

**Universidade de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Departamento de Hidráulica e Saneamento**

# **GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

*Valdir Schalch<sup>1</sup>*  
*Wellington Cyro de Almeida Leite<sup>2</sup>*  
*José Leomar Fernandes Júnior<sup>3</sup>*  
*Marcus Cesar Avezum Alves de Castro<sup>4</sup>*

**São Carlos**  
**Outubro de 2002**

---

<sup>1</sup> Professor Doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP

<sup>2</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil - FEG-UNESP

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Transportes da EESC-USP

<sup>4</sup> Professor Doutor do Centro Universitário Anhanguera - FIAN e Universidade de Araraquara - UNIARA

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>iii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 CONSIDERAÇÕES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Resíduos Sólidos: Definição e Classificação .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Resíduos Sólidos no Meio Urbano .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Tecnologias de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos Domiciliares .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1 Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 Compostagem .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3 Incineração .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.4 Disposição final de resíduos sólidos domiciliares .</b>	<b>47</b>
<b>2.3.4.1 Aterro sanitário .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4 Gestão de Resíduos Sólidos .....</b>	<b>71</b>
<b>2.5 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos .....</b>	<b>72</b>
<b>3 A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>76</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Recipientes com cores diferenciadas para a entrega voluntária de materiais recicláveis .....	13
<b>Figura 2</b>	- Composição média da coleta seletiva .....	16
<b>Figura 3</b>	- Composição média dos plásticos rígidos na coleta seletiva .....	16
<b>Figura 4</b>	- Fluxograma do processo de compostagem em usinas .....	23
<b>Figura 5</b>	- Usinas para cidades com população entre 75 e 150 mil habitantes (processo "natural") .....	26
<b>Figura 6</b>	- Usinas para cidades com população superior a 300 mil habitantes (processo "acelerado") .....	27
<b>Figura 7</b>	- Partes constituintes de um incinerador .....	37
<b>Figura 8</b>	- Estruturas das famílias de dioxinas e furanos .....	43
<b>Figura 9</b>	- Estrutura do tetraclorodibenzeno-para-dioxina 2,3,7,8 (TCDD) e do tetracloro-dibenzenofurano 2,3,7,8 (TCDF) .....	44
<b>Figura 10</b>	- Volume de controle utilizado em estudos de aterros sanitários ...	51
<b>Figura 11</b>	- Fluxograma para a obtenção do licenciamento ambiental .....	54
<b>Figura 12</b>	- Método da trincheira .....	58
<b>Figura 13</b>	- Método da rampa .....	59
<b>Figura 14</b>	- Método da área .....	59
<b>Figura 15</b>	- Aterro em depressões ou ondulações .....	60
<b>Figura 16</b>	- Aterro em lagoa .....	60
<b>Figura 17</b>	- Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários .....	62
<b>Figura 18</b>	- Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário .....	63
<b>Figura 19</b>	- Corte transversal de um dreno horizontal .....	64
<b>Figura 20</b>	- Ações recomendáveis para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos .....	74
<b>Figura 21</b>	- Operações efetuadas na área de resíduos sólidos domiciliares .....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de resíduo ...	6
<b>Tabela 2</b>	- Processos de transformações utilizados para o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares .....	11
<b>Tabela 3</b>	- Distribuição de programas de coleta seletiva no Brasil, em relação a faixa populacional .....	15
<b>Tabela 4</b>	- Valores dos principais parâmetros físicos e químicos para o controle de composto orgânico, conforme a legislação em vigor no Brasil .....	29
<b>Tabela 5</b>	- Especificação para a granulometria de fertilizantes .....	29

## LISTA DE TABELAS

<b>Quadro 1</b>	- Recomendações de projeto para uma usina de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares .....	21
<b>Quadro 2</b>	- Critério para a avaliação das áreas para a instalação de aterro sanitário .....	57
<b>Quadro 3</b>	- Ações obrigatórias para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria dos municípios brasileiros dispõe seus resíduos sólidos domiciliares sem nenhum controle, uma prática de graves consequências: contaminação do ar, do solo, das águas superficiais e subterrâneas, criação de focos de organismos patogênicos, vetores de transmissão de doenças, com sérios impactos na saúde pública. O quadro vem se agravando com a presença de resíduos industriais e de serviços de saúde em muitos depósitos de resíduos domiciliares, e, não raramente, com pontos de descargas clandestinas.

Nota-se que, na maioria dos municípios, o circuito dos resíduos sólidos apresenta características muito semelhantes, da geração à disposição final, envolvendo apenas as atividades de coleta regular, transporte e descarga final, em locais quase sempre selecionados pela disponibilidade de áreas e pela distância em relação ao centro urbano e às vias de acesso, ocorrendo a céu aberto, em valas etc.

Em raras situações, este circuito inclui procedimentos diferenciados: coleta seletiva, processos de compostagem, tratamento térmico, etc., e, mesmo assim, freqüentemente esses processos são mal planejados, o que dificulta a operação e torna-os inviáveis em curtíssimo prazo.

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios, contribui de forma importante à manutenção das desigualdades sociais, constitui ameaça constante à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos de médio e grande portes.

No Brasil, a ausência de definições políticas e diretrizes para a área de resíduos nos três níveis de governo (federal, estadual e municipal)

associa-se à escassez de recursos técnicos e financeiros para o equacionamento do problema. Com relação aos aspectos legais, a legislação brasileira ainda é bastante restrita e genérica, por vezes impraticável, devido à falta de instrumentos adequados ou de recursos que viabilizem sua implementação.

Observando o Estado de São Paulo, constata-se que inúmeras intervenções pontuais, e não raro desconectadas vêm se realizando. Os exemplos mais frequentes se dirigem ao campo das alternativas de modelos tecnológico-operacionais, para sistemas integrados ou não de gerenciamento de resíduos sólidos - coleta regular e seletiva, reciclagem, unidades de triagem de resíduos, compostagem manual ou mecanizada, etc. Nesses casos, quase sempre a desarticulação institucional manifesta-se na coexistência de múltiplos agentes atuando de forma descoordenada no setor, com superposição de competências, baixa eficiência do processo decisório e evidente pulverização na aplicação de recursos públicos.

A situação evidencia a urgência em se adotar um sistema de manejo adequado dos resíduos, definindo uma política para a gestão e o gerenciamento, que assegure a melhoria continuada do nível de qualidade de vida, promova práticas recomendadas para a saúde pública e proteja o meio ambiente contra as fontes poluidoras.

É consenso entre os especialistas na área de resíduos sólidos a urgência em equacionar o problema do tratamento e da destinação final do lixo. Na verdade, em raras situações há de fato o tratamento dos resíduos sólidos, que em geral são apenas depositados em "lixões".

Uma análise detida da questão dos resíduos sólidos no Brasil constata que um dos grandes impasses existentes está no campo da gestão e do gerenciamento do lixo.

É somente criando uma política em que se definam claramente diretrizes, arranjos institucionais e recursos a serem aplicados, enfim, explicitando e sistematizando a articulação entre instrumentos legais e financeiros é que se poderá garantir de fato a constância e a eficácia nesse campo.

Nos níveis de ação do governo são necessárias as maiores mudanças: é preciso fomentar o planejamento integrado, abarcando as relações entre questões ambientais, urbanísticas, tecnológicas, políticas, sociais e econômicas.

A garantia de promoções continuadas no setor dos resíduos sólidos só ocorrerá com a existência de uma política de gestão e o compromisso de instituições sociais solidamente firmadas para mantê-la. A participação da sociedade civil é componente indispensável para isso.

## **2 CONSIDERAÇÕES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **2.1 Resíduos Sólidos: Definição e Classificação**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT:

resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 1987)

- **Classificação de resíduos sólidos**

Normalmente os resíduos sólidos são classificados segundo a sua origem, como:

**Urbanos:** incluem o *resíduo domiciliar* gerado nas residências, o *resíduo comercial*, produzido em escritórios, lojas, hotéis, supermercados, restaurantes e em outros estabelecimentos afins, os *resíduos de serviços*, oriundos da limpeza pública urbana, além dos resíduos de varrição das vias públicas, limpezas de galerias, terrenos, córregos, praias, feiras, podas, capinação;

**Industriais:** correspondem aos resíduos gerados nos diversos tipos de indústrias de processamentos. Em função da periculosidade oferecida por alguns desses resíduos, o seguinte agrupamento é proposto pela ABNT-NBR 10.004 (1987):

*Resíduos Classe I* (perigosos): pelas suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento da mortalidade ou apresentarem efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada;

*Resíduos Classe II* (não inertes): incluem-se nesta classe os resíduos potencialmente biodegradáveis ou combustíveis;

*Resíduos Classe III* (inertes): perfazem esta classe os resíduos considerados inertes e não combustíveis.



**Resíduos de serviços de saúde:** são os resíduos produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde, consultórios odontológicos e outros estabelecimentos afins. Esses resíduos podem ser agrupados em dois níveis distintos:

*Resíduos comuns:* compreendem os restos de alimentos, papéis, invólucros, etc.;

*Resíduos sépticos:* constituídos de restos de salas de cirurgia, áreas de isolamento, centros de hemodiálise, etc. O seu manuseio (acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final) exige atenção especial, devido ao potencial risco à saúde pública que podem oferecer.

**Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários:** constituem os resíduos sépticos, que podem conter organismos patogênicos, tais como: materiais de higiene e de asseio pessoal, restos de alimentos, etc., e veicular doenças de outras cidades, estados e países.

**Resíduos agrícolas:** correspondem aos resíduos das atividades da agricultura e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, esterco animal. A maior preocupação, no momento, está voltada para as embalagens de agroquímicos, pelo alto grau de toxicidade que apresentam, sendo alvo de legislação específica.

**Entulho:** constitui-se de resíduos da construção civil: demolições, restos de obras, solos de escavações etc.

**Resíduos Radioativos** (lixo atômico): são resíduos provenientes dos combustíveis nucleares. Seu gerenciamento é de competência exclusiva da CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear.

A seguir, na Tabela 1, expõem-se os responsáveis pelo gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos.

TABELA 1 - Responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de resíduo

TIPOS DE LIXO	RESPONSÁVEL
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
De Serviços	Prefeitura
Industrial	Gerador (indústrias)
Serviços de saúde	Gerador (hospitais etc.)
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador (portos etc.)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	Gerador*
Radioativo	CNEN

*Obs.: (\*) a Prefeitura é co-responsável por pequenas quantidades (geralmente menos que 50 kg/dia), e de acordo com a legislação municipal específica*

Fonte: JARDIM et al. (1995)

## 2.2 Resíduos Sólidos no Meio Urbano

Os conflitos decorrentes da gestão e do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos urbanos estão crescendo em relação direta com a conscientização da sociedade a respeito das questões ambientais.

O aparecimento de soluções inovadoras, "adequadas a qualquer situação" segundo os seus defensores, tem criado situações

confusas junto às administrações municipais, aliadas à periódica rotatividade das equipes de dirigentes das prefeituras. O mesmo processo que aprimora politicamente a democracia, promove, por outro lado, descontinuidades e reestudos que muitas vezes ultrapassam o período fértil de realizações das administrações, protelando perigosamente soluções de lenta e complexa maturação, como as relativas aos problemas relacionados com o tratamento e disposição final do lixo (ZULAUF, 1989).

O problema do volume de resíduos sólidos no Brasil, pode ser visualizado ao constataremos que, segundo o IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (1992) o país produziu no ano de 1991 perto de 250 mil toneladas diárias de resíduos. Desse total, 76% foram descarregados a céu aberto (lixão), 13% encerrados em aterros que recebem algum tipo de controle (cobertura periódica), 10% dispostos em aterros sanitários, 0,9% tratados em usinas de compostagem e 0,1% incinerados.

Ressalte-se que, cerca de 90 mil toneladas desse total era composta por resíduos de origem domiciliar, dos quais, cerca de 21% nem sequer foram coletados, sendo destinados clandestinamente a terrenos baldios, córregos, encostas, etc. (IBGE, 1992).

Provavelmente, desde a data do censo citado, esta quantidade de resíduos aumentou, não sendo registrada, no entanto, a implantação de um conjunto de ações organizadas nos três níveis de governo (federal, estadual e municipal), capazes de começar a reverter a “numerologia do lixo”.

Essa enorme quantidade de resíduos não constitui somente um problema de ordem estética, mas representa também uma séria ameaça ao homem e ao meio ambiente, diminuindo consideravelmente os espaços úteis disponíveis.

No Brasil, os inúmeros episódios críticos de poluição, relacionada com a ausência de tratamento e má disposição dos resíduos, registram principalmente a contaminação do solo e dos recursos hídricos por metais pesados, solventes orgânicos halogenados e resíduos de defensivos agrícolas. A ausência de definições e diretrizes nos três níveis de governo associa-se à escassez de recursos técnicos e financeiros para o equacionamento do problema, além das dificuldades na aplicação das determinações legais.

É consenso entre os especialistas a urgência do estado adotar um sistema de manejo adequado dos resíduos, definindo uma política para a gestão que garanta a melhoria da qualidade de vida, promova as práticas recomendadas para a saúde pública e o saneamento ambiental.

O manejo dos resíduos sólidos depende de vários fatores, dentre os quais devem ser ressaltados: a forma de geração, acondicionamento na fonte geradora, coleta, transporte, processamento, recuperação e disposição final. Portanto, deve-se criar um sistema dirigido pelos princípios de engenharia e técnicas de projetos, que possibilite a construção de dispositivos capazes de propiciar a segurança sanitária às comunidades, contra os efeitos adversos dos resíduos.

A importância desse sistema é ressaltada quando se analisa o manejo dos resíduos, considerando-se os impactos ecológicos, a correlação com a defesa da saúde pública, modo de geração na sociedade tecnológica e sua grandeza em termos qualitativos e quantitativos. O planejamento de um sistema dessa natureza exige uma atividade multidisciplinar que, além dos preceitos da boa engenharia, envolve também: economia, urbanismo, aspectos sociais, além da participação efetiva dos diversos setores organizados da sociedade (LEME, 1984).

Na maioria dos municípios brasileiros, a ausência de modelos

de gestão e de práticas de gerenciamento adequado para os resíduos sólidos dá lugar a uma variedade de “soluções” que, nos dias atuais, parece ser o grande complicador do processo decisório. O aterro sanitário é a solução mais econômica para as condições brasileiras, mas tem sido contestado pelos incômodos que provoca junto à vizinhança e se aplica com maiores dificuldades nos grandes centros.

As usinas de triagem e compostagem têm ampliado o seu espaço no mercado, graças a fontes de financiamento em bancos de desenvolvimento e devido ao desenvolvimento tecnológico, embora ainda seja questionada a qualidade do composto orgânico e o preço pago pelos produtos reciclados nessas instalações; a incineração, se por um lado reduz consideravelmente o volume do lixo, transformando sua fração orgânica em cinzas inertes, tem contra si os elevados custos operacionais e de investimentos, tanto nas instalações de incineração propriamente ditas como em outras instalações de proteção ambiental, que são imprescindíveis nos dias de hoje.

O fato é que a significativa presença de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos resíduos domiciliares, determina a necessidade de transporte ágil e destinação imediata. A limpeza pública é um serviço oneroso, onde são consumidos entre 10 e 15% de todo o orçamento dos municípios (LEITE, 1995).

Há ainda outras questões a serem consideradas: os serviços de limpeza pública, por manusearem um produto de apelo forte, o lixo, têm sua imagem ligada ao produto (o lixo) e não ao objetivo (a limpeza). Perde-se a ligação a um conceito nobre em troca do resto, mal-cheiroso, do descartável e do objeto, o que acaba prejudicando o setor por falta do “charme”, que tão bem caracteriza as administrações de parques e jardins, dos calçadões, das avenidas, do asfalto e das obras públicas em geral (ZULAUF, 1989).

### **2.3 Tecnologias de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos Domiciliares**

A proposta de um modelo de gestão e de gerenciamento de resíduos sólidos exige o conhecimento das distintas formas de tratamento e destinação final de resíduos.

O tratamento ou a “industrialização dos resíduos” envolve um conjunto de atividades e processos com o objetivo de promover a reciclagem de alguns de seus componentes, como o plástico, o papelão, os metais e os vidros, além da transformação da matéria orgânica em composto, para ser utilizado como fertilizante e condicionador do solo, ou em polpa para a utilização como combustível.

O tratamento nunca constitui um sistema de destinação final completo ou definitivo, pois sempre há um remanescente inaproveitável. Entretanto, as vantagens decorrentes dessas ações, tornam-se mais claras após o equacionamento dos sistemas de manejo e de destinação final dos resíduos.

Segundo JARDIM (1995), as vantagens são de ordem ambiental e econômica. No caso dos benefícios econômicos, a redução de custos com a disposição final é a vantagem econômica que mais sobressai. Dentre os fatores que recomendam o tratamento dos resíduos pode-se citar:

- a escassez de áreas para a destinação final dos resíduos;
- a disputa pelo uso das áreas remanescentes com a população de menor renda;
- a valorização dos componentes do lixo como forma de promover a conservação de recursos;
- a economia de energia;
- a diminuição da poluição das águas e do ar;
- a inertização dos resíduos sépticos;

- a geração de empregos, através da criação de indústrias recicladoras.

A Tabela 2 resume alguns processos de transformações de resíduos sólidos domiciliares.

TABELA 2 - Processos de transformações utilizados para o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares

Processo de Transformação	Métodos de Transformação	Principal conversão em produtos
<b>Físico</b>		
Separação de componentes	Manual ou mecânica	Componentes individuais encontrados nos resíduos domiciliares
Redução de volume	Aplicação de energia em forma de força ou pressão	Redução de volume do material original
Redução de tamanho	Aplicação de energia para retalhamento e moagem	Redução de tamanho dos componentes originais
<b>Químico</b>		
Combustão	Oxidação térmica	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ), outros produtos de oxidação, cinzas
Pirólise	Destilação destrutiva	Vários gases, alcatrão e composto de carbono
<b>Biológico</b>		
Compostagem aeróbica	Conversão biológica aeróbica	Composto humificado usado como condicionador de solos
Digestão anaeróbica	Conversão biológica anaeróbica	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), húmus

Fonte: TCHOBANOGLOUS et al. (1993)

### 2.3.1 Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares

A reciclagem é uma atividade econômica, que deve ser vista como um elemento dentro do conjunto de atividades integradas no gerenciamento dos resíduos, não se traduzindo, portanto, como a principal "solução" para o lixo, já que nem todos os materiais são técnica ou economicamente recicláveis.

Segundo REINFELD (1994), a reciclagem não é nova, pois os comerciantes de sucata, com suas carrocinhas andando pelos arredores das

idades em busca de materiais para serem reciclados, mostram uma atividade de reciclagem já muito praticada.

Entretanto, no passado, procurava-se reciclar tudo o que gerasse renda. Nos dias atuais, a sociedade de consumo tornou-se tão diversificada, que em muitos casos é mais barato para as indústrias produzirem materiais utilizando matéria-prima virgem, em vez de retrabalharem a sucata. Um exemplo disso diz respeito ao aço, uma vez que existem mais de 30.000 graduações desta liga que não são intercambiáveis, e algumas dessas graduações altamente especializadas devem ser produzidas a partir de fontes virgens, a fim de se garantir o conteúdo químico em quantidades necessárias. Quando o aço é produzido a partir de sucata, a utilização do material resultante é limitada. O aço de eixos e o de estruturas de carros, quando misturados, não servem para qualquer um desses propósitos. Os mesmos problemas ocorrem com a reutilização do papel, do vidro e do plástico, embora em escala diferenciada.

Não obstante, alguns produtos podem ser produzidos a partir do reaproveitamento quase que integral do material antigo, ou parte dele, conforme a sua especificação. O alumínio e o vidro são exemplos desse caso, principalmente quando esse último é separado em cores diferenciadas.

