 8p., abril, 1978.
- 27 - CETESB. L5.102-Determinação de Alcalinidade em Águas. Norma técnica. 11p.
- 28 - CETESB. L5.121-Demanda Química de Oxigênio. Norma técnica, 9p.
- 29 - CETESB. L5.145-Determinação de pH em Águas. Norma técnica, 7p.
- 30 - CETESB. L5.149-Determinação de resíduos em Águas. Norma técnica, 11p.
- 31 - CETREL. Foto cedida por técnico da empresa, 1992.
- 32 - CHEREMISINOFF, P. N. High Hazard Pollutants. Polut. Engineering, p. 58-65, Feb., 1989.
- 33 - CHOW, A. H. and DIMMICK, W. F. U.S.-EPA Regulation of Municipal Solid Waste Landfill Emission. Third International Landfill Symposium. Cagliari, Italy, p. 1733-1745, Oct., 1991.
- 34 - CHRISTENSEN, T. H. Sanitary Landfilling in Denmark, in: International Perspectives on Municipal Solid Wastes and Sanitary Landfilling. London, Academic Press, 1990.
- 35 - CHRISTENSEN, T. et alii, Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, London, Academic Press, 1989.
- 36 - CHUDYK, W. Field Screening of Hazardous Waste Sites. Environ. Sci. Technol., v.23, n.5, p. 504-506, 1989.
- 37 - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 20. Brasília, 6p. jun., 1986.
- 38 - COSSU, R. Role of Landfilling in Solid Waste Management, in: Sanitary Landfilling: Process,

- Technology and Environmental Impact. London, Academic Press, 1989.
- 39 - DALEY, P. S. Cleaning up Sites with on-Site Process Plants. *Environ. Sci. Technol.*, v.23 ,n.8, 1989.
- 40 - DARCEY, S. Surveys Indicate that There are 320 Resource Recovery Projects in Stage of Permitting or Development. *World Wastes*, p. 20-24, Jun., 1987.
- 41 - DENT C. G. and KROL A. A. Municipal Solid Waste Conversion to Energy. *Biomass*, v.22, n. 1-4, p. 307-327, 1990.
- 42 - DOMBROWSKY, C. H. Firms Tackle the Challenge of Hazardous Waste Disposal. *World Wastes*, p. 20-22, Feb., 1987.
- 43 - ESCOSTEGUY, P. A. V. Projeto de recuperação ambiental do lixão da zona norte de Porto Alegre. 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, 3-15, set., 1991.
- 44 - EPA - Evaluation, Landfill Covers. 1988.
- 45 - EPA - Incineration. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept., 1991.
- 46 - EPA - Vitrification in Situ. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept., 1991.
- 47 - EPA - Bioremediation. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept., 1991.
- 48 - EPA - In Site Vacuum Extraction. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept., 1991.
- 49 - EPA - Soil Washing. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept., 1991.
- 50 - EPA - Dehalogenation. Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft. Sept.,

- 1991.
- 51 - EPA - Chemical Extraction. *Remedial Actions: Superfund Innovative Technologies - Preliminary Draft.* Sept., 1991.
- 52 - FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.* 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986, 1838 p.
- 53 - FERRUCCIO, S. J. A. Relatório técnico nº 3. *Sistema Integrado de Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos Urbanos - Município de Americana,* Rio Claro, nov. 1991.
- 54 - FORD et alii. Environmental Russian Roulette. *Water Environ. & Technology*, p. 58-63, 1990.
- 55 - FUREDY, C. Waste Recovery in China. *BioCycle*, p. 80-84, Jun., 1990.
- 56 - GENON, G. Estrategies for Limitation of Emission from Waste Disposal. *Third International Landfill Symposium.* Cagliari, Italy, p. 1687-1694, Oct., 1991.
- 57 - GLENN, J. The State of Garbage in America. *BioCycle*, Mar./Apr., 1990.
- 58 - GOMES, L. P. *Estudo da Caracterização Física e da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários.* São Carlos, 1989, 167 p. Dissertação de mestrado em engenharia hidráulica e sanitária, Escola de Engenharia da USP.
- 59 - HAZARDOUS Wastes and Hazardous Materials (HWHMD). *Proceedings of the 5th. National Conference.* Las Vegas, Nevada, abril, p 19-21, 1988.
- 60 - HOPPER, D. R. Cleaning up Contaminated Waste Sites. *Chemical Engineering*, p. 94-110, Aug., 1989.
- 61 - HOLLAND, J. K. Superfund Liability Law Prevents Cleanup. *Water Environment & Technology*, p. 96-97, Oct., 1990.
- 62 - HULS, J. M. Managing Wastes in the Caribbean.