Conforme JARDIM (1995), antes de uma comunidade decidir estimular ou implantar a segregação de materiais, visando a reciclagem, é importante verificar se existe na região mercado para o escoamento desses materiais, pois segregar sem mercado, é o mesmo que enterrar separado.

Outro fator importante, diz respeito à sazonalidade de preços para a venda de recicláveis, que varia de um material para outro. Segundo o Compromisso Empresarial Para a Reciclagem, CEMPRE (1993), este fato



sugere que, no planejamento de programas de reciclagem, deve-se prever um local para o armazenamento dos materiais coletados, para vendê-los quando os preços estiverem no pico.

- **Coleta seletiva**

Um dos caminhos para a segregação dos materiais recicláveis é a coleta seletiva, que consiste na separação de papéis, plásticos, metais e vidros na fonte geradora, sendo esses materiais posteriormente classificados por categoria e encaminhados às indústrias recicladoras (AMAZONAS, 1992). Este método deve estar baseado na tecnologia, empregada na separação, coleta e reciclagem dos materiais; na informação, visando sensibilizar e motivar o público alvo; no mercado, para a absorção do material recuperado.

A coleta seletiva pode ser realizada nos domicílios, por veículo de carroceria adaptada, com frequência semanal, ou através de Postos de Entrega Voluntária (PEVs), mediante a instalação de caçambas e contêineres de cores diferenciadas, em pontos estratégicos, onde a população possa levar os materiais segregados, conforme ilustra a Figura a 1.

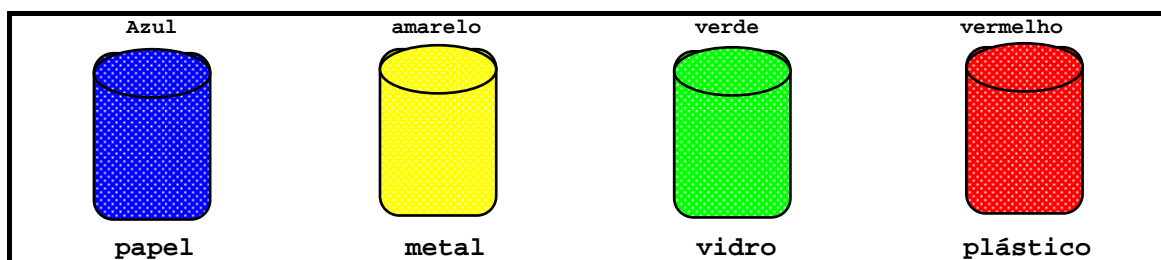


FIGURA.1 -.Recipientes com cores diferenciadas para a entrega voluntária de materiais recicláveis

## • Educação ambiental

Uma comunicação cuidadosa e clara com a comunidade é vital para qualquer programa de coleta seletiva. Se o processo de planejamento estimular a participação pública, a comunidade provavelmente terá uma identificação com o programa de reciclagem proposto, bem antes que ele se inicie de fato. A educação ambiental tem se mostrado a chave fundamental para o sucesso dos programas de reciclagem, pois propicia a aprendizagem do cidadão sobre o seu papel como gerador de resíduos, atingindo escolas, repartições públicas, residências, escritórios, fábricas, lojas, enfim, todos os locais onde os cidadãos geram resíduos.

Um dos princípios básicos da educação ambiental sobre os resíduos é o conceito dos três "Rs": reduzir, reutilizar e reciclar.

**reduzir:** estimular o cidadão a reduzir a quantidade de resíduos que gera, através do reordenamento dos materiais usados no seu cotidiano, combatendo o desperdício que resulta em ônus para o poder público, e conseqüentemente, para o contribuinte, a par de favorecer a preservação dos recursos naturais.

**reutilizar:** reaproveitar os mesmos objetos, escrever na frente e verso da folha de papel, usar embalagens retornáveis e reaproveitar embalagens descartáveis para outros fins são algumas práticas recomendadas para os programas de educação ambiental.

**reciclar:** contribuir com os programas de coleta seletiva, separando e entregando os materiais recicláveis, quando não for possível reduzi-los ou reutilizá-los.

### • Coleta seletiva no Brasil

Segundo JARDIM (1995), o Compromisso Empresarial Para a Reciclagem (CEMPRE) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), constataram, no ano de 1994, a existência de 82 programas de coleta seletiva operados pelas prefeituras no Brasil. Esses programas se concentravam nos estados de São Paulo (26 programas), Rio Grande do Sul (12), Paraná (8), Minas Gerais (8), Santa Catarina (7), Bahia (4), Pernambuco (4), Rio de Janeiro (4), Espírito Santo (2), Paraíba (2), Acre (1), Brasília (1), Mato Grosso do sul (1), Pará (1) e abrangiam, até então, desde pequenos municípios até grandes capitais, conforme mostra a Tabela 3.

TABELA 3 - Distribuição de programas de coleta seletiva no Brasil, em relação a faixa populacional

Faixa Populacional (hab)	Número de Municípios com Coleta Seletiva
menor que 20.000	17
entre 20.001 e 50.000	16
entre 50.001 e 100.000	14
entre 100.001 e 300.000	17
entre 300.001 e 600.000	7
maior que 600.000	11

Fonte: JARDIM (1995)

O desempenho desses programas foi avaliado pelo CEMPRE através de uma linha de pesquisa denominada Ciclosoft, que pesquisou oito cidades entre 1992 e 1994: Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre, Salvador, Santo André, Santos, São José dos Campos e São Paulo. As Figuras 2 e 3 ilustram alguns resultados obtidos pela pesquisa.

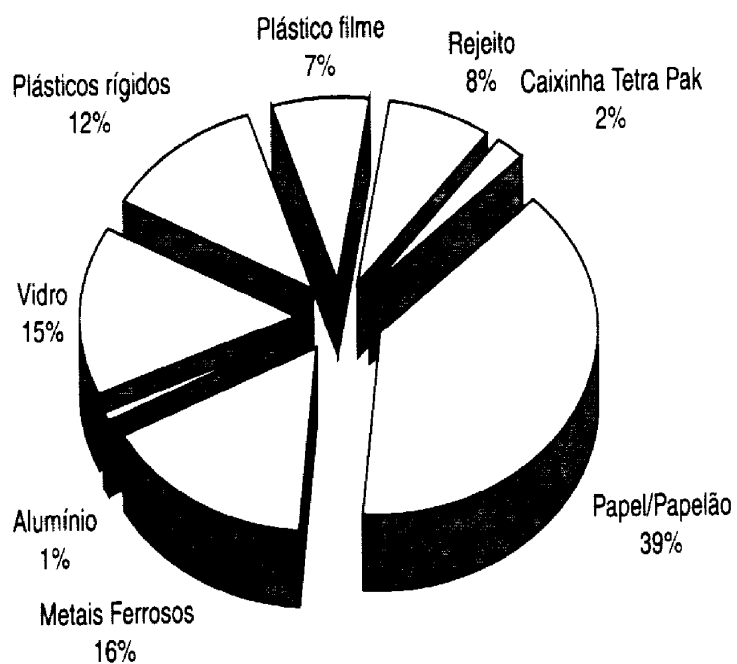


FIGURA 2 -. Composição média da coleta seletiva

Fonte: JARDIM (1995)

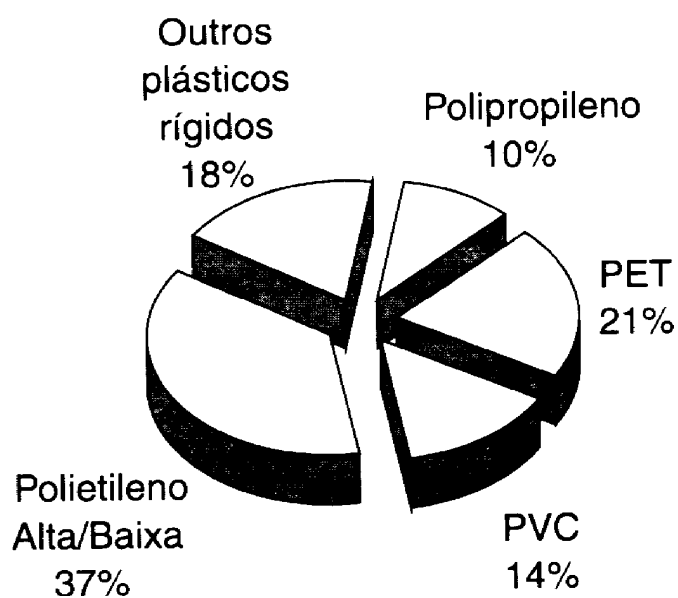


FIGURA 3 - Composição média dos plásticos rígidos na coleta seletiva

Fonte: JARDIM (1995)

Conforme mostra a Figura. 2, o conjunto papel/papelão se destaca, embora, no período pesquisado, o item que mais tenha crescido, seja o plástico.

O CEMPRE (apud JARDIM, 1995) estima que 25% da porcentagem em peso do lixo doméstico pode ser reciclado, embora esses programas tenham apontado uma média de somente 4,6% de material efetivamente reciclado, alcançando na localidade melhor sucedida um índice de 10,7%.

Outro fator preocupante é o alto custo dos programas, em média US\$ 240 por tonelada, contra uma receita média de US\$ 30 por tonelada média de material comercializado.

Atualmente, o empenho na reciclagem não é muito expressivo, pois a disposição dos resíduos ainda é pouco onerosa, devido ao fato de se utilizarem instalações que basicamente são “lixões”, e não aterros sanitários.

#### • Aspectos econômicos e financeiros da coleta seletiva

Do ponto de vista estritamente financeiro, a viabilidade de um sistema de coleta seletiva pode ser determinada através de uma análise de custo-benefício.

Os custos são classificados em : custo de capital e custos de operação e de manutenção do sistema. Os custos de capital compreendem terrenos, instalações, veículos, conjunto de recipientes para a segregação, projeto do sistema e demais custos iniciais. Os custos de operação e manutenção compreendem: salários, e encargos, combustíveis e

lubrificantes, água, energia, seguros, licenças, manutenção, administração, divulgação, serviços de terceiros, “leasing” de equipamentos, entre outros.

Os benefícios são classificados em receitas e economias. As receitas são oriundas da venda dos materiais recicláveis e as economias dizem respeito à redução no custo de transferência e disposição final desses materiais.

Segundo o CEMPRE (1993), é importante observar que a análise custo-benefício não é o único indicador de viabilidade, já que não leva em conta os benefícios sociais e ambientais decorrentes da reciclagem.

#### • Vantagens da coleta seletiva

A coleta seletiva apresenta algumas vantagens expressivas, dentre as quais se sobressai:

- a boa qualidade dos materiais recuperados, uma vez que não ficaram sujeitos à mistura com outros materiais presentes na massa de resíduos;

- a redução do volume de resíduos a serem dispostos em aterros sanitários;

- o estímulo à cidadania;

- a maior flexibilidade, pois pode ser feita em pequena escala e ampliada gradativamente;

- a possibilidade de parcerias entre escolas, associações ecológicas, empresas, catadores, sucateiros, etc.

- **Desvantagens da coleta seletiva**

Como desvantagens, destacam-se as seguintes:

- elevado custo da coleta e transporte, pois necessita de veículos especiais, que passam em dias diferentes dos da coleta convencional;

- necessidade de um centro de triagem, onde os recicláveis são separados por tipo, mesmo após a segregação na fonte.

- **Usinas de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares**

Segundo GALVÃO JÚNIOR (1994), as usinas de triagem e compostagem são centros de separação das frações orgânicas e inorgânicas dos resíduos sólidos domésticos, operacionalizados em maior ou menor escala por equipamentos eletro-mecânicos. É uma alternativa à coleta seletiva, podendo existir independentemente de haver ou não o sistema de compostagem.

A instalação de usinas de resíduos no Brasil iniciou-se em Brasília-DF, há cerca de 30 anos, embora o maior incremento na utilização desses centros tenha ocorrido a partir da segunda metade da década de 80, por iniciativa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que colocou à disposição das prefeituras municipais uma linha de crédito para a compra de equipamentos (BLEY JÚNIOR, 1993). Até o

início do ano de 1994, mais de 70 usinas haviam sido instaladas no país, conforme levantamento realizado por GALVÃO JÚNIOR (1994).

As instalações das usinas de triagem e compostagem podem ser agrupadas em cinco setores: recepção e expedição, usina de triagem, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenamento de composto e outras instalações, conforme ilustra o Quadro 1, a seguir.



SETOR	RECOMENDAÇÕES
Recepção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prever balança rodoviária;</li> <li>• pátio de recepção de preferência pavimentado, com drenagem;</li> <li>• fosso de descarga deve ser coberto, com captação de chorume;</li> <li>• paredes de moegas e tremonhas devem ter inclinação mínima de 60 graus em relação à horizontal;</li> <li>• fossos devem ter paredes vertical de um lado e inclinada dos outros, para favorecer o escoamento do lixo.</li> </ul>
Triagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizar motores elétricos à prova de pó e de água;</li> <li>• esteira com largura útil máxima de um metro e velocidade entre 6 e 12 m/min, com variador de velocidades (jogo de polias), dotada de eletroímã ou polia magnética;</li> <li>• em caso de uso de peneira, utilizar a do tipo rotativo, com seção circular ou sextavada; malha de, no mínimo, 5 cm, e rotação entre 14 e 20 rpm.</li> </ul>
Pátio de compostagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deve-se prever reviradeira de leiras ou pá carregadeira;</li> <li>• tempo de compostagem varia com as características da matéria-prima e do clima da região - em geral, de 60 a 90 dias em climas quentes e 90 a 120 dias em climas frios;</li> <li>• no processo acelerado, o tempo de residência no biodigestor deve situar-se entre 2 e 4 dias, reduzindo em 30 dias a permanência no pátio de compostagem;</li> <li>• utilizar leiras com altura entre 1,2 e 1,8 metros;</li> <li>• o pátio deve ter inclinação de cerca de 2/1.000, e ser dotado de sistema de drenagem para captação de chorume e águas pluviais, a serem conduzidas para lagoa de estabilização;</li> <li>• a área do pátio deve incluir setores de peneiramento de composto, secagem e armazenamento de composto curado.</li> </ul>
Beneficiamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizar peneiras rotativas de seção circular ou hexagonal, com malha de cerca de 20 mm de abertura - pode-se prever peneiras com duas malhas, para produzir dois tipos de composto, uma de abertura grossa e outra fina;</li> <li>• fardos devem ter peso máximo de 40 kg.</li> </ul>
Outras instalações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aterros devem ter capacidade mínima para 10 anos de operação e estar a uma distância máxima de 15 km da usina;</li> <li>• canteiros de vermicompostagem devem prever 30 a 50 dias de operação;</li> <li>• outras instalações existentes (administração, manutenção, almoxarifado e instalações opcionais como viveiro de mudas e horta) devem situar-se em posições adequadas para facilitar acesso e evitar problemas de perda e contaminação.</li> </ul>

QUADRO 1 - Recomendações de projeto para uma usina de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares

Fonte: JARDIM, (1995)

### 2.3.2 Compostagem

KIEHL (1979), define compostagem como sendo um processo de transformação de resíduos orgânicos em adubo humificado. Dois estágios podem ser identificados nessa transformação: o primeiro é denominado digestão, e corresponde à fase inicial da fermentação, na qual o material alcança o estado de bioestabilização e a decomposição ainda não se completou. Porém, quando bem caracterizada, a digestão permite que se use o composto como adubo, sem o risco de causar danos às plantas. O segundo estágio, mais longo, é o da maturação, no qual a massa em fermentação atinge a humificação, estado em que o composto apresenta melhores condições como melhorador do solo e fertilizante.

O produto final da compostagem, denominado composto, é definido como sendo um adubo preparado com restos de animais e/ou vegetais. Esses resíduos, em estado natural, não têm nenhum valor agrícola; no entanto, após passarem pelo processo de compostagem, podem transformar-se em excelente adubo orgânico.

#### • Sistemas de compostagem

O processo de compostagem a partir dos resíduos sólidos domiciliares pode ser dividido em duas fases distintas: a primeira, onde ocorre um tratamento mecânico, visando retirar da massa de resíduos os produtos recicláveis e indesejáveis e homogeneizar a massa de resíduos e reduzir a dimensão de seus constituintes; a segunda, em que o material é fermentado em leiras, completando o processo.

A Figura 4, resume o processo de compostagem em usinas.

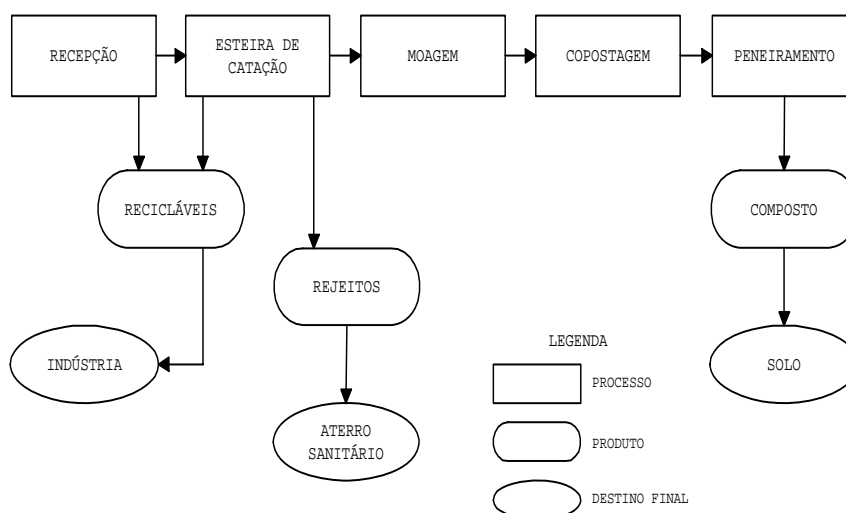


FIGURA 4 - Fluxograma do processo de compostagem em usinas

Fonte: GALVÃO JUNIOR (1994)

### • Custos para a implantação de usinas de triagem e compostagem

Estudos do Compromisso Empresarial Para a Reciclagem - CEMPRES e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT apud JARDIM (1995), estimam que o custo médio de investimento por tonelada diária de capacidade instalada é da ordem de US\$ 11.000 para instalações de usinas com processamento pelo método "natural" de composto; e US\$ 25.000 para usinas operadas com processamento de composto pelo método "acelerado", excluindo-se o desembolso para a aquisição da área, terraplenagem e preparo do pátio de compostagem.

Caso se opte pela contratação de terceiros, esses valores seriam da ordem de US\$ 25.000 e US\$ 45.000 para os processos "normal" e "acelerado", respectivamente. Nesses valores está inclusa a terraplenagem e o preparo do pátio de compostagem.

A prática tem mostrado que as instalações operadas pelo processo "acelerado" são recomendáveis para regiões com produção diária

de resíduos domiciliares superior a 200 toneladas diárias, uma vez que requerem menor espaço para os pátios, devido ao menor tempo de permanência do material compostável.

Quanto às despesas operacionais, os dados brasileiros são bastante imprecisos e desencontrados, pois dependem de uma série de possibilidades e de combinações contratuais, que variam de uma localidade para outra, tais como: operação pela prefeitura ou pela iniciativa privada, inclusão dos custos de manutenção, propriedade e comercialização do composto e dos recicláveis etc.

Um modelo de usina com capacidade de operação de 110 ton/dia, operando pelo processo "acelerado", recebe do poder público cerca de US\$ 13,50 (excluindo-se as despesas de manutenção) por tonelada processada, ficando com a propriedade tanto do composto como dos materiais recicláveis. Esse preço pode atingir valores entre US\$ 35,00 e US\$ 45,00 para usinas com capacidade de 50 ton/dia operando pelo processo "natural" e até US\$ 80,00 para usinas com capacidade superior a 200 ton/dia, operadas pelo processo "acelerado", em que o composto e os recicláveis não ficam com a operadora; neste caso, a operadora presta serviços especiais, tais como monitoramento do processo ou emprego de pessoal altamente qualificado (JARDIM 1995).

CASTRO (1996) realizou levantamento do custo de operação da usina de São Matheus, na cidade de São Paulo, cuja média mensal de resíduos processados foi no ano de 1995 cerca de 11.000 toneladas, concluindo que esse custo foi de aproximadamente US\$ 12 por tonelada processada, relativo aos gastos com mão-de-obra e com a energia elétrica, excluindo-se os gastos com a manutenção do equipamento.

- **Espaço físico para a instalação de usinas de triagem e compostagem**

As dimensões das áreas para a implantação das usinas variam de acordo com a topografia local, com o nível de instalações adicionais e com o método empregado no processamento do composto. Por exemplo, para uma unidade com capacidade de processamento de 200 ton/dia, recomenda-se uma área de 12 hectares para uma usina operar pelo processo "natural" e 8 hectares para operar pelo processo "acelerado", estando incluída a área destinada ao aterro de rejeitos, que normalmente ocupa metade da área destinada à usina. LINDENBERG (1992) sugere uma área mínima de 200 m<sup>2</sup> por tonelada diária processada.

- **Recursos humanos**

A mão-de-obra pode ser considerada o fator que mais influencia o custo operacional de uma usina de triagem e compostagem. Seu dimensionamento depende de vários fatores como: capacidade da usina, qualificação, grau de mecanização da usina, grau de beneficiamento dos produtos etc.

Para um município de 110 mil habitantes, com uma usina operando com duas esteiras de 16 metros de comprimento cada uma, JARDIM (1994) sugere: 1 gerente, 6 funcionários administrativos, 2 técnicos de nível médio, 2 motoristas, 2 operadores de máquina e 53 técnicos não qualificados.

GALVÃO JÚNIOR (1994), estudando 14 usinas, chegou a uma relação média entre quantidade de resíduos processados e mão-de-obra empregada, de aproximadamente 1,6 ton/homens.dia. Segundo a pesquisa, este índice pode ser tomado como um dos indicadores de produtividade e

de eficiência das usinas, não significando, porém, que uma usina com maior processamento de resíduos por mão-de-obra seja melhor operacionalizada que as demais. Para uma melhor avaliação de desempenho seria necessário compararem-se a produção de materiais recicláveis, a quantidade e qualidade do composto e a quantidade de rejeitos encaminhados para o aterro sanitário.

As Figuras 5 e 6 ilustram alternativas de instalações de triagem e compostagem para cidades com população entre 75 e 150 mil habitantes (operadas pelo processo "natural"), e cidades com população superior a 300 mil habitantes (operadas pelo processo "acelerado").

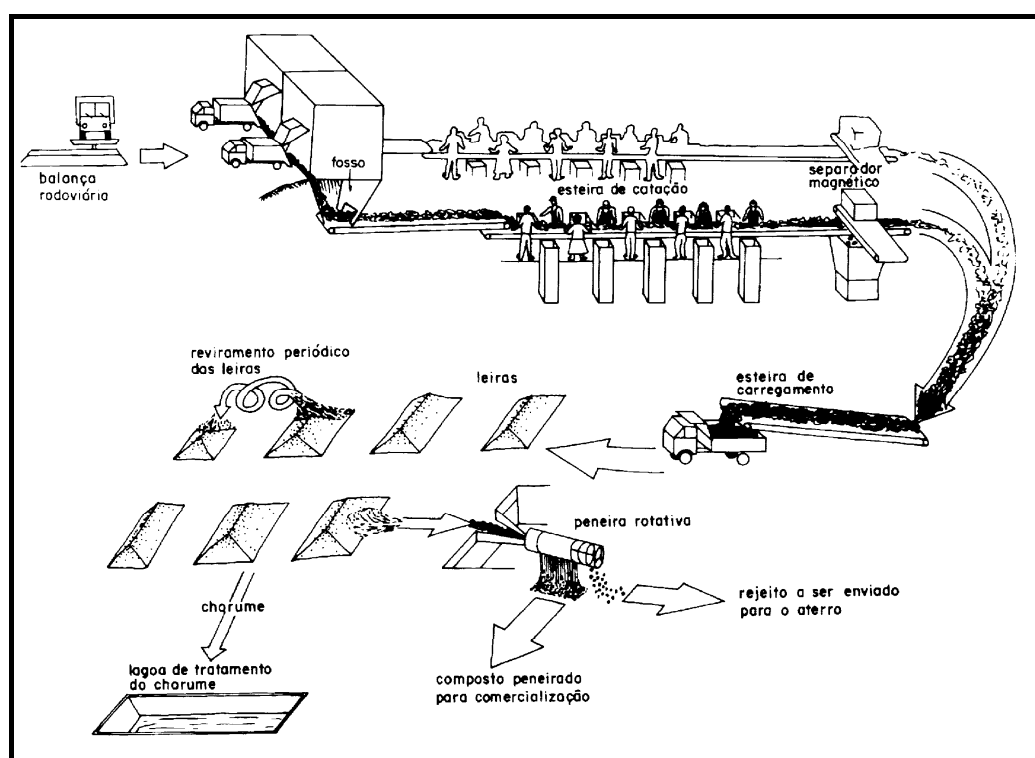


FIGURA 5 - Usinas para cidades com população entre 75 e 150 mil habitantes (processo "natural").

Fonte: JARDIM (1995).

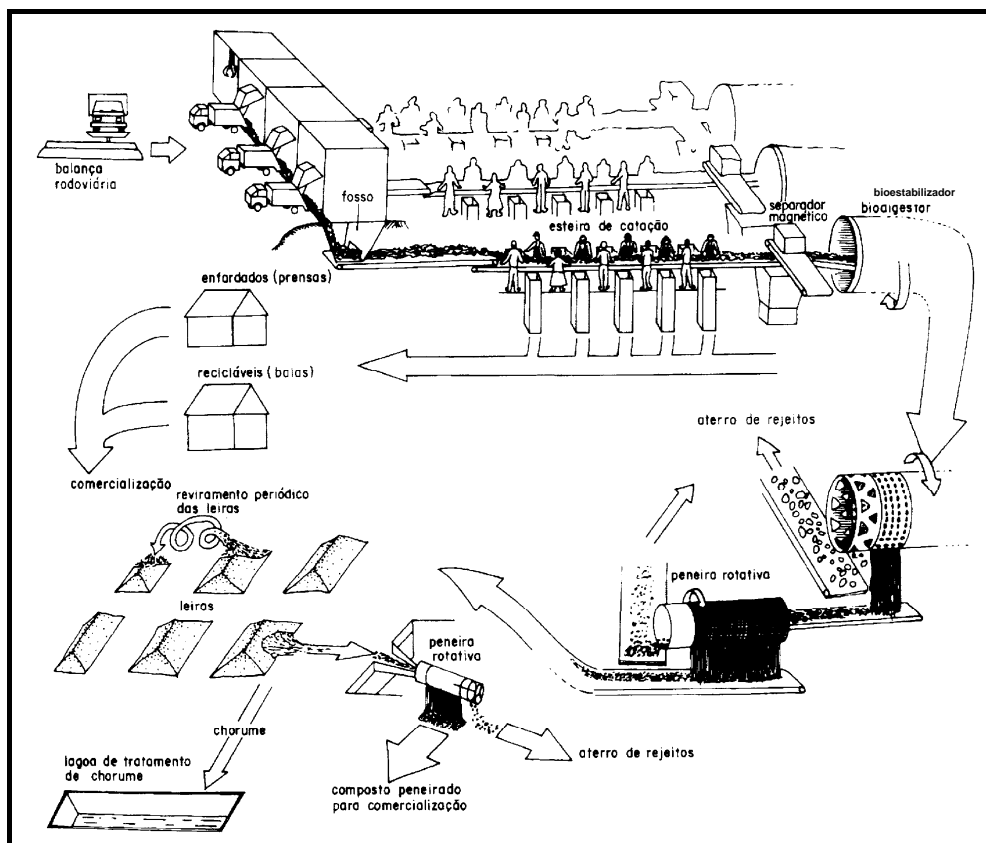


FIGURA 6 - Usinas para cidades com população superior a 300 mil habitantes (processo "acelerado").

Fonte: JARDIM (1995).

### • Fatores que influenciam o processo da compostagem

Os principais fatores que influenciam o processo da compostagem são de ordem nutricional e ambiental e, estão relacionados ao controle do processo pelo homem e ao tipo de tecnologia utilizada no processamento do composto (GALVÃO JÚNIOR, 1994).

- A influência da aeração
- A influência da temperatura
- A influência da umidade
- A influência da relação carbono-nitrogênio (C/N)

- **Tempo de processamento da compostagem**

O tempo necessário para a compostagem de resíduos orgânicos está associado aos fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A compostagem natural demanda um tempo de dois a três meses para atingir a bioestabilização e de três a quatro meses para a humificação. Pelo método acelerado, a semicura é atingida entre 45 e 60 dias e a humificação entre 60 e 90 dias. Essa diferença deve-se basicamente à duração da fase termófila no processo acelerado, que é reduzida de algumas semanas para 2 a 4 dias (JARDIM, 1995).

- **Composto orgânico e legislação brasileira**

O composto orgânico produzido através de resíduos urbanos domiciliares é enquadrado na lei como fertilizante orgânico. Os textos legais que dispõem sobre o assunto são: Legislação Brasileira, do Ministério da Agricultura, Decreto-Lei 86955, de 18 de fevereiro de 1982, que condiciona a comercialização de composto a seu prévio registro no Ministério da Agricultura e várias portarias. A Portaria MA-84, de 29 de março de 1982 e a Portaria 01, da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura de 4 de março de 1983, fixa parâmetros físicos, químicos e de granulometria, juntamente com as tolerâncias admitidas, conforme mostram as Tabelas 4 e 5.



TABELA 4 - Valores dos principais parâmetros físicos e químicos para o controle de composto orgânico, conforme a legislação em vigor no Brasil

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

Fonte: LUZ (1986)

TABELA 5 - Especificação para a granulometria de fertilizantes

<b>Granulometria</b>	<b>Exigência (o produto deve passar)</b>	<b>Tolerância</b>
Farelado	100% em peneira de 4,8mm 90% em peneira de 2,8mm	até 85%
Farelado grosso	100% em peneira de 38mm 90% em peneira de 25mm	não admite

Fonte: JARDIM (1995)

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

Pesquisas do IPT (1993) com amostras de compostos de usinas do Estado de São Paulo, apresentaram valores médios de metais pesados: cobre (Cu) = 182 mg/Kg, zinco (Zn) = 433 mg/kg, chumbo (Pb) = 188 mg/kg, cromo (Cr) = 54 mg/Kg, níquel (Ni) = 22 mg/Kg e

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

### • Aplicação do composto

Os adubos químicos (minerais ou inorgânicos) são fabricados de modo a apresentarem uma relação ideal entre os chamados macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), elementos básicos que os vegetais retiram do solo para a sua formação e desenvolvimento.

Os adubos minerais, por lei, devem apresentar uma concentração no mínimo de 24%, em peso, desses macronutrientes e são aplicados, com facilidade, na proporção de 500 kg em média por hectare.

Os compostos orgânicos obtidos pelo processo de compostagem de lixo, pelo contrário, apresentam uma concentração baixa desses macronutrientes, entre 1,5 a 2,5 % em peso (1,2% N + 0,6% K) e a utilização como adubo deve ser vista com reservas, uma vez que o seu uso implica em média em uma quantidade 17 vezes maior em relação ao fertilizante mineral. Sua utilização é aconselhada primordialmente para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com objetivos especificados por LUZ (1986):

- melhorar a estrutura do solo, conglomerando as terras frágeis e soltas;
- aumentar a capacidade de retenção de ar e de água no solo;
- prevenir e combater a formação de erosões;

- favorecer o estabelecimento de minhocas, besouros, microrganismos e outros seres que revolvem e adubam o solo;
- facilitar o desenvolvimento das plantas, uma vez que as raízes crescem insinuando-se nos vazios existentes na terra;
- tornar o solo mais arável.

Convém frisar que o composto de resíduos sólidos domiciliares não pode ser empregado de maneira generalizada, pois seu conteúdo relativamente elevado de sais pode ser prejudicial a uma série de plantas. Também o pH alcalino do composto restringe a sua aplicação em plantas acidófilas: cenouras, alface, feijão, cebola, arbustos frutíferos, coníferas e azaléas são algumas plantas sensíveis ao composto orgânico.

Dentre as plantas que aceitam bem o composto orgânico, podem-se citar: árvores frutíferas, vinhedos, plantas ornamentais, couve e outras hortaliças afins.

#### • Preço do composto

Com relação ao custo, estudos do IPT (apud JARDIM, 1995), tomaram como base áreas de plantio variando entre 5 hectares e 50 hectares: foram calculados o consumo de fertilizante mineral, o consumo equivalente de composto orgânico e os respectivos custos de transporte por quilômetro. Para distância de 20 Km, apontada como média em várias usinas paulistas, o composto poderia ser comercializado por até US\$ 5,80/ton. se comparado ao fertilizante produzido à base de uréia, e até por US\$ 8,40/ton. se comparado ao fertilizante produzido à base de sulfato de amônia.

Nas usinas de compostagem, existe atualmente uma tendência a subsidiar a aquisição do composto orgânico para pequenos produtores, em alguns casos entregando-o até a certas distâncias, sem cobrar frete.

### • Situação das usinas de triagem e compostagem no Brasil

Estudos realizados pelo IPT, em 1990, apontaram que 37 municípios detinham usinas de triagem e compostagem pelo processo "natural", sendo que 17 delas encontravam-se paralisadas ou desativadas, 5 em obras e 15 em operação. Nesta ocasião, 20 municípios contavam com instalações de triagem e compostagem pelo método "acelerado", sendo que 7 estavam paralisadas ou desativadas, 10 em obras e 3 em operação. No ano de 1994, 8 instalações pelo método acelerado estavam em operação no Brasil.

As principais causas das paralisações e desativações apontadas pelo IPT (1993) e GALVÃO JÚNIOR (1994) foram:

- instalações mal planejadas devido à disputa das empreiteiras pelos recursos do BNDES, cuja convicção técnica e mercadológica nem sempre foi ao encontro das especificidades dos municípios;
- falta de capacitação gerencial, técnica e institucional para a condução das atividades;
- administradores públicos equivocados ou vítimas de propaganda enganosa por parte de vendedores, afirmando que as usinas eram capazes de transformar todo o lixo em lucro, dispensando os aterros sanitários de rejeitos;

- localização inadequada das usinas, acarretando problemas de ordem ambiental e desentendimento com a população vizinha ao empreendimento;

- falta de mercados consumidores, tanto para os recicláveis quanto para o composto, em distâncias compatíveis para esse gênero de empreendimento.

Com base nas pesquisas de GALVÃO JÚNIOR (1994) e CASTRO (1996), pode-se citar dois motivos que têm tornado a alternativa das usinas de triagem e compostagem pouco atraentes para o equacionamento do problema do lixo:

as usinas não solucionam o problema do lixo, pois qualquer que seja o processo de operação apresentam não raramente até 50% de sobras, rejeitos e refugos, constituídos por materiais orgânicos de difícil decomposição, tais como: couro, borracha, madeira, além de materiais inertes, como areia, terra, cacos, plásticos, lixo de varredura, entulhos e outros, que devem ser encaminhados para um aterro sanitário, sempre imprescindível para receber os materiais não reaproveitáveis.

- as usinas não são economicamente viáveis, pois os produtos recicláveis separados do lixo (sujos), não apresentam qualidades e vantagens que justifiquem preço compensador, como pode ocorrer quando esses produtos são separados (limpos) nas residências.

Quanto ao uso do composto, devido ao fato de o lixo chegar às usinas completamente misturado, mesmo submetido a onerosos processos de beneficiamento, este apresenta uma série de impurezas, tais como partículas de vidros, de papéis, de plásticos, de metais, etc., impossíveis de serem separadas do composto, fato que o torna bastante inferior aos

compostos provenientes de granjas, estábulos ou de torta de farelo de algodão e mamona, disponíveis no mercado a preços atraentes. Portanto, nenhuma usina de triagem e compostagem mostrou-se auto-suficiente até hoje, como propagam os vendedores aos dirigentes municipais.

Na aquisição desses equipamentos de "industrialização do lixo", a preocupação não deve ser centrada somente na reciclagem de material como metais, vidros, papéis, papelões e plásticos, cuja proporção aproveitável no lixo chega no máximo a 15% da massa de resíduos da coleta regular, mas também na destinação final da parte orgânica do lixo, cujo teor, no Brasil, chega a 50%, e uma vez disposta inadequadamente, pode causar dano à saúde pública e ao meio ambiente. Como já foi explicitado anteriormente, o composto orgânico humificado pode ser aplicado como corretivo em alguns tipos de solo, sem efeitos nocivos para a saúde pública e o meio ambiente (LUZ, 1986).

É consenso entre os pesquisadores em resíduos sólidos que as instalações de triagem e compostagem devem ser melhor estudadas, tanto em nível tecnológico quanto em nível operacional, pois são grandes as expectativas quanto à otimização desses equipamentos para auxiliarem no equacionamento do problema dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil.

### **2.3.3 Incineração**

A prática de empilhar resíduos e atear fogo ao ar livre é um costume que vem de vários séculos. Esta atividade visava principalmente evitar que a parcela orgânica do lixo entrasse em decomposição, propagando vetores como ratos, baratas, moscas, além do mau-cheiro.

Com o crescimento das cidades e o estabelecimento dos

serviços de coleta do lixo esta prática tornou-se inadequada, devido aos incômodos causados às vizinhanças e aos danos provocados ao meio ambiente. Entretanto, é bastante comum verificar nos dias de hoje a adoção deste procedimento, principalmente na zona rural e na periferia das cidades, onde os serviços de coleta de resíduos se mostrem deficientes (LIMA, 1986).

Já há algum tempo, principalmente nas grandes metrópoles, em que a existência de áreas para a construção de aterros sanitários é cada vez mais escassa, a incineração vem sendo apontada como uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos.

A incineração de resíduos consiste na sua combustão, controlada através de equipamentos especiais denominados incineradores; ela é considerada um método de tratamento de resíduos sólidos, semi-sólidos e líquidos.

Basicamente, a incineração consiste num processo de redução de peso e volume do lixo. Os remanescentes da queima são geralmente constituídos de gases, como o anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o anidrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) proveniente do ar em excesso que não foi queimado completamente, água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), cinzas e escórias constituídas de metais ferrosos e inertes, como vidro e pedras.

A escória, geralmente da ordem de 15 a 20% da massa original do lixo, deve ser encaminhada para um aterro sanitário, e a sucata de ferro pode ser reciclada.

Quando a combustão é incompleta, os gases, principalmente o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e partículas (fuligem ou negro de fumo) exercem forte ação poluidora na atmosfera. Portanto, é imprescindível que

os incineradores modernos contem, além da câmara de combustão, com equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e agregados leves resultantes da combustão dos resíduos (CETESB, 1985).

Outro aspecto importante a ser considerado na instalação de incineradores é a possibilidade da recuperação do calor gerado no processo da queima dos resíduos.

#### • Partes constituintes de um incinerador

Os órgãos responsáveis pelo controle da poluição ambiental têm aumentado, cada vez mais, as exigências relacionadas à minimização dos impactos negativos gerados nos processos de tratamento e destinação final de resíduos sólidos, principalmente no que diz respeito a instalações de incineradores. Essas exigências visam a impedir que as experiências desastrosas com usinas de incineração em várias partes do mundo se repitam aqui, principalmente aquelas envolvendo resíduos industriais.