- BioCycle, p. 39-42, Jul., 1989.
- 63 - IAC - Seção de Climatologia Agrícola, Estação Experimental de Nova Odessa. Dados mensais de temperatura média, máxima e mínima, no período 1968-1991. Americana, 1992.
- 64 - IAC - Seção de Climatologia Agrícola, Dados mensais de total de chuvas no período 1968-1991. Americana, 1992.
- 65 - JESSBERGER, H. L. Technical Guidances on Geotechnics of Landfill and Contaminated Land. *Third International Landfill Symposium*. Cagliari, Italy, p. 1151-1159, Oct., 1991.
- 66 - JOHNSON, N. P. and COSMOS, M.G. Thermal Treatment Technologies for Haz. Waste Remediation. *Polut. Engineering*, p. 66-85, Oct., 1989.
- 67 - KOVALICK, W. Reclaiming of Degraded Areas. *First International Seminar on Waste processing Management and Technologies*. São Paulo, Nov., 1991.
- 68 - LIMA, L. M. Q. Avaliação da Eficiência Mássica do Reator Térmico Híbrido no Tratamento de Resíduos Sépticos (Trabalho não publicado). Campinas, SP, 1990.
- 69 - LIMA, L. M. Q. Estudo da Influência da Reciclagem de Chorume na Aceleração da Metanogênese em Aterro Sanitário, São Carlos, 1988, 241p. Tese de doutorado em engenharia hidráulica e sanitária, Escola de Engenharia da USP.
- 70 - LIMA, L. M. Q. Fotos pertencentes ao arquivo particular e tomadas no lixão de Americana, 1985.
- 71 - LIMA, L. M. Q. Dados pessoais. Prof. do Depto. de Hidráulica e Saneamento da FEC/UNICAMP - Área de Resíduos Sólidos.
- 72 - LIMA, L. M. Q. Remediação de áreas degradadas por resíduos sólidos. Seminário Internacional de Engenharia em Resíduos Sólidos. UNICAMP, Campinas,

jul., 15-18, 1991.

- 73 - LIMA, L. M. Q. *Resíduos Sólidos Urbanos - Compêndio de Publicações*. Campinas, CPFL, VOL. II, 1985.
- 74 - LIMA, L. M. Q. *Resíduos Sólidos Urbanos - Compêndio de Publicações*. Campinas, CPFL, VOL. VIII, 1988.
- 75 - LIMA, L. M. Q. *Tecnologia de remediação de áreas degradadas por resíduos* (Trabalho não publicado). Campinas, 1990.
- 76 - LIMA, L. M. Q. *Tratamento de Lixo*. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo, Hemus, 1991.
- 77 - LIMA, L. M. Q. Tratamento de resíduos sólidos industriais. Simpósio Nacional de Gerenciamento Ambiental na Indústria. São Paulo, agosto, 20-27, 1990.
- 78 - LIMA, L. M. Q. e AKUTSU, J. *Sistema Integrado de Reciclagem Energética de Resíduos Urbanos*. CPFL, Campinas, 1986, 15p.
- 79 - LIPIEZ, Alain. *Miragens e Milagres*. São Paulo, Nobel, 1988, 231p.
- 80 - LUZ, M. O que fazer com os resíduos industriais? *Saneamento Ambiental*, v.1 ,n.2 ,p. 12-17, fev., 1990.
- 81 - MAGALHÃES, N. Rhodia incinera resíduos em Cubatão. *Saneamento Ambiental*, São Paulo, v.1, n.2, fev. 1990.
- 82 - MAIA, J. L. C. et alii. Critérios de EIA/RIMA para sistemas de disposição de resíduos sólidos domiciliares, industriais e de serviços de saúde, *16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Goiânia, 152-162, Set., 1991.
- 83 - MANDELLI, S. M. C. et alii. *Tratamento de Resíduos Sólidos*. Caxias do Sul, 1991.
- 84 - McILVANE, R. *Pollution Control Developments in Europe*. *Pollution Engineering*, p. 84-87, Feb., 1989.
- 85 - MERBACH JR., P da S. *Estudo de Avaliação de Metais*

- Pesados em Percolado de Aterro Sanitário em Função do Tempo de Disposição.* São Carlos, 1988, 83p., Dissertação de mestrado em engenharia hidráulica e sanitária, Escola de Engenharia da USP.
- 86 - MORSELLI, et alii. Economical, Administrative and Legal Aspects of Landfill Decontamination - Italian Situation. *Third International Landfill symposium*. Cagliari, Italy, Oct., 1991.
- 87 - MORELLI, J. Landfill Reuse Strategies. *BioCycle*, BCYCDK, p. 40-43/62, março, 1990.
- 88 - NATIONAL Conference and Workshop on Reability Growth Processes and Management. *Compilation of Papers*. Cambridge, Massachusetts, March, 7-9, 1988.
- 89 - NBR - 10004. Classificação de resíduos sólidos. Norma técnica, ABNT, 1987.
- 90 - NBR - 10005. Lixiviação de resíduos sólidos. Norma técnica, ABNT, 1987.
- 91 - NBR - 10006. Solubilização de resíduos sólidos. Norma técnica, ABNT, 1987.
- 92 - NBR - 10007. Amostragem de resíduos sólidos. Norma técnica, ABNT, 1987.
- 93 - NBR-9898. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. ABNT, 1987.
- 94 - NILSON, P. Sanitary Landfilling in Swedeen, in: *International Perspectives on Municipal Solid Wastes and Sanitary Landfilling*. London, Academic Press, 1990.
- 95 - ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro, Guanabara, 1983, 434p.
- 96 - OJIMA, M. K. et alii. Avaliação do desempenho de um reator térmico híbrido no tratamento de resíduos industriais e hospitalares. in: *Resíduos Sólidos Urbanos - Compêndio de Publicações*. CPFL, v. VIII, 1988.
- 97 - O'LEARY, P. and WALSH, P. *Introduction to Solid Waste*