Para que uma usina de incineração opere com sucesso, uma série de informações a respeito dos resíduos a serem incinerados deverão direcionar o projeto. Entre elas incluem-se:

- tipo, quantidade e composição dos resíduos a serem incinerados;
- poder calorífico inferior (PCI), que indica a quantidade de calor liberado por uma determinada quantidade de resíduos durante o processo de queima;
- quantidade de ar necessário para a combustão completa dos resíduos;



- quantidade e natureza das cinzas, eventualmente geradas no processo etc.

O desconhecimento dessas e de outras variáveis, pode resultar em projetos equivocados, dificultando o controle, a operação e a manutenção do equipamento, além de aumentar os riscos de poluição do meio ambiente. Equipamentos com essas características têm sido fechados em vários países do mundo, gerando formidáveis prejuízos aos cofres públicos, em função do seu elevado custo. A Figura 7 ilustra um incinerador utilizado para a combustão controlada de resíduos sólidos urbanos nos Estados Unidos e seus principais componentes.

FIGURA 7 - Partes constituintes de um incinerador.  
Fonte: TCHOBANOGLOUS (1993)

Os componentes do incinerador mostrados na Figura 7 executam as seguintes etapas do processo:

a- recepção e carregamento - os veículos coletores, após serem pesados, descarregam os resíduos em um fosso de armazenamento, dotado de um dispositivo de drenagem e um sistema de aspiração de poeira.

Um ou dois sistemas multi-garras, que se movimentam através de pontes rolantes, apanham os resíduos, conduzindo-os a uma tremonha ou funil de alimentação, ligado à fornalha.

b- tremonha de alimentação - nas instalações modernas, as tremonhas de alimentação são dotadas de dispositivos que retêm os resíduos, impedindo a troca de calor entre a fornalha e o meio externo, além de permitir a alimentação contínua da câmara de combustão.

c- pré-secagem - é realizada para aumentar o poder calorífico dos resíduos; os incineradores modernos contam com uma grelha específica para esse fim.

d- câmara de combustão - três fatores principais controlam essa fase do processo: temperatura, tempo e turbilhonamento.

A temperatura deve se situar na faixa de 800 a 1000°C, uma vez que os odores de compostos orgânicos são eliminados entre 800 e 900°C.

O tempo de permanência de gases na câmara de combustão é muito importante para que se obtenha a combustão completa. As câmaras de combustão devem ser amplas para reduzir a vazão dos gases, e altas, para que os materiais voláteis, cujo teor é alto no lixo, misturem-se ao ar e se inflamem.

O turbilhonamento é indispensável, pois provoca o aumento da área de contato das partículas com o oxigênio necessário para a queima. A turbulência é obtida artificialmente, por injeção de ar a alta pressão em locais previamente escolhidos da câmara de combustão.

Alguns incineradores de resíduos industriais perigosos contam com uma câmara complementar, onde se completa a combustão dos gases e das partículas por eles carregadas.

e- grelhas - são dispositivos intimamente ligados à eficiência do processo de queima; nos incineradores atuais, são constituídas por barras estreitamente espaçadas em forma de degraus, que oscilam automaticamente em movimentos desencontrados, de forma a favorecer um maior contato entre os resíduos e o ar insuflado entre as barras. As escórias, resultantes da queima, são transportadas de um degrau para o outro, até deixarem a câmara de combustão.

f- extração de escórias e cinzas - na saída da câmara de combustão, as escórias passam por um britador que desfaz os torrões de lixo incinerado e amassa as latas. Em seguida, as escórias são descarregadas em um tanque contendo água para o seu resfriamento e, posteriormente, empurradas por um rodo até uma correia transportadora que conduz o material para a caçamba de um veículo coletor. Essa escória, representando cerca de 15% do material original, é em seguida encaminhada para um aterro sanitário. Alguns incineradores são dotados de ímãs encarregados de separar das escórias os materiais ferrosos, para serem comercializados como sucata.

As cinzas, acumuladas na câmara de combustão, nos dutos e na base da chaminé, são removidas durante as paradas periódicas do incinerador, através de sistemas mecânicos ou pneumáticos.

g- dispositivos para recuperação de energia - alguns incineradores são equipados com caldeiras, visando a recuperação do calor gerado na combustão dos resíduos.

O vapor é gerado nesse equipamento devido à troca de calor com os gases da combustão, a ser utilizado diretamente para o aquecimento de água em indústrias localizadas nas proximidades da usina de incineração, ou ainda ser transformado em energia elétrica através de instalações especiais, como as turbinas, a ser vendida às concessionárias de energia.

h- filtragem e tratamento dos gases - segundo a CETESB (1985), os gases de combustão deixam a câmara do incinerador a uma temperatura entre 800 e 1000°C e devem ser resfriados antes de serem submetidos a qualquer processo convencional de tratamento. Para os incineradores atuais, são previstos um trocador de calor e um precipitador eletrostático. O trocador de calor pode produzir calor ou água quente, gerar eletricidade, ou mesmo fazer funcionar linhas de aquecimento, e desse modo contribuir para a redução dos custos de operação. Dessa forma, a temperatura dos gases de combustão baixam, situando-se entre 200 e 300°C, permitindo que os precipitadores eletrostáticos entrem em operação e removendo grande quantidade de partículas, resultantes da combustão dos resíduos.

Os incineradores devem ainda ser dotados de sistemas de lavagem de gases, para controlar a emissão de gases ácidos também formados durante o processo de queima dos resíduos.

i- dispositivos de tiragem de gases - são constituídos de chaminés e ventiladores que lançam os gases na atmosfera. O tipo de chaminé mais empregada é a "multi-flue", que consiste em um duto principal, envolvido por uma camisa de concreto, contendo em seu interior outros dutos menores, destinados a aumentar a velocidade de fluxo.

### • Monitorização do processo de incineração

No processo de incineração, a temperatura de combustão dos resíduos e a emissão de gases devem ser rigorosamente monitoradas. Para tanto, os incineradores devem ser dotados de sistemas de alarme e de segurança contra eventuais falhas de operação. A temperatura é monitorada em vários pontos do equipamento, principalmente na área de combustão dos resíduos e na câmara de pós-queima, garantindo a ativação, caso haja necessidade, de pós-queimadores para a adequação da temperatura de queima dos resíduos gasosos.

A monitorização da velocidade do ar e dos níveis de oxigênio orienta a distribuição de ar no interior do incinerador.

### • Controle da poluição

As instalações térmicas projetadas e operadas sem o devido rigor técnico produzem impactos ambientais diversos, incluindo emissões gasosas e particuladas indesejáveis, resíduos sólidos e efluentes líquidos. Em condições apropriadas de construção, operação e manutenção, pode-se atenuar a emissão desses agentes.

Vários incineradores na Europa tiveram suas atividades encerradas devido ao fato de a composição dos gases em particulado emitidos na atmosfera não estar ajustada aos padrões ambientais fixados.

### • Controle de material particulado

O material particulado formado no processo da incineração é coletado por dispositivos como:

- filtros de tecido (filtros-manga), projetados com sacos de tecido resistentes ao calor, que capturam as partículas;

- precipitadores eletrostáticos, que tratam as emissões pela aplicação de uma tensão nas partículas, carregando-as negativamente, para posteriormente serem removidas por um sistema de placas carregadas com carga positiva;

- lavadores “venturi”, que utilizam grandes volumes de água em forma de gotículas e, ao impactar a corrente gasosa, capturam as partículas. O efluente líquido resultante desse processo deve ser encaminhado para uma estação de tratamento.

### • Controle de gases ácidos

O enxofre, o cloro orgânico e o nitrogênio presentes nos resíduos domiciliares formam os gases ácidos: óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), ácido clorídrico (HCl) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). As unidades consideradas mais eficientes de controle desses gases são os lavadores de "spray" de cal, seguidos de filtros-manga. Essa técnica também é eficiente no controle da emissão de metais, dioxinas e furanos. TCHOBANOGLOUS et al. (1993) e JARDIM (1995) detalham e comparam a eficiência das tecnologias citadas.

### • Dioxinas e os furanos

As dioxinas (PCDD's) e os furanos (PCDF's) constituem uma família de substâncias organocloradas de 210 isômeros (75 de dioxinas e 135 de furanos), onde o elemento cloro (Cl), pode estar presente em qualquer uma das posições numeradas (1,2,3,4,6,7,8,9), ou em todas simultaneamente, conforme mostra a Figura 8.

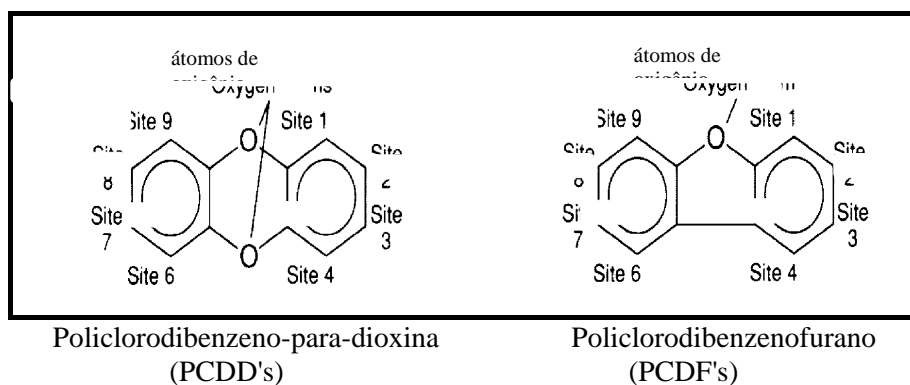


FIGURA 8 - Estruturas das famílias de dioxinas e furanos

Fonte: TCHOBANOGLOUS et al (1993)

Alguns isômeros das famílias de PCDDs e PCDFs são substâncias extremamente tóxicas. Por exemplo: 2,3,7,8 TCDD -  $DL_{50}$  (porco de guiné) é menor que  $1 \mu\text{g/kg}$  do peso corporal. O agente laranja (desfolhante usado na guerra do Vietnã) estava contaminado com 2,3,7,8 TCDD.

Há evidências de que os PCDDs e PCDFs são cancerígenos em animais, mas para os seres humanos o fato ainda é questionável.

O mecanismo de formação de PCDD e PCDF em processos térmicos envolvendo resíduos sólidos domiciliares não foram determinados. São propostas três fontes:

- a presença de PCDD e PCDF no próprio lixo;
- a formação durante a combustão devido a presença de precursores aromáticos clorados;
- a formação durante a combustão pela presença de hidrocarbonetos e cloro.

O controle de emissão de dioxinas, furanos e metais é feito através do emprego de três tecnologias distintas:

- separação na fonte;
- controle da combustão;
- controle de emissão de particulados.

Nos Estados Unidos da América, foi estabelecido pela Environmental Protection Agency -EPA, o limite de  $30 \text{ ng/m}^3$  para o total de dioxinas e furanos emitidos de incineradores de resíduos sólidos domiciliares, com capacidade igual ou superior a 250 ton/dia.

Na Alemanha, esse limite para incineradores de resíduos perigosos é de  $0,1 \text{ ng/m}^3$  TEQ (unidade de Toxicidade Equivalente), tendo como referência, os isômeros, onde o elemento cloro ocupa as posições 2,3,7,8 (tetraclorodibenzo-para-dioxina - TCDD), ou as mesmas posições 2,3,7,8 (tetraclorodibenzofurano - TCDF), considerando-se que, dentre as diversas combinações possíveis, esses isômeros são os que apresentam maior toxicidade. O valor de ambos, tomado como referência, é igual a 1,0 (um). As demais combinações possíveis são sempre menores que 1,0 (TCHOBANOGLIOUS et. al., 1993).

Atualmente, não existem no Brasil entidades públicas que realizem análises de teores de dioxinas e furanos em nível de concentração tão baixos. A Figura 9, mostra as estruturas tomadas como unidade de Toxidez Equivalente (TEQ).

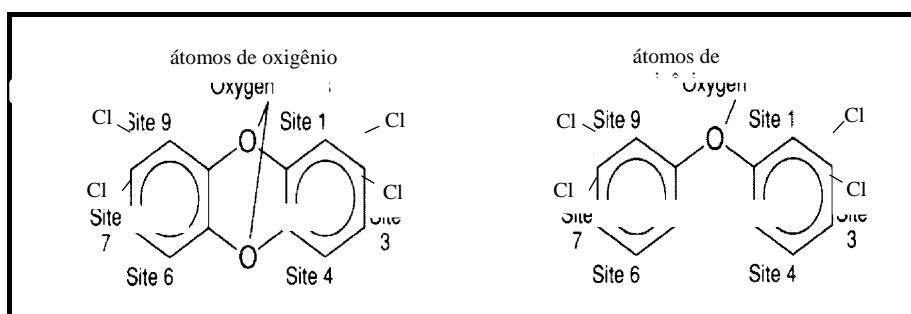


FIGURA 9 -Estrutura do tetraclorodibenzo-para-dioxina 2,3,7,8 (TCDD) e do tetracloro-dibenzofurano 2,3,7,8 (TCDF)

Fonte: TCHOBANOGLIOUS et. al. (1993)



### • Custos da incineração

Para a análise de custos das instalações de incineração, devem-se considerar os custos de capital e os custos operacionais

Para os incineradores modulares, com capacidade de processar até 400 ton/dia, estima-se um custo de capital na faixa de US\$ 100.000 a 130.000 por tonelada de capacidade. Para instalações de maior capacidade esse custo varia de US\$ 80.000 a 90.000 por tonelada de capacidade.

Ressalte-se que para qualquer uma das situações, os custos de capital diminuem com o aumento da capacidade de processamento.

Com relação aos custos operacionais estima-se, em termos internacionais, que uma instalação com capacidade de incineração de 2000 ton/dia, custo US\$ 20 por tonelada em base anual, incluindo manutenção e operação.

Esses custos podem variar, de acordo com as condições específicas locais e a tecnologia utilizada, devendo-se ressaltar que a incineração dos resíduos industriais é bem mais onerosa, podendo chegar a US\$ 3.000 por tonelada, dependendo do tipo de resíduo (JARDIM, 1995).

### • Legislação sobre incineração no Brasil

No Brasil, para as instalações de incineração com capacidade superior a 40 ton/dia, exige-se a apresentação do Estudo de Impactos Ambientais e do Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA, segundo a resolução CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 1, de 23 de janeiro de 1986.

Para instalações com capacidade nominal menor, as Secretarias de Estado do Meio Ambiente se encarregam da exigência ou dispensa do EIA/RIMA.

O licenciamento de incineradores compreende duas fases distintas: a Licença de Instalação (LI), em que o projeto é submetido ao órgão de controle ambiental para análise do projeto, dos impactos ambientais e das medidas mitigadoras propostas e o Licenciamento de Operação (LO), para o qual, entre outros, o interessado deve apresentar um "plano de teste de queima", a ser apreciado pelos órgãos de controle ambiental.

- **Vantagens e desvantagens da incineração**

São vantagens relevantes da incineração:

- redução dos resíduos em até 5% do volume e 15% do peso original, transformando-os em cinzas e escória, e aumentando consideravelmente o período de vida útil do aterro;
- eliminação satisfatória, sob o ponto de vista sanitário, de resíduos de serviços de saúde, alimentos, medicamentos vencidos, sobras de laboratórios e animais mortos;
- diminuição de distância de transporte, devido à possibilidade de localização da instalação em áreas próximas aos centros urbanos;
- bom funcionamento, independentemente das condições meteorológicas;
- possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos.

Como desvantagens desse processo, destaca-se:

- investimento elevado;
- alto custo de operação e manutenção;

- possibilidade de causar poluição atmosférica quando o incinerador é mal projetado ou mal operado;
- exigência de mão-de-obra especializada na operação.

## **2.3.4 Disposição final de resíduos sólidos domiciliares**

### **2.3.4.1 Aterro sanitário**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1984).

A aplicação desse processo é difundida em quase todo o mundo, por se apresentar como a solução mais econômica, quando comparada a outros processos (compostagem e incineração, por exemplo), que exigem grandes investimentos para a construção e para a manutenção da estrutura técnico-administrativa de operação (LEITE, 1991). Embora em alguns casos a compostagem e a incineração tornem-se viáveis economicamente, como é o caso das grandes cidades, deve-se ressaltar que tais métodos não descartam a existência de aterros sanitários em suas proximidades, uma vez que esses sistemas produzem resíduos de processo que não são aproveitáveis, ou ainda por fator de segurança, na ocorrência de imprevistos que paralise as instalações.

A maioria das cidades brasileiras confunde aterro sanitário com "vazadouros", "lixões", "depósitos", etc., métodos que, desprovidos de critérios científicos ou ecológicos, são condenados sob o ponto de vista sanitário. Ressalte-se também que o lixo urbano conta com grande parte de matéria orgânica, que entra rapidamente em decomposição ao ar livre, proliferando moscas, baratas, ratos, urubus, além de exalar mau-cheiro (BRANCO, 1980).

A falta de revolvimento periódico dessa massa orgânica faz com que o oxigênio em seu interior seja rapidamente consumido pela ação bacteriana, dando lugar à decomposição anaeróbica, com desprendimento de gases, como o metano, o gás carbônico, e alguns gases de odores desagradáveis, como o gás sulfídrico e mercaptanas, entre outros.

Outro fator preocupante é a formação do "chorume" (fração líquida, escura, ácida e de odor desagradável), durante a decomposição anaeróbia. Esse líquido pode infiltrar-se no solo ao ser lixiviado na forma de percolado, podendo vir a poluir e contaminar as águas superficiais e subterrâneas.

#### Segundo LUZ:

chorume ou sumeiro é o líquido oriundo da decomposição do lixo e provém de três fontes:

- umidade natural do lixo, que se agrava sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, principalmente se forem usados recipientes abertos no acondicionamento
- água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição
- líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias. Esses microrganismos unicelulares, para se alimentarem, expelem enzimas que

dissolvem a matéria orgânica, possibilitando em seguida a absorção através das suas membranas. O excesso escorre como líquido negro, característico de resíduos orgânicos em decomposição (LUZ, 1981).

E percolados, ainda de acordo com o mesmo autor:

são as águas pluviais não desviadas da área onde se realiza o aterro, infiltrações de lagoas vizinhas ou do próprio lençol freático e nascentes não detectadas por ocasião da escolha do local, cuja vazão se intensifica nos períodos de chuva prolongada. Depois de atingido o ponto de saturação da massa disposta no aterro, essas águas escorrem arrastando o chorume e outros elementos prejudiciais tanto para o lençol subterrâneo como para os cursos de água próximos (LUZ, 1981).

Segundo FELLEBERG (1980), os componentes orgânicos do lixo sofrem decomposição bacteriana. A umidade que se desprende do lixo arrasta consigo muitas substâncias sulfuradas, nitrogenadas e cloradas, tóxicas e de odor desagradável, situação que se assemelha à destilação por arraste de vapor, que ocorre na queima do cigarro.

Particularmente em períodos de chuva, ocorrem nos depósitos de lixo infiltrações de água que penetram até as águas subterrâneas. Substâncias solúveis presentes no lixo são, assim, arrastadas para as camadas mais profundas do solo.

Nas infiltrações provenientes do lixo predominam substâncias inorgânicas, como cloretos, nitratos, sulfatos e carbonatos. Entre os cátions, predominam os íons magnésio, sódio, potássio, cálcio e amônio; íons de metais pesados ocorrem em quantidades menores que nas águas residuárias industriais.

O valor da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) de águas de infiltração provenientes de depósitos de lixo mais antigos é da ordem de 200 a 2000 mg/l. Em lixo recente, estes valores atingem não raramente demandas superiores a 20000 mg/l. Nos esgotos sanitários "in natura" estes valores são bem inferiores, oscilando entre 200 e 400 mg/l.

O lixo de procedência industrial geralmente altera a composição das águas de infiltração; normalmente a proporção de compostos orgânicos é menor que no lixo doméstico. As águas de infiltração passam a conter substâncias de forte ação tóxica, quando ocorre despejo ilegal, e de resíduos industriais contendo arseniatos, cianetos, etc. sem medidas de segurança.

Se estas águas de infiltrações alcançarem águas superficiais ou profundas, contribuirão acentuadamente para a eutrofização, por causa do elevado teor de substâncias minerais. A contaminação das águas profundas por estas infiltrações depende não só da profundidade em que se situa o lençol, mas também da força de adsorção e da capacidade de autodepuração do solo atravessado. A natureza do solo influencia também a velocidade de escoamento das águas infiltradas, de modo que "depósitos" de lixo ou até mesmo aterros sanitários mal operados, podem comprometer as águas profundas imediatamente ou após alguns decênios.

A Figura 10 mostra um modelo teórico da formação de líquidos percolados em aterros sanitários.

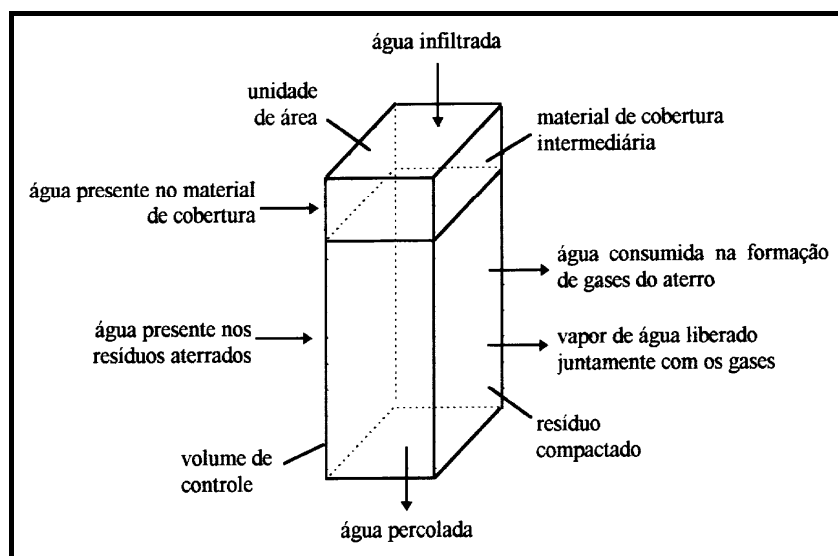


FIGURA 10 - Volume de controle utilizado em estudos de aterros sanitários.

Fonte: TCHOBANOGLIOUS et al. (1993)

Na construção de aterros sanitários, independentemente da técnica construtiva empregada, o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas existe. Esse risco está aliado à infiltração do chorume, às falhas que eventualmente podem ocorrer na construção e operação dos aterros e à infiltração das águas de chuva, que aumentam consideravelmente a quantidade de percolado.

A infiltração do percolado geralmente ocorre na forma de pluma, com migração descendente na direção da água subterrânea.

### • Planejamento para locação

Exigências econômicas hoje obrigam a ocupação cada vez mais racional do solo, fazendo-se necessária a seleção criteriosa de locais para a deposição dos resíduos sólidos, de modo a preservar os recursos naturais peculiares a cada região.

Países que se adiantaram na questão dos resíduos sólidos já vêm há algum tempo empreendendo estudos cujo objetivo é otimizar a metodologia necessária à escolha de sítios para a implantação de aterros sanitários.

O Brasil, país tropical, apresenta características bastante distintas das encontradas nesses países, onde predomina o clima frio e moderado. Essas diferenças justificam estudos que levem em conta as nossas peculiaridades naturais - climáticas, hidrológicas e geológicas -, a fim de que se estabeleça um conjunto de regras para a seleção preliminar e a escolha desses sítios, não deixando de mencionar, também, os aspectos sociais, econômicos e culturais, entre outros.

Para a construção de um aterro verdadeiramente sanitário, uma série de exigências devem ser verificadas, a fim de que todas as estruturas deste gênero de empreendimento funcionem conforme o previsto no projeto.

#### • Critérios para implantação

O licenciamento ambiental das instalações de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil é realizado a partir da aplicação da Resolução CONAMA 001/86 (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que institui a obrigatoriedade do Estudo de Impacto Ambiental - EIA, e do Relatório de Impacto Ambiental-RIMA, para as atividades modificadoras do meio ambiente (aguarda-se nova Resolução).

No Estado de São Paulo, a normatização dos procedimentos para o licenciamento ambiental foi estabelecida pela Resolução SMA 42/94 (Secretaria de Estado do Meio Ambiente), que institui dois instrumentos preliminares para a exigência ou dispensa de EIA e de RIMA: *o Relatório*



*Ambiental Preliminar - RAP e o Termo de Referência - TR.*

O RAP configura-se como o documento básico para o licenciamento ambiental e instrumenta a decisão do órgão ambiental sobre a exigência ou dispensa de EIA/RIMA. O conteúdo do RAP, a ser desenvolvido pelo empreendedor, geralmente através de consultoria especializada, inclui os seguintes itens:

- objeto do empreendimento;
- justificativa do empreendimento quanto à necessidade, à apresentação das alternativas locacionais e tecnológicas estudadas e à defesa da alternativa adotada;
- caracterização do empreendimento;
- diagnóstico ambiental preliminar na área de influência do empreendimento, refletindo as condições atuais do meio físico, biológico e sócio-econômico, interrelacionadas em um diagnóstico integrado, que permita a avaliação dos impactos decorrentes da implantação do empreendimento;
- identificação dos principais impactos que poderão ocorrer como consequência das diversas ações previstas para a implantação e a operação do empreendimento;
- medidas mitigadoras, compensatórias e/ou de controle ambiental, considerando os impactos previstos.

A Resolução SMA 42/94 estabelece, ainda, que o licenciamento ambiental se dará através de três etapas: Licença Prévia - LP, Licença de Instalação - LI e Licença de Operação LO, de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 11.

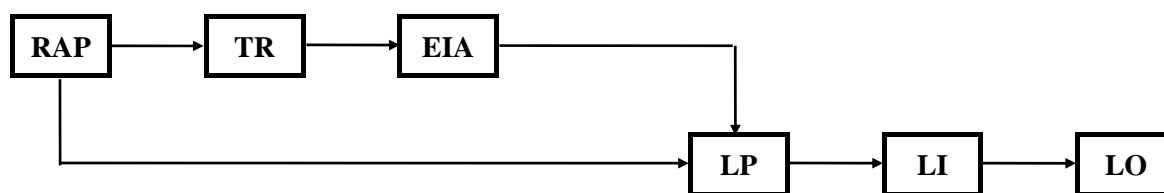


FIGURA 11 - Fluxograma para a obtenção do licenciamento ambiental

Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - RAP (1995)

Deve-se observar que, dependendo do volume de resíduos sólidos gerado diariamente, será necessária a apresentação do EIA/RIMA. No entanto, este fato não dispensa a apresentação do RAP.

#### • Estudos para seleção de áreas para a implantação

No processo de escolha de áreas para a implantação de aterros sanitários, conforme JARDIM (1995), deve-se ter sempre em mente a importância das características do meio físico. Uma área adequada significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro, mas fundamentalmente significa menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

Os trabalhos de viabilização exigem, assim, a compatibilização de vários fatores, buscando-se o equilíbrio entre os aspectos sociais, as alterações no meio ambiente e os custos do empreendimento. Para tanto, parte-se de estudos gerais, identificando-se as várias áreas potenciais, sendo priorizadas as mais promissoras.

Os seguintes dados devem ser levantados para a orientação da escolha da área do empreendimento:

### • Dados gerais

- dados populacionais: número de habitantes atuais, flutuante e projetado, bem como as taxas de variação populacional;
- caracterização dos resíduos: quantidade e qualidade dos resíduos que se deseja encerrar no aterro sanitário;
- informações sobre o manejo de resíduos sólidos no município: este item contempla os dados referentes à varrição, acondicionamento, coleta e transporte dos resíduos, bem como os tipos e características dos equipamentos utilizados, tempo e rotina da coleta, entre outros.

### • Dados geológicos e geotécnicos

Constituem-se em ferramenta fundamental para a escolha do local mais adequado para a disposição, pois as informações obtidas através desses estudos contribuem de forma decisiva na minimização dos impactos ambientais provocados pela disposição dos resíduos.

Na construção de aterros sanitários, independentemente da técnica construtiva empregada, o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas existe. Esse risco está aliado à infiltração do chorume, às falhas que eventualmente podem ocorrer na construção e operação dos aterros e na infiltração das águas de chuva que aumentam consideravelmente a quantidade de percolado.

A infiltração do percolado geralmente ocorre na forma de pluma, com migração descendente na direção da água subterrânea. O grau de contaminação pode ser controlado através do conhecimento das

características físicas do solo e da distância entre a fonte de poluição e o nível do lençol freático.

A possibilidade de contaminação decresce com o aumento dessa distância, devido à acentuada diluição e absorção do poluente, sendo grande a chance de sua degradação. Nas regiões planas, a poluição é espalhada para fora da área do aterro em numerosas ramificações.

Alguns atributos físicos e ambientais devem ser identificados e analisados durante a seleção de sítios para a construção dos aterros sanitários, conforme destacam ZUQUETTE e GANDOLFI (1992). São eles:

*Relevo do solo*

*Material não consolidado*

*Escoamento superficial e infiltração*

*Nível das águas subterrâneas*

*Substrato rochoso*

*Compressibilidade do solo*

*Material de cobertura do aterro*

- **Dados sobre águas superficiais**
- **Dados sobre clima**
- **Dados sobre legislação**
- **Dados sócio-econômicos**

O Quadro 2 mostra o modelo proposto pelo autor citado.

DADOS NECESSÁRIOS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	RECOMENDADA	RECOMENDADA COM RESTRIÇÕES	NÃO-RECOMENDADA
Vida útil	Maior que 10 anos	(10 anos, a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro atendido	Maior que 10 km	10-20 km	Maior que 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental e correlatas
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valorização da terra	Baixa	Média	Alta
Aceitação da população e de entidades ambientais não-governamentais	Boa	Razoável	Inaceitável
Distância dos cursos d'água (córregos, nascentes etc.)	Maior que 200 m	Menor que 200 m, com aprovação do órgão ambiental responsável	

QUADRO 2 - Critério para a avaliação das áreas para a instalação de aterro sanitário

Fonte: JARDIM (1995)

### • Classificação e métodos de operação

O aterro sanitário tem por objetivo prioritário a destinação final dos resíduos sólidos, entretanto, pode assumir, em determinadas situações, um papel secundário, porém não menos importante, recuperando áreas degradadas pela ação do homem ou da própria natureza. A técnica e os cuidados a serem observados nesse caso, devem levar em conta os preceitos e técnicas, que norteiam esse gênero de empreendimento (FILSAN, 1989).

Os aterros sanitários são classificados de acordo com a forma de execução, que varia conforme o conjunto de condições locais. VALENTE, (1980), propõe a seguinte ordem de classificação:

### • Aterros de superfície

São executados em regiões aproximadamente planas ou em nível, nos quais podem ser aplicados os seguintes métodos de operação:

- método da trincheira;
- método da escavação progressiva ou da rampa;
- método da área

As Figuras 12, 13 e 14 ilustram os principais métodos empregados na construção de aterros de superfície.

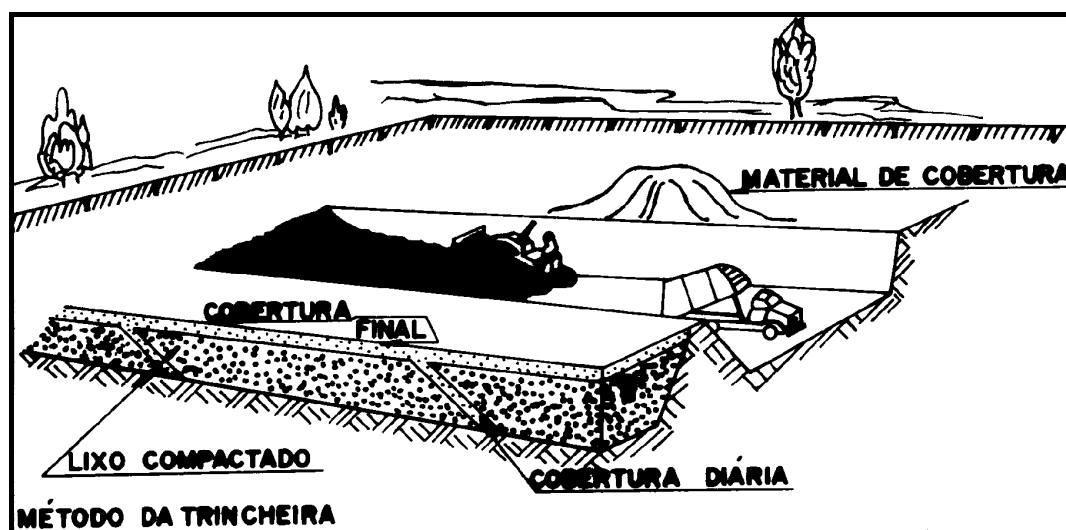


FIGURA 12 - Método da trincheira

Fonte: VALENTE

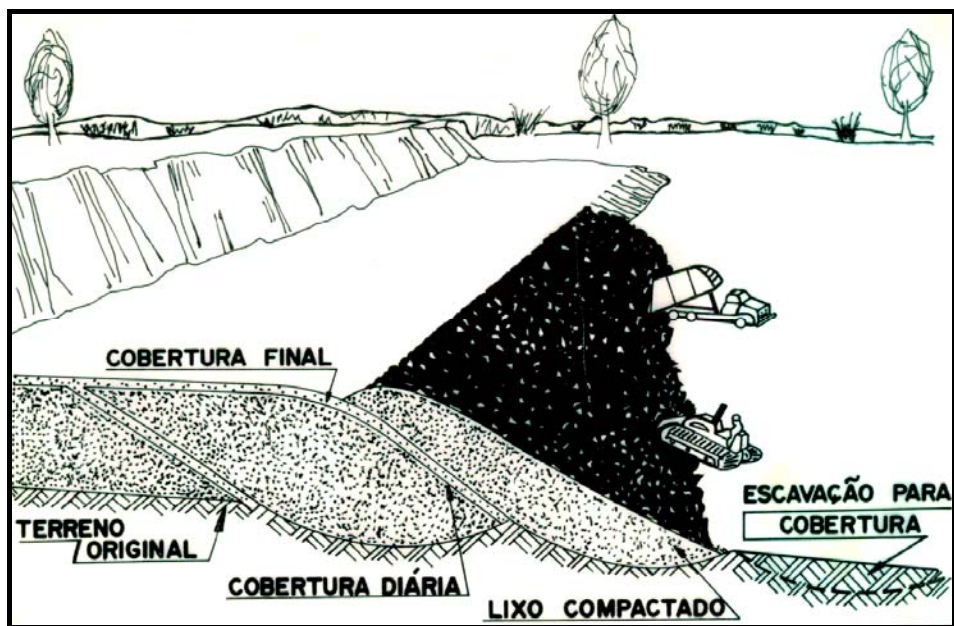


FIGURA 13 - Método da rampa

Fonte: VALENTE

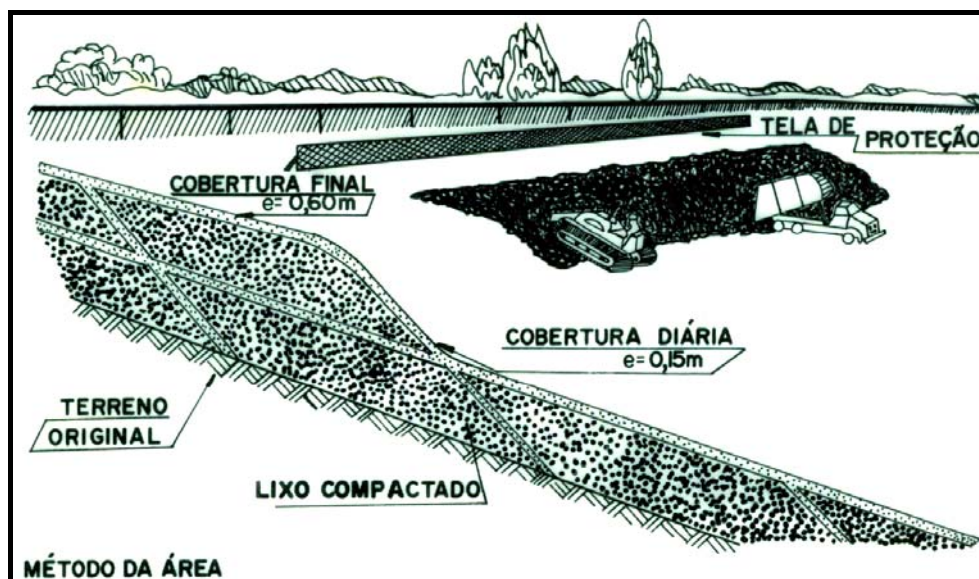


FIGURA 14 - Método da área

Fonte: VALENTE

### •Aterros em depressões

São aqueles executados em regiões de topografia acidentada, como grotas, fundo de vales, lagoas resultantes de escavações para extração de areia ou argila de olaria, pedreiras extintas etc. Os casos mais comuns são:

- aterros em lagoas
- aterros em depressões e ondulações

As Figuras 15 e 16 ilustram os métodos de construção de aterros em depressões.

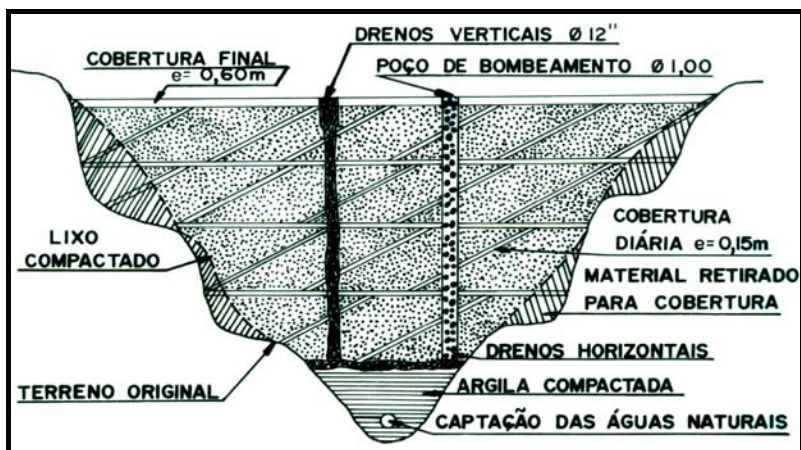


FIGURA 15 - Aterro em depressões ou ondulações

Fonte: VALENTE

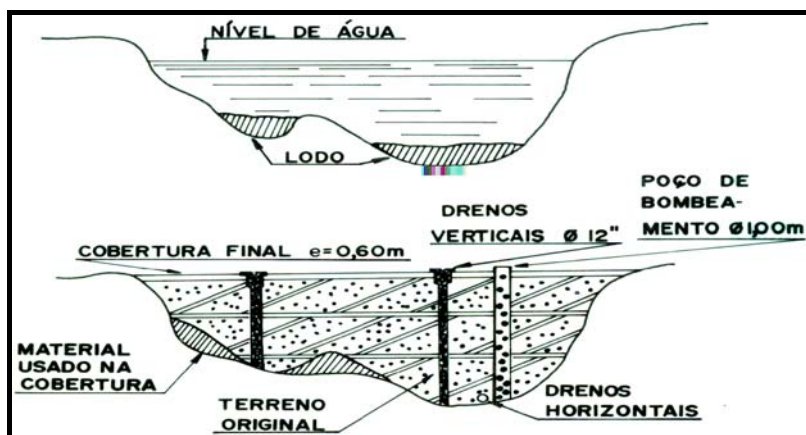


FIGURA 16 - Aterro em lagoa

Fonte: VALENTE

LEITE (1991), detalha os métodos de operação, aplicados em cada caso citado.