- Landfills. *Waste Age.* v.22 nº° 1 ,4 ,6 e 7, 1991.
- 98 - PATTERSON, J. W. Industrial Wastes Reduction. *Environ. Sci. Technol.* v.23, n.9, 1989.
- 99 - PEREIRA NETO, J. T. Alguns aspectos sobre o estado da arte de gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. *Vº Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Lisboa, Portugal, 1992.
- 100- PETERSON, C., and PERLMUTTER, A. Composting in the Soviet Union. *BioCycle.* p. 71-75, Jul., 1989.
- 101- PEYTON, R. L. et alii. Field Verification of HELP Model for Landfills. *J. Environ. Eng. Amer. Soc. of Civ. Eng.* v.114, n.2, Apr., 1988.
- 102- POHLAND, F. G. Fundamentals Principles and management Strategies for Landfill Codisposal Practices. *Third International Landfill Symposium.* Cagliari, Italy, p. 1445-1460, Oct., 1991.
- 103- PORTUGAL. Direção Geral da Qualidade do Ambiente. Produção, tratamento e eliminação de resíduos perigosos, nov., 1988.
- 104- PRODAM. Dados relativos ao aterro sanitário de Americana, 1992.
- 105- RETTENBERGER G. and STEGMANN R. Trace Elements in Landfill Gas. *Third International Landfill Symposium.* Cagliari, Italy, p. 1622-1633, Oct., 1991.
- 106- ROVERS et alii. Monitoring an Implemented Remedial Action. *Seventh Annual Madison Waste Conference. Municipal and Industrial Waste.* p. 283-295, Sept., 1984.
- 107- SALGADO, M. G. Fotos pertencentes ao arquivo particular e tomadas em visita técnica à Europa e no sistema integrado de recomposição ambiental de Americana, 1991.
- 108- SALGADO, M. G. Croquis elaborado conforme informações dos idealizadores do sistema, 1992.

- 109- SALGADO, M. G. *Figuras / Tabelas elaborados pela autora*, 1992.
- 110- SCHINEIDER, V. E. Estudo do processo de geração de resíduos sólidos domésticos. II Seminário de Resíduos Sólidos da UNICAMP. dez. 1992.
- 111- SCHROEDER, P. R. et alii. *The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance Model*. U. S. EPA Ofc. of Solid Waste and Emergency Response. Washington, D.C.
- 112- SIEGRIST, R. L. and JENSSSEN. Evaluation of Sampling Method Effects on Volatile Organic Compound Measurements in Contaminated Soils. *Environ. Sci. Technol.* v.24, n.9, p. 1387-1392, 1990.
- 113- SKAJAA, J. Food Waste Recycling in Denmark. *BioCycle*, p. 70-73, Nov., 1989.
- 114- SPA. Estudo de Alternativas. *Sistema Integrado de Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Americana*, agosto, 1991.
- 115- SPA. Foto pertencente ao arquivo particular, cedida por diretor da empresa, 1992.
- 116- SPA. Memorial técnico, inventário e caracterização de resíduos. *Resíduos Sólidos Industriais - Estudos Preliminares - Município de Americana*, out., 1989.
- 117- SPA. Relatórios técnicos n. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. *Sistema Integrado de Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos Urbanos - Município de Americana*, Rio Claro, 1991/1992.
- 118- STEGMAN, R. Sanitary Landfilling in the Federal Republic of Germany, in: *International Perspectives on Municipal Solid Wastes and Sanitary Landfilling*, London, Academic Press, 1990.
- 119- TCHOBANOGLOUS, G. Integrated Waste Management. *Seminário Internacional de Engenharia de Resíduos Sólidos*. Campinas, Jul., 15-18., 1991.
- 120- THOMPSON, D. Biotechnology for Energy Conservation and Cleaner Environment. *Process Engineering*. v. 69,

- n.12, p. 39-41, 1988.
- 121- THORNELONE, S. A. US-EPA's Global Climate Change Programm - Landfill Emissions and Mitigation Research. *Third International Landfill Symposium*. Cagliari, Italy, p. 51-67, Oct., 1991.
- 122- TRAIN, R., E. Scandals, Reform, and a Solid Waste Comeback. *Waste Age*. v.21, n.12, Dec., 1990.
- 123- USERY, J. and LANGLEY, B. Corrective Action at Solid Waste Management Units under a R.C.R.A. Permit - An Authorized State's Experience, HWHM 88. Georgia Environmental Protection, Atlanta, 1988.