### • Construção de células sanitárias

Todos os métodos de construção de aterros sanitários diferem na forma de execução, entretanto, a sistemática de acondicionamento do lixo é a mesma, ou seja, consiste na construção de células sanitárias. Para tanto, o lixo deve ser disposto no solo previamente preparado, e a cada 3 viagens de descarregamento, de acordo com a capacidade do veículo coletor, o lixo deve ser empurrado de baixo para cima contra uma elevação natural ou célula anterior e distribuído pelo seu talude, com inclinação de 1:1 ou 1:2. A altura da célula deve variar de 2 a 4 metros.

O lixo espalhado pelo talude deve ser compactado por um trator de esteiras de baixo para cima, proporcionando assim maior uniformidade de compactação. O trator deverá subir e descer a rampa de 3 a 5 vezes, a fim de que o volume de lixo seja reduzido. Segundo LEITE (1991),  $0,75 \text{ t/m}^3$  é considerado com excelente grau de compactação.

No final do dia ou quando a coleta estiver terminada, a célula de lixo deverá receber uma cobertura de terra de 15 a 30cm.

Pode-se voltar a trabalhar sobre as células iniciais de lixo, sobrepondo-se novas células. Uma vez preenchida toda a área disponível do aterro, as células de lixo deverão receber uma camada de 60cm de terra, selando dessa forma o aterro sanitário.

O recobrimento final e o acabamento de um aterro sanitário é muito importante, pois essa área deverá ser incorporada ao meio ambiente, em condições de uso, sem causar incômodos à vizinhança.

A Figura 17 mostra a vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários.

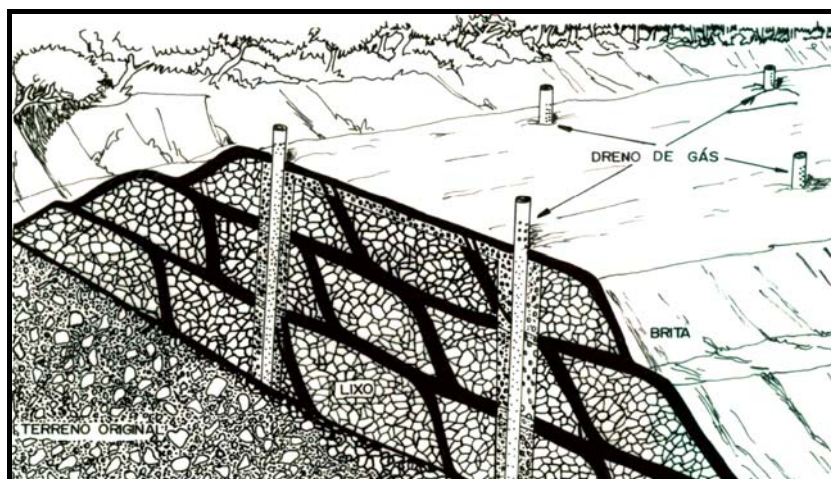


FIGURA 17 - Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários

Fonte: MINTER/CNDU/CETESB (1979)

### • Cuidados especiais

#### *Captação de gases*

O lixo confinado em aterros sanitários sofre um processo de decomposição predominantemente anaeróbico. Nesse processo, segundo LUZ (1981), o carbono combina-se com o hidrogênio, formando o metano ( $\text{CH}_4$ ), que é inflamável quando misturado com o ar na proporção de 10 a 15%, podendo também provocar a morte por asfixia se invadir, sob condições peculiares, residências próximas ao aterro.

O controle da geração e migração desses gases é realizado, segundo ORTH (1981), através de um sistema de drenagem, constituído pela superposição vertical de tubos perfurados de concreto ou PVC, revestidos por uma camisa de brita, conforme mostra a Figura 18. Esses drenos deverão distar entre 50 e 100m uns dos outros.

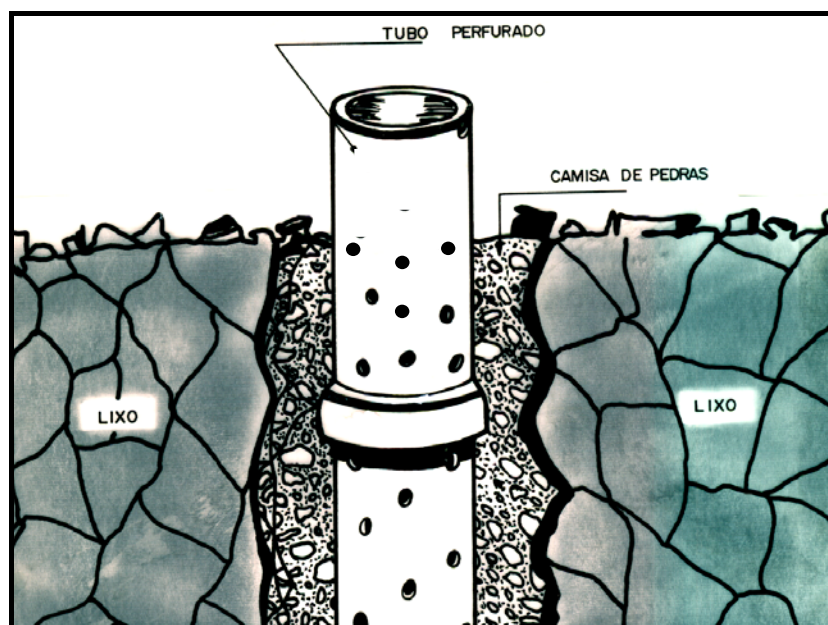


FIGURA 18 - Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário.

Fonte: MINTER/CNDU/CETESB (1979)

### ***Drenagem de águas pluviais e percolados***

A opção por áreas secas é sempre recomendável na escolha de um local para se implantar um aterro sanitário.

As águas provenientes da precipitação direta sobre o aterro, bem como as do escoamento superficial das áreas adjacentes, tendem a percolar através da massa de lixo, carregando poluentes que, juntamente com o chorume oriundo da decomposição do lixo, constituem material de alta carga poluidora (percolado), semelhante ao esgoto doméstico, porém, com concentração bastante superior.

Para os aterros sanitários são propostos dois sistemas de drenagem: superficial e sub-superficial.

O sistema de drenagem superficial tem como finalidade básica desviar as águas da bacia de contribuição para fora da área do aterro, diminuindo dessa forma o volume de líquido percolado, durante e após a

fase de execução do aterro, além de possibilitar a sua operação, inclusive em dias de chuva.

Este sistema requer a construção de canais de superfície livre a meia encosta, ou canaletas, envolvendo toda a área do aterro. Recomenda-se ainda, conferir um bom caimento à cobertura diária do aterro para evitar empoçamentos.

Toda água recolhida por esse sistema deverá ser conduzida para um ponto distante, onde não cause danos ao aterro, durante e após a fase de operação.

O sistema de drenagem sub-superficial visa coletar e conduzir os líquidos percolados para uma unidade de tratamento, evitando o comprometimento do lençol freático; esse sistema é constituído basicamente de estruturas drenantes com escoamento em meio poroso e é formado por drenos horizontais, preenchidos com britas, com inclinação de fundo de 2%. Sobre as britas devem ser colocados materiais sintéticos, como bidim ou simplesmente capim seco, visando a retenção de materiais em suspensão que poderiam vir a colmatar o dreno, conforme mostra a Figura 19.

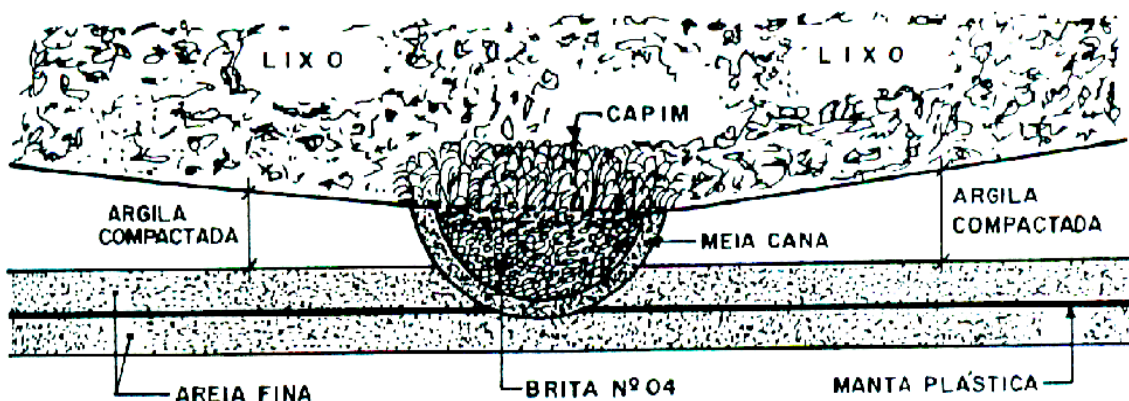


FIGURA 19 - Corte transversal de um dreno horizontal

Fonte: SCHALCH, 1992

## • Operação e Monitorização de Aterro Sanitário

Posteriormente às operações de destocamento, limpeza, regularização, escavação, impermeabilização de fundo e construção dos sistemas de drenagem verticais e horizontais, deverão iniciar as operações básicas para a construção das células sanitárias, conforme os métodos descritos anteriormente.

O material necessário, para o cobrimento diário das células sanitárias, deverá ser retirado durante a fase de escavação das frentes de trabalho ou de uma área de empréstimo, devendo ser estocado em local adequado, de forma a não ser erodido, e nem causar o assoreamento das estruturas de drenagem superficial.

### *Monitorização do lençol freático*

O lençol freático no entorno do aterro deverá ser monitorado com frequência trimestral, ou em intervalos menores, caso haja necessidade.

Para tanto, faz-se necessária a construção de poços para a monitoração, no mínimo um a montante e três a jusante. Esses poços visam identificar eventuais impactos na direção do fluxo das águas subterrâneas e devem ser construídos de acordo com a norma 06.010 da CETESB, 1987.

As amostras coletadas deverão ser submetidas aos seguintes ensaios e análises:

- nível estático do poço;
- pH;
- Condutividade;
- Carbono orgânico total;

- Cloreto;
- Sulfato;
- Nitrogênio amoniacal;
- Nitrogênio nitrito;
- Nitrogênio nitrato;
- Nitrogênio kjedall;
- Cádmio;
- Cromo total;
- Ferro;
- Coliformes totais e fecais;
- Estreptocócos fecais;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Fósforo total;
- Sulfeto.

### ***Monitorização das águas superficiais***

O plano de monitorização deverá prever o controle da qualidade das águas superficiais em pontos próximos aos aterros sanitários.

Essa monitorização deve ser realizada antes e durante a fase de operação do aterro, com frequência semestral, fornecendo, assim, um referencial da qualidade das águas de superfície.

Após o encerramento do aterro, esse programa deverá ter continuidade, com frequência anual.

Os parâmetros que devem ser analisados são os mesmos já citados para as águas subterrâneas, exceto o nível estático do poço.

As amostras deverão ser coletadas, preservadas e analisadas, segundo as normas definidas pelos órgãos de controle ambiental.

### ***Monitorização da estabilidade dos solos***

Deverá constar do plano de monitorização do aterro sanitário uma inspeção periódica do estado dos solos, principalmente após o período das chuvas, de modo a detectar pontos potenciais de formação de erosões. Essa inspeção incluirá, entre outros, o solo, as obras de construção e drenagem propostas no projeto, poço de acumulação, equipamento de bombeamento, linhas de recalque etc.. As observações decorrentes das inspeções, deverão constar do livro de ocorrências do aterro, para a tomada das providências cabíveis.

### ***Monitorização dos líquidos percolados***

O sistema de drenagem do aterro deverá encaminhar os líquidos percolados para uma unidade de tratamento, podendo ainda, conforme especificações de projeto, serem bombeados e inoculados na massa de resíduos aterrados. Um programa de medição de vazão, coleta e análise desses líquidos, permitirá o acompanhamento do desempenho do sistema, fornecendo subsídios para a correção de possíveis distorções construtivas e/ou operacionais.

Essas coletas e análises deverão ser realizadas com frequência trimestral, obedecendo às recomendações contidas em normas de órgãos de controle ambiental.

- **Acessos**

O acesso à área de aterros sanitários deverá ser mantido sempre em boas condições de tráfego, principalmente em dias chuvosos. Recomenda-se que os acessos internos do aterro, não apresentem rampas superiores a 10%, principalmente no sentido em que o veículo coletor trafegar carregado.

- **Instalações de Apoio**

- **portaria:** visa o controle da entrada e saída de veículos, e do tipo de resíduos que chegam ao aterro. Portanto, o vigia encarregado desse controle deverá verificar a procedência dos veículos;

- **balança:** é indispensável, principalmente quando o serviço de coleta é terceirizado, fornecendo com maior precisão o valor da massa de resíduos depositados diariamente no aterro. Auxilia também a otimização da coleta, do transporte e da operação do aterro sanitário.

- **pátio de estocagem de materiais e equipamentos:** essa área destina-se ao armazenamento de materiais indispensáveis à operação do aterro (solo, areia, pedra britada, tubos, etc.), além da guarda de máquinas. O pátio de estocagem deverá abrigar material necessário para a cobertura do aterro, por um período mínimo de 15 dias. Os demais materiais utilizáveis deverão ser estocados para atender pelo menos 30 dias de operação.

Caso haja necessidade, outras instalações poderão constar do projeto: pequeno escritório, almoxarifado, refeitório, vestiários e sanitários.



- **isolamento, sinalizações e limpeza:** para que o aterro sanitário mantenha um bom padrão de funcionamento, desde o início das obras preliminares de limpeza, toda a área do empreendimento, ou parte dela, deverá ser cercada, para impedir o estabelecimento de "catadores" no aterro e conter o espalhamento de materiais carregados por ação do vento.

Ao redor do aterro, deverão ser plantadas "cercas verdes", de preferência com vegetação nativa.

Visando a padronização do fluxo de veículos, deverão ser instaladas placas de sinalização internas e externamente ao aterro, de acordo com as normas do Departamento de Estradas de Rodagens (DER).

Deverá ser prevista com frequência semanal, ou em períodos mais curtos, caso haja necessidade, uma limpeza geral na área do aterro, principalmente nas proximidades da frente de trabalho.

#### • **Desativação do aterro sanitário**

O termo desativação do aterro sanitário compreende apenas o fim do recebimento de resíduos no local. Outras atividades deverão ter continuidade, a saber: recomposição do solo sobre as células e monitoração das águas superficiais e subterrâneas, com frequência semestral.

Deve-se levar em conta, que o aterro sanitário deverá apresentar "vida útil" superior a 10 anos.

Um plano para o uso futuro da área onde se deseja implantar um aterro sanitário deve fazer parte do projeto, para que seja submetido à apreciação e aprovação dos órgãos responsáveis pelo assunto.

De acordo com a NBR-8419, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), dependendo do uso futuro proposto para a área

do aterro, poderão os órgãos competentes exigir a exequibilidade e correção do projeto face às proposições apresentadas.

De uma maneira geral, as áreas recuperadas após a conclusão de aterro sanitário são transformadas em jardins, parques, praças esportivas e áreas de lazer.

Caso se tenha o desejo de construir edificações nessas áreas, precauções especiais devem ser tomadas, pois os recalques diferenciais que a área do aterro sofre devido à compressão das camadas superiores e à decomposição do lixo são inevitáveis e variam de aterro para aterro. A tendência é admitir que o lixo compactado, para efeito de cálculo de fundação, apresenta taxa de suporte semelhante à da turfa.

LUZ (1986) recomenda que se aguarde de dois a cinco anos para a execução de obras de acabamento em locais onde se construiu um aterro sanitário.

#### • **Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários**

##### *Vantagens:*

- solicitam em sua execução e operação equipamentos normalmente utilizados em serviços de terraplanagem;
- possibilitam a recuperação de áreas topograficamente inutilizadas;
- controlam a proliferação de vetores, tais como ratos e artrópodes;
- dispensam mão-de-obra especializada na operação;
- os custos normalmente são inferiores aos das usinas de compostagem e das instalações de incineração.

***Desvantagens:***

- poderá ser necessário o transporte de resíduos a longa distância;
- desvalorização imobiliária das áreas destinadas ao aterro, caso elas não necessitem de recuperação topográfica;
- produção de águas residuárias;
- possibilidade de poluição do lençol freático quando planejado ou operado de forma inadequada;
- período longo para a estabilização do solo do aterro;
- produção de ruídos e poeiras durante a fase de execução e operação.

**2.4 Gestão de Resíduos Sólidos**

O conceito de gestão de resíduos sólidos abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios.

Já o termo gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais da questão, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho: produtividade e qualidade, por exemplo, e relaciona-se à prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos (*Modelo de gestão de resíduos sólidos para a ação governamental no Brasil: aspectos institucionais, legais e financeiros*. Projeto BRA/92/017, 1996).

Dessa maneira, entende-se Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos como um "conjunto de referências político-estratégicas, institucionais, legais e financeiras capaz de orientar a organização do setor". São elementos indispensáveis na composição de um modelo de gestão:

- reconhecimento dos diversos agentes sociais envolvidos, identificando os papéis por eles desempenhados e promovendo a sua articulação;
- consolidação da base legal necessária e dos mecanismos que viabilizem a implementação das leis;
- mecanismos de financiamento para a auto-sustentabilidade das estruturas de gestão e do gerenciamento;
- informação à sociedade, empreendida tanto pelo poder público quanto pelos setores produtivos envolvidos, para que haja um controle social;
- sistema de planejamento integrado, orientando a implementação das políticas públicas para o setor.

A composição de modelos de gestão envolve, portanto, fundamentalmente três aspectos, que devem ser articulados: arranjos institucionais, instrumentos legais e mecanismos de financiamento.

## **2.5 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**

Uma vez definido um modelo básico de gestão de resíduos sólidos, contemplando diretrizes, arranjos institucionais, instrumentos legais, mecanismos de financiamento, entre outras questões, deve-se criar

uma estrutura para o gerenciamento dos resíduos, de acordo com o modelo de gestão.

Segundo TCHOBANOGLIOUS et al. (1993), gerenciamento de resíduos sólidos pode ser definido como a disciplina associada ao controle da geração, estocagem, coleta, transferência, transporte, processamento e disposição dos resíduos sólidos, de acordo com princípios de saúde pública, econômicos, de engenharia, de conservação, estéticos, e de proteção ao meio ambiente, sendo também responsável pelas atitudes públicas.

Dessa forma, o gerenciamento de resíduos exige o emprego das melhores técnicas na busca do enfrentamento da questão. A solução do problema dos resíduos pode envolver uma complexa relação interdisciplinar, abrangendo os aspectos políticos e geográficos, o planejamento local e regional, elemento de sociologia e demografia, entre outros.

Gerenciar os resíduos de forma integrada é articular ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, apoiada em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, tratar e dispor o lixo de uma cidade, ou seja: é acompanhar de forma criteriosa todo o ciclo dos resíduos, da geração à disposição final ("do berço ao túmulo"), empregando as técnicas e tecnologias mais compatíveis com a realidade local.

De acordo com JARDIM et al. (1995), o planejamento das atividades de gerenciamento integrado deve assegurar um ambiente saudável, tanto no presente como no futuro.

O Quadro 3 e a Figura 20, sugerem as ações obrigatórias e recomendáveis para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a

Figura 21 sugere as operações a serem efetuadas na área de resíduos sólidos domiciliares.

SERVIÇO DE LIMPEZA PÚBLICA		METAS
Limpeza	Acondicionamento, Coleta e Transporte	Coletar e transportar o lixo pelo qual a prefeitura é responsável
Destinação (disposição) final do lixo	Lixão ou aterro Controlado	Remediar lixão Implantar aterro sanitário
	Aterro sanitário	Assegurar que a operação atenda padrões técnicos e ambientais, o que inclui a reutilização da área no futuro

QUADRO 3 - Ações obrigatórias para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos.

Fonte: JARDIM et al. (1995)

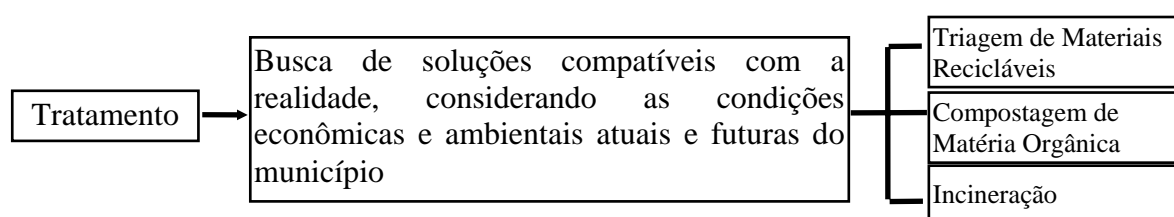


FIGURA 20 - Ações recomendáveis para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos

Fonte: JARDIM et al. (1995)

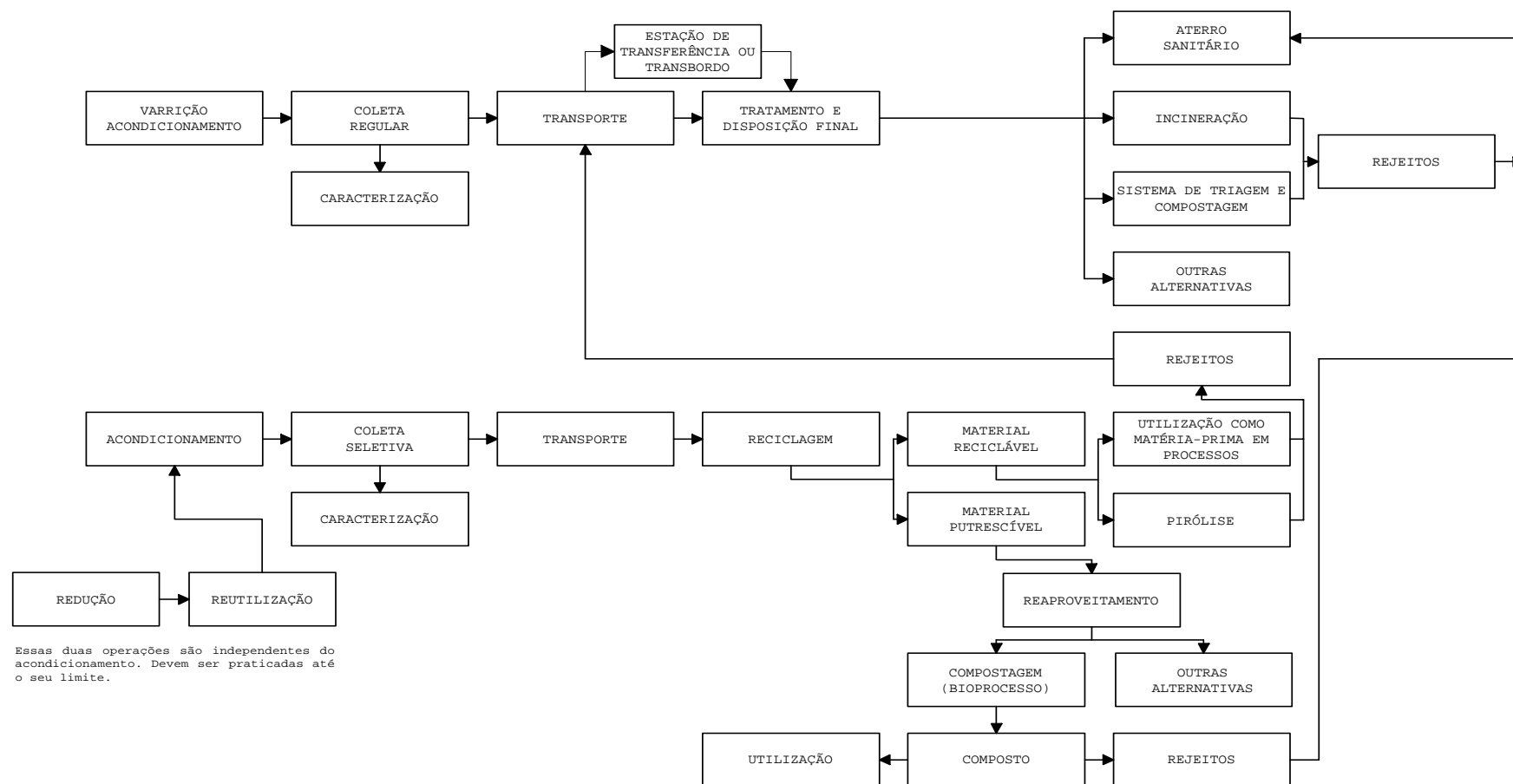


FIGURA 21 - Operações efetuadas na área de resíduos sólidos domiciliares.

Fonte: SCHALCH et al. (1990)

### **3. A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Para a implementação de um modelo de gestão de resíduos sólidos no Brasil, que contemple os múltiplos aspectos que o trato da questão exige, faz-se necessário o conhecimento de como outros países enfrentam o problema, especialmente as nações que se adiantaram na busca de soluções.

Os quadros mostrados a seguir resumem os modelos de gestão, na área de resíduos sólidos na Comunidade Européia, França, Dinamarca, Holanda, Alemanha, Estados Unidos e Japão.



## • Gestão de Resíduos: Comunidade Européia

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estados-Membros</li> <li>Conselho das Comunidades Europeias</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>minimizar: ênfase em tecnologias de produção industrial limpas</li> <li>reciclar / reutilizar</li> <li>tratamento / incineração, com aproveitamento energético (eletricidade / calefação)</li> <li>disposição final de “resíduos últimos” em aterros sanitários</li> </ul>	<p><u>Comunidade Européia</u> - formada pelo Conselho de Ministros dos Estados-Membros, é o agente responsável pela formulação de diretivas.</p> <p>Os Estados-Membros responsabilizam-se pela elaboração de planos contemplando as diretivas de forma independente e de acordo com as peculiaridades de seus países.</p> <p>Esses planos têm prazo estabelecido para serem apreciados pela Comunidade Européia, que pode ou não aprová-los.</p> <p>Um Estado-Membro pode se responsabilizar diretamente pela investigação e pesquisa a respeito de um resíduo específico, como vem ocorrendo, por exemplo, na França (pneus usados), Itália (eletro-eletrônicos) e Alemanha (resíduos de construção e demolição).</p>	<p><u>Diretiva do Conselho da Comunidade Européia (1975) relativa a resíduos</u>: trata-se de um texto conhecido por “Diretiva Quadro”, onde estão definidos vários artigos que explicitam as diretrizes para a elaboração de planos de gestão dos estados-membros. Esta diretiva foi reformulada em 1990 e fixa 5 eixos prioritários para a gestão de resíduos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. prevenção na geração de resíduos (pelas tecnologias e pelos novos produtos)</li> <li>2. revalorização</li> <li>3. otimização da eliminação final</li> <li>4. regulamentação do transporte</li> <li>5. ação reparadora</li> </ol> <p>Discorre ainda sobre a aplicação da legislação comunitária e sobre a gestão de resíduos numa comunidade sem fronteiras internas.</p> <p><u>Convenção da Basiléia (1993)</u>: controle dos movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos</p>	<p>Os Estados-Membros devem atingir as metas propostas pela Comunidade Européia de forma auto-sustentável. No entanto, existem vários fundos destinados a países da comunidade que apresentam dificuldades em elaborar e implementar parte ou todo o conjunto do plano, entre os quais destacam-se dois:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fundos Estruturais: Fundo Social Europeu, Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional e Fundo de Garantia Agrícola</li> <li>Fundo de Coesão: tem por objetivo promover a coesão social e econômica entre os Estados-Membros, sendo este destinado aos países da comunidade cujo PIB é menor que 90% da média dos Estados-membros da comunidade.</li> </ul> <p>Alguns fundo podem ser destinados a países em desenvolvimento, que não fazem parte da Comunidade Européia.</p>

## • Gestão de Resíduos: França

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunas</li> <li>Cantões (várias comunas)</li> <li><i>Arrondissements</i> (vários cantões)</li> <li>Departamentos (Estados)</li> <li>Regiões Administrativas</li> <li>Governo Central</li> </ul> <p><b><u>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>minimização da produção</li> <li>classificação seletiva</li> <li>recuperação e reconversão</li> <li>tratamento (biológico ou incineração)</li> <li>disposição final</li> </ul>	<p><u>Governo Central</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ministério do Meio Ambiente</li> <li>Ministério da Indústria</li> </ul> <p>agentes responsáveis pela política de resíduos no país</p> <p>função normativa e articulação interinstitucional</p> <p><u>Coletividades Locais (Regiões Administrativas)</u></p> <p>planejamento, suporte para a abertura de centros de estocagem</p> <p>são assistidos por comissões constituídas por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>serviços do estado</li> <li>agências</li> <li>conselho regional</li> <li>organizações profissionais</li> <li>associações de proteção do meio ambiente</li> <li>personalidades qualificadas</li> </ul> <p><u>Departamentos</u></p> <p>planificação e controle de instalações</p> <p><u>Indústrias</u></p> <p>produtor: responsável pelo tratamento</p> <p>instalações de tratamento: investimento e valorização</p> <p><u>Estabelecimentos Públicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ADEME: agência de meio ambiente e do controle de energia - pesquisa, suporte para o preparo de regulamentações tecnológica, vistorias, conselho e difusão</li> <li>Agências de Água (6): ajuda aos investimentos (tratamento) e ajuda para eliminação (produtores)</li> </ul>	<p>Legislação de Resíduos</p> <p><u>Lei de 1975</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>estabeleceu a política de resíduos</li> <li>princípios de que o poluidor pague - responsabilidade do produtor</li> <li>criação da ANRED (Agência Nacional para a Recuperação e Eliminação de Resíduos)</li> </ul> <p><u>Lei de 1992</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>prioriza a valorização de resíduos</li> <li>aplica noção de “resíduos últimos”</li> <li>atua desde a base (ecoprodutores)</li> <li>combate a inflação de embalagens</li> <li>valoriza os resíduos</li> <li>organiza o transporte de resíduos</li> <li>informa ao público</li> </ul> <p><u>Lei de 1995</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>transfere a planificação dos departamentos para as coletividades locais</li> <li>amplia a extensão da tabela de resíduos industriais especiais (estocagem e tratamento)</li> <li>define uma política de reabilitação de sítios poluídos</li> </ul>	<p>Os departamentos devem ser auto-suficientes, entretanto existe a possibilidade de ajuda financeira às comunas que acolham novas instalações em seu território. Este auxílio é oriundo dos fundos de modernização da gestão de resíduos.</p> <p>A ADEME também pode ajudar financeiramente as comunas a manterem operações exemplares</p> <p>Agências de Água, como a do Sena-Normandia, podem ajudar financeiramente as atividades relacionadas aos resíduos especiais, tais como: desenvolvimento de tecnologia própria, estudos para alternativas de gestão de resíduos, meios de eliminação (transporte e tratamento nas instalações coletivas convencionadas pela agência).</p>

• **Gestão de Resíduos: Alemanha**

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Municípios / Distritos</li> <li>Região Administrativa</li> <li>Estado</li> <li>Governo Central</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>minimização: ênfase em tecnologias de produção industrial limpas</li> <li>reciclagem / reutilização</li> <li>tratamento / incineração com aproveitamento energético</li> <li>disposição final em aterros</li> </ul>	<p><u>Federal (Governo Central)</u> Normativo e legislativo, elabora as diretrizes gerais, através dos ministros que têm interface com o assunto. Elabora o planejamento ambiental e a fiscalização.</p> <p><u>Estado</u> Também tem função normativa e legislativa; detalha as diretrizes gerais da federação, podendo torná-las mais restritivas e tem caráter fiscalizador.</p> <p><u>Regiões Administrativas</u> Congregadas em uma diretoria com vários departamentos, responsabilizam-se pela análise, regulamentação, aprovação de planos e fiscalização</p> <p><u>Distritos e Municípios</u> Elaboram planos para a contratação de projetos e se responsabilizam pela coleta e disposição de resíduos. Os municípios se responsabilizam pela coleta de resíduos e os distritos pelo tratamento e disposição final</p>	<p><u>Lei de 1949 - Organização Territorial:</u> lei federal fixando toda a organização territorial atual</p> <p><u>Lei de 1986 (Abfallgesetz-AgG):</u> lei federal de resíduos. Foi revisada em 1990 e em 1992. Esta lei é detalhada em cada estado, tornando-a, muitas vezes, mais restritiva.</p> <p>A coleta, a disposição e a reciclagem de resíduos são de competência dos municípios / distritos. Embora exista uma tendência que caminha em direção da privatização, a função reguladora / fiscalizadora, repousará sempre sobre o poder público.</p> <p>A responsabilidade pública em matéria de resíduos industriais é bastante reduzida; em princípio, o produtor é o responsável pela disposição.</p> <p>O estado limita-se a planejar a organização do manejo dos resíduos industriais, podendo em alguns casos ser acionista de instalações de tratamento, em parceria com a iniciativa privada.</p> <p>O gerador, o transportador e o receptor de resíduos industriais perigosos devem assegurar que a disposição final adequada está garantida.</p>	<p>As estruturas para o gerenciamento de resíduos devem ser auto-sustentáveis.</p> <p>Existem financiamentos para as atividades ligadas à remediação de sítios degradados. Nesses casos, 50% fica a cargo do estado e 50% a cargo dos municípios ou ainda, 50% a cargo do estado e 50% a cargo da indústria.</p>

## Gestão de Resíduos: Holanda

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Municípios</li> <li>Províncias</li> <li>Governo Central</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão dos Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>minimização: ênfase em tecnologias de produção industrial limpas</li> <li>reciclagem / reutilização</li> <li>tratamento / incineração, com aproveitamento energético (eletricidade / calefação)</li> <li>disposição final em aterros sanitários</li> </ul>	<p><u>Governo Central</u> Ministério da Habitação, Planejamento Espacial e Meio Ambiente: é o agente coordenador da política de resíduos.</p> <p>Ao governo central e ao provincial cabe a elaboração de plano plurianual para gestão de resíduos perigosos e aos municípios compete a elaboração de planos regionais para os demais tipos de resíduos.</p> <p>Faz parte ainda da estrutura de planejamento, um conselho consultivo sobre resíduos (Waste Consultation Board).</p> <p>Na Holanda parte do gerenciamento de resíduos conta com a participação do setor privado (parceria público-privado) onde basicamente, o setor público detém a propriedade das instalações e o setor privado se encarrega da operação das mesmas.</p>	<p><u>Lei de 1995 - Environmental Management Act</u> Este texto contempla e estabelece normas para todas as atividades relacionadas com resíduos sólidos, entre as quais destacam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>elaboração de planos de gerenciamento de resíduos</li> <li>requisitos de qualidade ambiental</li> <li>tributação sobre impactos ambientais</li> <li>licenças para abertura de estabelecimentos</li> <li>provisões financeiras.</li> </ul>	<p>As estruturas responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos na Holanda são auto-sustentáveis (taxas pagas pelos municípios e usuários do sistema).</p> <p>Na Holanda, adotam-se taxas ambientais diferenciadas para cada tipo de tratamento de resíduos, de acordo com a atual política de gestão. Assim, a taxa paga para a disposição em aterros é maior que para a incineração, e normalmente há incentivos nos casos de reciclagem e/ou reutilização.</p> <p>A taxa ambiental constitui-se num “desincentivo” às práticas de disposição direta em aterros, e seus recursos financiam um fundo de investimento para os programas / projetos de tratamento de resíduos priorizados pela política, inclusive educação ambiental, que no país é uma atividade sistemática e permanente.</p>

• **Gestão de Resíduos: Dinamarca**

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Municípios</li> <li>Distritos</li> <li>Governo Central</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>minimização: ênfase em tecnologias de produção industrial limpas</li> <li>reciclagem / reutilização</li> <li>tratamento / incineração, com aproveitamento de energia (eletricidade / calefação)</li> <li>disposição final em aterros sanitários</li> </ul>	<p>Governo Central, através do Ministério do Meio Ambiente: é o agente coordenador da política de resíduos na Dinamarca, tendo o papel normativo.</p> <p>Os municípios se responsabilizam pelo gerenciamento dos resíduos industriais e municipais.</p> <p>O papel normativo e fiscalizador está a cargo da agência de proteção ambiental da Dinamarca (EPA).</p> <p>A Dinamarca privilegia a participação de empresas públicas no gerenciamento de resíduos sólidos.</p> <p>O distrito é responsável pelo licenciamento de instalações industriais e de tratamento e disposição final de resíduos e também agente fiscalizador</p> <p>Os municípios atuam conjuntamente e constituem empresas públicas para o gerenciamento de resíduos, desde a coleta até a destinação final</p>	<p>A Dinamarca conta com vários textos legais, contemplando a questão dos resíduos sólidos, destacando-se os seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>armazenamento de resíduos (1990)</li> <li>disposição, planejamento e registro de resíduos (1993)</li> <li>lei modificada de proteção do meio ambiente (1994)</li> <li>resíduos de aplicação na agricultura (1995)</li> <li>embalagens de cervejas e refrigerantes (1991).</li> </ul> <p>As soluções para a reciclagem / reutilização de pneus e baterias, onde ainda não há legislação específica, funcionam sob o chamado “acordo de cavalheiros” (voluntary agreement) entre a indústria e o governo. A tendência desse tipo de instrumento é de expansão em toda a Comunidade Européia.</p>	<p>As estruturas responsáveis pelas atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos são auto-sustentáveis. A taxa de coleta, tratamento e disposição final de resíduos domiciliares é cobrada junto com o imposto predial e constitui um valor único, (em torno de US\$ 350,00 / ano) para cada unidade habitacional.</p> <p>As taxas ambientais, cobradas de forma diferenciada para cada tipo de tratamento de resíduos, como na Holanda, financiam um fundo de investimento para os programas / projetos de tratamento de determinados resíduos, inclusive educação ambiental.</p>

## • Gestão de Resíduos: Estados Unidos da América

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Municípios</li> <li>Condados</li> <li>Governo Estadual</li> <li>Governo Federal</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>redução na fonte</li> <li>reciclagem/compostagem</li> <li>tratamento/combustão</li> <li>aterro sanitário</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Governo Federal: responsável pela elaboração de leis</li> <li>Agências Federais: interpretam as leis do congresso e prescrevem os padrões mínimos de gerenciamento de resíduos, a serem seguidos em todos os estados</li> <li>EPA (Environmental Protection Agency): estabelece os critérios para aterros sanitários e para as instalações de tratamento. É o agente fiscalizador</li> <li>HEW (Health, Education, and Welfare): estabelece padrões para armazenamento de resíduos, enquanto o DOD (Department of Defense), através do Corpo de Engenheiros das Forças Armadas, encarrega-se da proteção das vias navegáveis</li> </ul> <p>Os condados se responsabilizam pela coleta, tratamento e disposição de resíduos</p> <p>Outros departamentos, como o de Comércio, dos Transportes e de Energia, também participam de forma indireta na tomada de decisões na área de resíduos.</p> <p>Em nível local, várias pessoas estão envolvidas nas decisões sobre resíduos sólidos: funcionários de empresas, grupos organizados, cidadãos, agências reguladoras, operadores de aterros sanitários, representantes de sistemas de coleta, indústrias de recuperação, grupos ambientalistas etc.</p>	<p><u>Legislação Estadual</u> Os estados desenvolvem planos específicos</p> <p><u>Estatuto e Regulamentação Federal</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lei de 1965 (SDWA - Solid Waste Disposal): criou o Conselho de Qualidade do Meio Ambiente, abrigando todas as agências federais</li> <li>Emenda de 1970 (ACRA Lei de conservação e recuperação de recursos): incentiva a reciclagem, a participação da população no controle da poluição e cria a EPA (Environmental Protection Agency)</li> </ul> <p>Em 1976, novos textos legais são elaborados, enfatizando a recuperação e conservação de recursos e a EPA apresenta uma série de princípios para o gerenciamento de resíduos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Leis de 1980: <ul style="list-style-type: none"> <li>I) compensação e responsabilidade sobre o meio ambiente, principalmente no que diz respeito aos resíduos perigosos</li> <li>II) política e regulamentação de utilidade pública - relacionada ao levantamento de custos para venda de energia a partir dos resíduos. Fechou usinas de compostagem e os estados criaram novas agências para o controle das atividades do lixo</li> </ul> </li> <li>Lei de 1984 (HSWA): estabelece novos padrões para os resíduos sólidos perigosos</li> </ul>	<p>Nos Estados Unidos da América, todas as atividades devem ser auto-sustentáveis. Nas esferas governamentais, o orçamento é sustentado por fundos formados pela cobrança de taxas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>taxa de propriedade</li> <li>taxa de vendas (comércio)</li> <li>taxa de serviços municipais</li> <li>taxa de arrecadação especial (não orçamentária).</li> </ul> <p>Outros recursos são oriundos de emolumentos dos usuários e de arrecadação dos programas de recuperação.</p> <p>Existem várias opções de financiamento para abertura de negócios relacionados aos resíduos: empréstimos da iniciativa privada, "leasing", entre outros.</p>

## Gestão de Resíduos: Japão

Hierarquia Política	Arranjos Institucionais	Instrumentos Legais	Mecanismos de Financiamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>Municípios</li> <li>Províncias (Estados)</li> <li>Regionais (poder misto: províncias e municípios)</li> <li>Governo Central</li> </ul> <p><b>Diretrizes para a Gestão de Resíduos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>preservação do meio ambiente</li> <li>proteção à saúde pública</li> <li>restrições a descargas de resíduos</li> <li>classificação apropriada</li> <li>estocagem, coleta, transporte, reciclagem, disposição final de resíduos</li> </ul>	<p><u>Governo Central</u></p> <p>Ministério da Saúde e do Bem-Estar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>agente coordenador e executor da política nacional de resíduos</li> <li>função normativa, fiscalização e de articulação interinstitucional</li> </ul> <p><u>Província</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>planejamento e fiscalização</li> <li>fornece aos municípios técnicas adequadas de gerenciamento</li> <li>coloca em prática a política de resíduos do ministério da saúde e do bem-estar</li> </ul> <p><u>Município</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>gerencia de forma adequada os resíduos (coleta, transporte e disposição de resíduos domiciliares) em sua área de administração, de acordo com o plano anual de disposição elaborado em conjunto com as províncias</li> <li>propaga os conceitos de limpeza</li> </ul>	<p><u>Gerenciamento e Limpeza Pública: Lei n. 137/1970, com emendas em 1974, 1983, 1987, 1991 e 1992</u></p> <p>Objetivos: preservação do meio ambiente e proteção da saúde pública, através do gerenciamento adequado de resíduos, e conservação do meio ambiente.</p> <p>Contempla, entre outros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>classificação dos resíduos</li> <li>deveres do cidadão</li> <li>deveres das empresas</li> <li>deveres do governo (regional e nacional)</li> <li>planejamento local e regional (resíduos)</li> <li>criação de centros de gerenciamento de resíduos</li> <li>contratos entre empresas e prefeituras</li> <li>fiscalização</li> <li>assistência e subsídios</li> <li>regulamento penal</li> </ul>	<p>As estruturas regionais (municípios e províncias) devem ser auto-sustentáveis, podendo em alguns casos específicos receberem subsídios do governo nacional para a construção de instalações de tratamento de resíduos especiais. Esses subsídios na maioria das vezes são requisitados devido à ocorrência de sinistros que venham a afetar as instalações.</p> <p>Normalmente, as instalações são mantidas por taxas, fundos de cooperação das empresas e outras formas de contribuição que os governos de províncias e o governo central se esforçam para obter.</p>

Apesar desses países viverem realidades diferentes, observa-se que o enfrentamento dos impasses decorrentes do gerenciamento e da gestão de resíduos passa por diretrizes muito semelhantes. Cada um à sua maneira resolve satisfatoriamente as questões vinculadas ao tema dos resíduos, constituindo-se os países observados em uma amostra significativa; o Brasil deverá necessariamente acompanhar com atenção as experiências bem sucedidas de outras nações para construir uma proposta eficiente e adequada às nossas especificidades.

É preciso salientar que as peculiaridades do Brasil direcionaram a concepção desta proposta de modelo de gestão de resíduos. Entretanto, é indispensável o conhecimento do modo como outros países tem enfrentado esse complexo problema, analisando informações sobre as tendências mais recentes.

Com o objetivo de organizar as linhas gerais observadas nos modelos de gestão de resíduos dos países analisados, alguns aspectos fundamentais serão retomados.

Todos os países estudados assumem como metas prioritárias: a **prevenção**, através da redução do volume de resíduos na fonte (com ênfase no desenvolvimento de tecnologias limpas nas linhas de produção e análise do ciclo de vida de novos produtos a serem colocados no mercado); a **reciclagem** e a **reutilização** dos resíduos; a **transformação** através de tratamentos físicos, químicos e biológicos, enfatizando a incineração com aproveitamento de energia, como forma de redução do volume de resíduos, aumentando o período de vida útil dos aterros sanitários. Recomenda-se também a disposição final somente dos "resíduos últimos", isto é, aqueles que já passaram por alguma forma de tratamento e não são passíveis de reutilização. Além disso, a reabilitação das áreas contaminadas por antigas descargas de resíduos, enquadra-se nas prioridades

O sucesso alcançado no que diz respeito à gestão e ao gerenciamento dos resíduos, deve-se, nos países analisados, ao planejamento eficiente das atividades e à clareza na definição dos papéis dos agentes



envolvidos. O acesso permanente à informação, em todas as etapas do processo de planejamento é chave para o efetivo controle social; o alto grau de conscientização e a capacidade de interferir na tomada de decisão em relação às questões ambientais, nos países do norte, por exemplo, é estreitamente vinculada à quantidade e à qualidade da informação a que têm acesso. As ONG's e a mídia desempenham um papel preponderante na divulgação da informação à sociedade.

O controle social se dá pela participação de segmentos da sociedade nos processos de planejamento e de tomada de decisão de diferentes formas: convivência integrada nos centros comunitários, formação de ONG's, representatividade em fóruns consultivos e deliberativo nos diversos níveis de ação do governo.

É preciso ressaltar que, embora exista uma tendência à terceirização das atividades, há sempre uma grande presença do estado, que assume o papel normatizador e fiscalizador. Na maioria dos países analisados, os municípios trabalham de forma consorciada na elaboração de planos; a implementação das propostas e a fiscalização do processo é realizada pelo estado.

No que se refere à base legal, neste último quarto de século, os países analisados têm envidado esforços para aprimorar e criar textos, estabelecendo metas concretas e cronogramas compatíveis, ajustados através do monitoramento periódico de todo o processo. A maioria desses países conta com um aparato legal e estrutura de fiscalização e controle adequados ao cumprimento dessas metas ( *enforcement* ).

Duas tendências parecem estar se consolidando como prática de gestão de resíduos na Europa: a) a mudança de foco da regulamentação formal para o estabelecimento do "acordo de cavalheiros" que é o resultado da organização dos atores na solução de um determinado problema, b) a responsabilidade do produtor (indústria) sobre o resíduo gerado pelo produto ao final de sua vida útil - é o caso de pneus, baterias e veículos usados etc

O investimento em mecanismos de controle ambiental e em padrões de desempenho do sistema de gerenciamento de resíduos é uma preocupação

constante. A utilização de instrumentos reguladores (padrões de emissão, uso do solo etc.) e econômicos (taxas ambientais sobre produtos e práticas indesejáveis, por exemplo) vêm se multiplicando como medida importante na consolidação de política de gestão de resíduos.

A operação e a manutenção dos sistemas de gerenciamento de resíduos devem se dar de forma a garantir a auto-sustentabilidade, ou seja, é o próprio usuário dos serviços quem financia o sistema através do pagamento de taxas, tarifas e preços públicos. Já o financiamento de novas instalações e equipamentos (investimentos de capital) pode ser realizado com os recursos próprios das empresas para esse fim ou através de empréstimos junto a instituições financeiras públicas ou privadas. A Comunidade Européia administra fundos especiais para apoio à implementação de ações relacionadas com o meio ambiente; estados-membros que, comprovadamente, estiverem enfrentando dificuldades na elaboração e implementação de seus planos de gerenciamento de resíduos, poderão recorrer aos fundos, como o de coerção, por exemplo, onde terão acesso a linhas de financiamento com juros subsidiados, ou, extraordinariamente, a crédito a fundo perdido.

A tendência para os próximos anos é que aumentem os custos com o gerenciamento de resíduos, devido ao crescente controle exercido por setores organizados da sociedade e que deverá resultar em normas cada vez mais restritivas, especialmente no que diz respeito ao tratamento e à destinação final. Isso posto, constata-se que a solução dos problemas urbanos deverá contar com a participação da sociedade, de forma que a administração das cidades não se realize com um único interlocutor, no caso, o poder público. Por outro lado, é preciso este continue a cumprir seu papel regulador e fiscalizador.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão adequada dos resíduos sólidos no Brasil deve ser efetivada com a máxima urgência. A inexistência de uma política para o setor tem desencadeado ações públicas desarticuladas que, além de impedirem o equacionamento dos problemas, geram desperdícios significativos na aplicação de recursos públicos.

Se compararmos a eficácia dos serviços de coleta, transporte, recuperação, qualidade de tratamento e destinação final existentes no Brasil com a de outros países que se adiantaram no enfrentamento do problema, constataremos que estamos longe de ser um país moderno, vendo cada vez mais reduzidas nossas possibilidades de uma maior inserção no mercado internacional, que gradativamente restringe o comércio de produtos que não são gerados através de tecnologias limpas.

No que diz respeito aos resíduos, a situação do Brasil é dramática, especialmente nas grandes cidades, onde as opções para a destinação final de rejeitos tornam-se cada vez mais escassas, favorecendo as descargas clandestinas de toda natureza de resíduos: domiciliares, industriais e de serviços de saúde e provocando impactos ambientais negativos, alguns já amplamente divulgados, de caráter irreversível. Muitas áreas já afetadas pela disposição desordenada de resíduos precisarão ser recuperadas em um futuro próximo, envolvendo enormes dificuldades técnicas, além de exigir vultosas somas de recursos financeiros.

O cenário preocupante que se vislumbra a curto prazo é resultado da degradação do meio ambiente que se acelera, comprometendo a qualidade de vida do cidadão brasileiro, cuja segurança quanto aos efeitos adversos dos resíduos, está constantemente ameaçada pela ausência de uma política efetiva para o setor. Os sucessivos governos têm protelado

perigosamente o enfrentamento da questão, e os poucos planos e estudos já realizados perderam-se na rotatividade das administrações públicas.

A exemplo do que ocorre em outros países, a progressiva conscientização da sociedade a respeito das questões ambientais exigirá fatalmente uma atuação mais incisiva dos administradores públicos. O compromisso com a gestão dos resíduos é um dever de todos, envolvendo setores públicos, iniciativa privada, segmentos organizados da sociedade civil, e cabendo aos governos federal e estaduais o papel de definir para o setor uma política eficiente e compatível com a nossa realidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, J.R. & DORNSBUSH, J.N. Influence of sanitary landfill on ground water quality. Journal of American Water Works Association. New York, 59 (4): 457-70.1977.
- ARIMA, Y. Considerações básicas para encapsulamento de lodos perigosos. Revista PPM, Japão (40)-1977.
- AWARE, Inc. Process design techniques for industrial waste treatment. Nashville, Enviro Press, 1974.
- BAILIE, R.C Fluid bed reator in solid waste treatment. Virginia, West Virginia University, 1971.
- BATSTME, R; SMITH, J. E & WILSM, D. The Safe Disposal of Hazardous Wastes, World Bank Technical Paper Number 93, Washington, DC, The World Bank, 1989.
- BERNARDES JR.; et alii. Classificação de Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo, CETESB, 1983. 23p. (Trab. Apres.cong. Bras. Eng. sanit. E amb., 12. (Camburiú, 1973).
- BERNARDES JR.; C alii. Incineração de Resíduos Perigosos, Rio de Janeiro-Dez 1988
- BOWER, H. Ground water hidrology. Tokio, McGraw-Hill; Kogakusha, 1977.
- BUGHER, R. Solid Waste research needs. Chicago , Heath Service, 1962.
- CETESB, São Paulo. Encapsulamento de Resíduos Argilosos. São Paulo, 1978.
- CETESB, São Paulo. Resíduos contendo cianeto. São Paulo, 1978. 109p.
- Disposição em aterros. São Paulo, 1981
  - Drenagem em aterros sanitários. São Paulo, 1979. 66p.

- Guia prático nº1-codisposição dos resíduos industriais. São Paulo, 1970.2v.
- COPE, F. et alii. Use of liners for containment at hazardous waste landfills. Pollution engineering, Barrington, 16 (3): 22-32, 1984.
- CULLINAME, M. John, Jr et alii. Handbook for stabilization/solidification of hazardous waste. Mississipi. EPA . 1986.
- DAGUE. R. R. et alii. Anaerobic activated sludge. Journal of the water pollution Control Federation. Colorado, 38 (2): 220-6, 1986.
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Methods of solid wastes testing Cincinnati, 1973.
- FAIR, G.M. waste disposal: preventive medicine and public health. 9. Ed. New York, 1965.
- FIELD. JR., T. & LINDSEY, A.W. Landfill disposal of hazardous wastes; a review of literature and know approaches. Washington, EPA, 1975. 36p.
- GESWEIN, A.j. liners for land disposal sites: an assesment report on solid waste management Cincinnati, EPA, 1975.
- GOLUEKE, C.G. Biological reaction in solid waste recovery systems. Compost Science Journal of Waste Recycling Texas, 15 (3): 2-6, 1974.
- GUIDINCI, G & NIEBLE, C.M. Estabilidade de Taludes naturais e de escavação. São Paulo, EDUSP, 1976.
- GURNAHAM, C. F. Principles of industrial waste treatment. New York, John Wiley & Sons, 1955
- HANKS, T. G Solid Waste: disease relationship. Cincinnati, 1967.
- HAXO, H.E. et alii. Liner materials exposed to hazardous and toxic aludges. Cincinnati, Environmental Research. 1977.
- HUEPER, W.C. Carcinogenes in the human environment. Archives Pathology, Chicag, (71): 237-67, 1961.

- HUEPER, W.C. & PAYNE, W.W. Carcinogenic effect of adsorbates of raw and finished. Water supplies. American J. of Clin .Pathology, (39):475-81, 1963.
- JAPAN ENVIROMENTAL SANITATION CENTER. Guide to, disposal of industrial waste. Kawasaki, 1978.
- KINCANNON, C.B. Oil waste disposal by soil cultivation process. Washington, EPA, 1972.
- KOOL, I Refuse disposal in the Rotterdam Industrial Area. Hans der Technik, Vorttrogsvver Pfentlichunger, 1972.
- LEPSCH, I. F. Solos, formação e conservação. São Paulo. Melhramentos, 1976. (Série Prima -nº31).
- LUBOWITZ, H. R. et alii. Development of polyneric Cementing and encapsulating process for managing hazardous wastes. Vicksburg.
- MCARTY, P. L. anaerobic waste treatment fundamentals. Process Design Public Works, 1965 (Parte 4).
- MALONE, PHOLIP G. et alii. Guide to the disposal of chemically stabilized and solidified waste. Mississipi. EPA. 1972.
- MATRECON. Inc. Linning of waste impoundment and disposal facilities. Cincinnati, EPA, 1980. 385p.
- MERLIM G SPNGLER & RICHRD L. HANDY, Soil Engineerring Iowa State University - 4º Edição Harper & Row, Publishers New York, USA.
- MATHEUS, P. J. & BENTLEY, J. Characterization, colletiction treatment and final disposal of toxic sludges, São Paulo, CETESB PROCOP, 1983.
- METCALF, Leonard & EDDY, H. P. Wastewater engineerring. New York, McGraw - Hill; 1974. 782p.

- MOSEY, F. E. & HUGNES, D. A. The toxicity of heavy metal ions to anaerobic digestion. *Journal of the Institute of Water Pollution Control* (1) 1975.
- MOSEY, F. E. Anaerobic biological treatment of food industry waste waters. *Journal of the Water Pollution Control*. 80 (2) 1981.
- NUMERON, N. L. Liquid waste of industry: theories, practices and treatment. Addison - Wesley, Reading Mass, 1971.
- PARR, J. F. et alii. Composting sewage for land application. *Agriculture and environment*, 1978.
- PIRES, MARIA c>, Study of stabilization of phenol and chlorinated by clay and charcoal in cement based process. Tese de Mestrado, Universidade de Londres, Inglaterra, 1978.
- POHLAND, F. G. & CHOSH, S. Development in anaerobic stabilization of organic wastes. The two - Phase Concept. *Environmental Letters*. 1 (14), 1971.
- RANZINI, G. Manual de levantamento d solos. 2. Ed. São Paulo, Edgard Blusher, 1969.
- ROCHA, A. A. Aspectos epidemiológicos e poluidores, vetores sumeiros percolados. *Revista DAE*. 42 (128): 63-68, mar. 1982.
- RUOCCO JR. J. et lii. Metodologia de amostragem de lixo. São Paulo. CETESB, 1978. (Trb. Apes. No Congresso Pan - Americano de Limpeza Pública). São Paulo, 1978.
- SHELF. G. et alii. Combined Treatment and disposal.
- SHULTZ, D. W. & MICHEAS JR.; M. P. Placement procedures for various impoundment liners. *Solid waste management*, july., 1982.
- STEWARET, W. S. State of the Art Study of land impundment techniques. New Jersey. Rsearch and Engineerinh.



- SUMNER, S. et alii. Refuse disposal. London, Hermagesty Stationery Office, 1971.
- SWISS FEDERAL INSTITUTE FOR WATER SUPPLY. Mthods of samplig and analysis of solid wastes. Duberndorf, 1970.
- T. BONNER, B. DESAI, J FULLENKAMP et alii Hazardous Waste Incineration Engineering - Monsanto Research Corporation, New Jersey, U.S.A. - 1981
- THEISEN, H. et alii. Solid wastes engineering principles and management issues. Tokio, McGraw - Hill Kogakusha, 1877.
- VAN KLEECH, L. W. Safety and sanitary landfill Public Works, (90): 113, 1959
- VARGAS, M. introdução à mecânica dos solos. São Paulo, EDUSP, 1977
- WOLF, H. R. et alii Health hazard of discharged pesticides containers. Archives of Environmental Heshth. Chicago, (3): 531 - 7, 1961